Geo-Temas

Sociedad Geológica de España

Volumen 18



5-7 julio 2021 Vitoria-Gasteiz

X Congreso Geológico de España

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco

Euskal Herriko Unibersitatea

Geo-Temas

Revista no periódica editada por la Sociedad Geológica de España

http://www.sociedadgeologica.org
Depósito legal: S.398-2012

ISSN: 1576-5172 (versión impresa)
2792-2308 (versión digital)

Geo-Temas es una publicación de carácter no periódico en la que se recogen los resúmenes cortos o extensos de las comunicaciones presentadas en los Congresos Geológicos que celebra cuatrienalmente la Sociedad Geológica de España, así como en otros congresos, jornadas y simposios de carácter científico y organizadas por las comisiones de la SGE u otras asociaciones mediante convenios específicos. Los organizadores de cada reunión son los responsables de la obtención de los fondos necesarios para cubrir en su totalidad los gastos de edición y difusión del correspondiente número de Geo-Temas. Al no constituir una publicación de carácter periódico, Geo-Temas es distribuida exclusivamente a los inscritos en los actos a los cuales va dirigida la edición, reservándose un cierto número de ejemplares para la distribución por parte de la SGE.
La SGE no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores de los artículos, siendo por tanto éstas responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.
La propiedad intelectual queda a plena disposición del autor de acuerdo con las leyes vigentes. queda prohibida la reproducción total o parcial de textos e ilustraciones de esta revista con fines comerciales sin autorización escrita de la SGE o de los autores. Se permite sin necesidad de autorización la generación de separatas para uso de los autores y la reproducción con fines docentes.

EDITORA PRINCIPAL

Sonia García de Madinabeitia Martínez de Lizarduy
Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV-EHU, 48940 Leioa, Bilbao (España)
Tel: +34 946 01 54 55; e-mail: sonia.gdm@ehu.es

EDITORES ADJUNTOS

Nieves López González
Instituto Español de Oceanografía
Centro Oceanográfico de Málaga
e-mail: nieves.lopez@ieo.es

Alberto Pérez López
Dpto. de Estratigrafía y Paleontología
Facultad de Ciencias,
Universidad de Granada
e-mail: aperezl@ugr.es

Aitor Cambeses Torres
Dpto. de Mineralogía y Petrología
Facultad de Ciencias,
Universidad de Granada
e-mail: aitorc@ugr.es

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente: Luís Eguiluz Alarcón. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Martin Arriolabengoa Zubizarreta. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Jon Errandonea Martin. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Idoia Garate Olave. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Sonia García de Madinabeitia Martínez de Lizarduy. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Iván Martín Martín. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Fernando Sarrionandia Eguidazu. Universidad del País Vasco UPV-EHU
Antonio Tarriño Vinagre. Universidad del País Vasco UPV-EHU

COMITÉ CIENTÍFICO

Juan Alcalde Martín
Juan Luís Alonso Alonso
Francisco J. Alonso Cháves
Enrique Álvarez Areces
Pilar Andonaegui Moreno
Ricardo Arenas Martín
Javier Aróstegi García
Martin Arriolabengoa Zubizarreta
Puy Ayarza Arribas
Juán Ignacio Baceta
José Manuel Baltuille Martín
Alberto Bandrés Martínez
Bet Beamud
Alfonso Benito Calvo
José María Bermúdez de Castro
David Brusi
María del Carmen Cabrera
Amelia Calonge
Carolina Canora Catalán
Alejandro Cearreta Bilbao
José Cernicharo
anuela Chamizo Borreguero
Ferrán Colombo Piñol
Juan Pablo Corella
Andrés Cuesta Fernández
Manuela Chamizo Borreguero
Ferrán Colombo Piñol
Juan Pablo Corella
Andrés Cuesta Fernández
Brais Currás Refojos
María Druet Vélez
Mathieu Duval
Luís Eguíluz Alarcón
Gemma Ercilla Zarraga
Carlota Escutía
Agustina Fernández
Concepción Fernández Leyva
Javier Fernández Lozano
Jorge Fernández Suárez
José Francisco Mediato
Alex Franco Bilbao
José Manuel Fuenlabrada Pérez
Gloria Gallastegui Suárez
Daniel García Jiménez
Fernando García Garcia
Juan García Portero
Julián García Mayordomo
Olga García Moreno
Antonio García-Casco
Pedro Pablo Gil Crespo
José Luís Granja Bruña
Francisco Gutiérrez Santaolalla
Gabriel Gutiérrez Alonso
Nemesio Heredia Carballo
Pedro Pablo Hernáiz Huerta
Nadia Herrero Martínez
Álvaro Jiménez Berrocoso
Ruth Jiménez San Pedro
Jesús F. Jordá Pardo
María José Jurado
Pilar Llanes Estrada
Iván Martín Rojas (UA)
Blanca María Martínez
Javier Martínez Martínez
Luis Miguel Martínez Torres
Roberto Martínez-Orio
Pilar Mata del Campo
Teresa Medialdea Cea
Tania Mochales
Manuel Monge Ganuzas
Alfonso Muñoz Martín
Belén Oliva Urcia
Inmaculada Palomera
Josep M. Parés
Aitor Payros
Francisco J. Pérez Torrado
Joaquín A. Proenza
Oscar Pueyo
Isabel Rábano Gutiérrez del Arroyo
Roberto Rodríguez Fernández
Lidia Rodríguez Méndez
Francisco Javier Rodríguez Tovar
Ana Ruíz Constán
Sonia Sánchez Martínez
Teresa Sánchez-García
Esther Sanz Montero
Pablo-Gabriel Silva Barroso
Luís Somoza Losada
Susana Timón Sánchez
Susana Torrescusa Villaverde
José Ignacio Valenzuela Ríos
Blas Valero
Juan Tomás Vázquez Garrido
Néstor Vegas Tubía
Juan José Villalaín Santamaría
Iñaki Yusta Arnal

SEDE EDITORIAL

Sociedad Geológica de España:
Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca, España.
http://www.sociedadgeologica.org

Imagen de portada: Slump en flysch negro, Armintza, Bizkaia.
Fotografía cedida por Roberto Pinedo Vadillo (@luminaterris).

Producción: MINERVA Imprenta Moderna S. Coop. peq. | minervaimprime.com

Geo-Temas

Sociedad Geológica de España

X CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA
5-7 julio 2021 Vitoria-Gasteiz

Editores:

Jon Errandonea Martín
Idoia Gárate Olave
Sonia García de Madinabeitia
Fernando Sarrionaindia Eguidazu

Vol. 18 (2021)

Geo-Temas

Vol. 18 (2021)

ÍNDICE

Geología Estructural y Tectónica

Desde el cinturón de pliegues y cabalgamientos al prisma de acreción en el sur de Taiwán: estructura cortical 33
J. Alvarez-Marron, D. Brown, J. Alcalde, I. Marzán, H. Kuo-Chen, P. Ayarza, y R. Carbonell

Reparto de la deformación en el límite Zonas Internas-Externas de la transversal de Ronda (Béticas occidentales)....34
J.C. Balanyá, I. Expósito, A. Jiménez-Bonilla, M. Díaz-Azpiroz, M. Sánchez-Gómez, y A. Crespo-Blanc

El Diapiro de Salinas del Rosío (Cuenca Vasco-Cantábrica) 38
J. Belenguer Oliver, O. Ferrer, y K. McClay

Estructura, formación y reactivación del Margen Continental Noribérico (Golfo de Vizcaya) 39
P. Cadenas, G. Manatschal, y G. Fernández-Viejo

Pliegue recumbente dúctil (fold nappe) en el Cretácico superior del macizo de Eaux-Chaudes (Pirineos centro-occidentales)....40
N. Caldera, A. Griera, P. Labaume, M. Guardia, A. Lahfid, y A. Teixell

Las remagnetizaciones interpliegue como herramienta cuantitativa de restitución en cuencas sedimentarias invertidas 41
P. Calvín, A.M. Casas-Sainz, J.J. Villalaín, T. Román-Berdiel, T. Mochales, P. Santolaria, B. Moussaid, A. Gil, B. Oliva, A. Pocoví, S. Torres, E. Izquierdo, F. Bógalo, I. Falcón, V.C. Ruiz-Martínez, H. El Ouardi, E. Sánchez-Moreno, M. Marcén, Á. Herrejón, y Á. Jimenez

Migración de fluidos en la deformación supra-sal de la Falla de Jumilla (Zona Prebética)....42
I. Cantarero, D. Cruset, F.O. Escosa, T. Espinoza, y A. Travé

Afar Triple Junction (Ethiopia); Review & Open Questions....43
R. Carbonell, P. Ayarza, F. Tornos, J.R. Hanchar, M.T.D. Hanchar

Reapretamiento de estructuras variscas durante la compresión alpina en la Zona Axial Pirenaica (Valle de Arán, Lleida)....44
P. Clariana, J. García-Sansegundo, y A. Rubio-Ordóñez

Variaciones laterales en el basamento y cobertera de los Pirineos Centrales 45
P. Clariana, R. Soto, C. Ayala, A.M. Casas-Sainz, T. Román-Berdiel, A. Margalef, B. Oliva-Urcia, E.L. Pueyo, E. Beamud, C. Rey-Moral, y F. Rubio

Inyecciones clásticas en la base del manto del Esla (Zona Cantábrica, NO de Iberia) 46
M.I. de Paz-Álvarez, S. Llana-Fúnez, y J.L. Alonso

Cambrian-Ordovician Transition in the Northern Domains of Central-Iberian Zone; Tectonics Constrains....47
R. Dias, C. Coke, R. Teixeira, A. Ribeiro, F. Amaral, and F. Corfu

La influencia de los modelos cinemáticos en el análisis de tectonitas....50
M. Díaz-Azpiroz, C. Fernández, D.M. Czeck, E. Druguet, y J. Carreras

Local embrittlement related to hydrothermal activity in the Cap de Creus ductile fold-and-shear belt 51
E. Druguet, D.M. Czeck, and J. Carreras

Recent tectonic activity and relief rejuvenation in the Betics foreland (Sierra Morena of Córdoba) 54
I. Expósito, A. Jiménez-Bonilla, J.C. Balanyá, F. Moral, and M. Rodríguez-Rodríguez

Nuevas cartografías temáticas del sector norte de la Fosa de Teruel....58
L. Ezquerro, C.L. Liesa, A. Luzón, L.E. Arlegui, y J.L. Simón

Nuevos datos litoestratigráficos y tectónicos en el borde sur de la Zona Centro Ibérica (Serra de S. Mamede Portugal)....59
P. Ferreira, J. Romão, R. Dias, y A. Ribeiro

Aproximación experimental a la reactivación contractiva de márgenes pasivos con sal 63
O. Ferrer, J.A. Muñoz, E. Roca, y J. Ramirez

La influencia de la sedimentación sintectónica en la geometría y cinemática de pliegues de despegue contractivos 64
O. Ferrer, O. Pla, E. Roca, J.A. Muñoz, y O. Gratacós

El papel de los depósitos de Zn-Pb en el reconocimiento de estructuras reactivadas en los Picos de Europa (NO de España) 65
A.G. Flórez-Rodríguez, J. García-Sansegundo, y A. Martín-Izard

Caracterización de sistemas de fracturas con láser escáner terrestre: Ejemplo del anticlinal de Añisclo Pirineos Centrales 66
D. García-Sellés, O. Gratacós, P. Cabello, O. Ferrer, y J.A. Muñoz

Formación y sellado de fracturas en un cuerpo salino del subsuelo: el anticlinal de Súria (Pirineos sudorientales) 67
E. Gomez-Rivas, A. Griera, D. Gómez-Gras, E. Playà, A. Travé, y M.G. Llorens

Vulcanismo mesozoico del margen sudibérico a partir del análisis de anomalías magnéticas.....68
L. González-Castillo, J. Galindo-Zaldívar, F. Bohoyo, y C. Morales-Ocaña

Venas de cuarzo gigantes en el Pirineo Oriental: un enfoque macroestructural basado en SIG.....69
E. González-Esvertit, A. Canals, E. Gómez-Rivas, J.M. Casas

Modelo metodológico para el reconocimiento y representación cartográfica de estructuras variscas y alpinas en la Unidad de Picos de Europa (Cordillera Cantábrica, NO de España) 70
B. Gonzalo-Guerra, N. Heredia, J. García-Sansegundo, y P. Farias

La Fm Cardona como nivel de despegue de las estructuras frontales del SE Pirenaico (zona de Súria - Sallent).....74
O. Gratacós, D. García-Sellés, J.A. Muñoz, E. Roca, J. Escuer, O. Ferrer, y A. Sendrós

Control mecánico mediante modelización numérica 2D del desarrollo de pliegues recumbentes. Aplicación al macizo de Eaux-Chaudes (Pirineos) 75
M. Guardia, A. Griera, N. Caldera, B. Kaus, A. Piccolo, y A. Teixell

Large scale structure of an Intraplate Fold-and-Thrust Belt: The Iberian Chain.....76
J. Guimerà

Cartografía geológica y estudio estructural del Sistema de Fallas Alpinas de Cabuérniga (Norte de Iberia) 79
N. Heredia, F. Martín-González, P. Farias, J. García-Sansegundo, B. Gonzalo-Guerra, D. Pedreira, G. García-Davia, G. Mateos-Herrero, A.G. Flórez

The role of the Ronda basin on the accommodation of different transport directions along the western Gibraltar Arc (last 10 my) 80
A. Jiménez-Bonilla, J.C. Balanyá, I. Expósito, and M. Díaz-Azpiroz

Complex structure in the apical part of the western Gibraltar Arc (Tesorillo permit, Cádiz).....84
A. Jiménez-Bonilla, C. Venturini, and A. Stavrou

Inversión tectónica negativa y estructuración de la zona de relevo entre las fallas normales plio-cuaternarias de Calamocha y Daroca 85
C. Liesa, M.B. Corral, L. Arlegui, A. Peiro, y J.L. Simón

Propiedades mecánicas de las litologías más resistentes de la sucesión pre-orogénica de la Zona Cantábrica (Orógeno Varisco en Iberia).....86
S. Llana Fúnez, V.G. Ruiz de Argandoña, J. Olona, L. Pando, L. Rey, A. Zaragoza, J. Mari, y M. Álvarez

Ablandamiento geométrico de una capa competente durante el plegamiento.....87
M.G. Llorens, A. Griera, P.D. Bons, D. García-Castellanos, y I. Jimenez-Munt

La Falla de Granada en el contexto de fallas activas normales de alto y bajo buzamiento de la Cuenca de Granada (Sur de Iberia).....88
A. Madarieta-Txurruka, J. Galindo-Zaldívar, L. González-Castillo, J.A. Peláez, A.M. Ruiz-Armenteros, J. Henares, M.S. Garrido-Carretero, M. Avilés, A.J. Gil, y C. Sanz de Galdeano

El campo de esfuerzos mesozoico-cenozoico en Tasmania a partir del análisis poblacional de fallas 89
A. Maestro, F. Bohoyo, J. Galindo-Zaldívar, y R.F. Berry

Fortalezas y limitaciones de MOVE™ para la restitución de cortes en zonas de deformación compleja: un ejemplo en Andorra (Pirineo axial).....90
A. Margalef, N. Carrera, y J.M. Casas

Inicio del régimen transpresivo en la Falla de Alhama de Murcia, algunas evidencias cartográficas y de campo.....91
J.J. Martínez Díaz, J. Alonso-Henar, J.A. Álvarez-Gómez, C. Canora, P. Herrero-Barbero, J.M. Insua-Arévalo, R. Pérez-López, E. Rodríguez-Escudero, M. Tsige, y J.L. Sánchez-Roldán

Los Pirineos Vasco - Cantábricos: laboratorio natural para el estudio de la reactivación de sistemas hiperextendidos 92
J. Miró, P. Cadenas, R. Lescoutre, J.A. Muñoz, y G. Manatschal

La deformación varisca en el sector oriental del Sistema Central 93
D. Moreno-Martín y R. Díez Fernandez

Reactivación alpina en el basamento varisco: Sistema Central oriental.....94
D. Moreno-Martín, R. Díez Fernández, y G. de Vicente

Fluid flow during compressional and subsequent extensional regimes in the Estamariu thrust (Pyrenean Axial Zone).....95
D. Muñoz-López, G. Alías, D. Cruset, I. Cantarero, and A. Travé

La fábrica magnética del Devónico de la Zona Axial pirenaica; pliegues recumbentes al sur del pico Posets.....99
B. Oliva Urcia, E. Izquierdo Llavall, T. Román Berdiel, R. Soto, A. Casas, P. Clariana

Origen y cinemática del saliente del frente surpirenaico central a partir del estudio paleomagnético de los materiales sinorogénicos de su margen este 100
C. Peigney, E. Beamud, Ó. Gratacós, L. Valero, R. Soto, E. Roca, y J.A. Muñoz

Volcamiento excepcional de los cabalgamientos y pliegues variscos en el Monsacro (Zona Cantábrica) 103
A.A. Pérez-Barreto, J.L. Alonso, y L. Pando

El anticlinal de Oliana: análogo de un reservorio geotérmico (Zona Surpirenaica) 107
P. Ramirez-Perez, I. Cantarero, D. Muñoz-López, J. P. Sizun y A. Travé

Evolución paleogeográfica mesozoica del margen SO de Iberia 108
Ramos y Fernández

Reconstrucción 3D del sinclinal de Llert (Pirineos Centrales) 109
A. Ramos, B. López-Mir, J.A. Muñoz, y P. Granado

Control tectónico sobre el sistema de drenaje de la Sub-Cuenca de la Bureba (Norte de Iberia) 110
A. Ramos, J. Mediato, R. Pérez-López, M.A. Rodríguez-Pascua

Reconstrucción geológica 3D de la Cuenca Vasco-Cantábrica 111
A. Robador, F. Bohoyo, J. García Senz, C. Peropadre, M. Druet, L. Cortés, A. Franco, y J. García Portero

Structure and kinematics of the Ayora-Cofrentes Diapir (eastern Betics). Role of basement faulting in the salt and suprasalt deformation of the Mesozoic cover 112
E. Roca, F. Escosa, O. Ferrer, F. Gutiérrez, P.G. Silva, J. Elez, P. Granado, and O. Gratacós

La estructura extensiva Mesozoica y su influencia en la posterior inversión de la cuenca de Organyà (Pirineo Central) 116
M. Roma, O. Ferrer, J.A. Muñoz, E. Roca, y O. Gratacós

Reactivación de estructuras salinas: modelización analógica de sistemas salinos en contracción 117
P. Santolaria, N. Carrera, y J.A. Muñoz

El anticlinal de Mediano y el Domo de Clamosa: Tectónica salina contractiva en el Pirineo meridional 118
P. Santolaria, N. Carrera, J.A. Muñoz, P. Arbués, y R. Silva-Casal

Influencia de la convergencia perpendicular de dos cinturones orogénicos en la deformación de su antepaís 119
R. Soto, B.C. Vendeville, y F. Graveleau

Late Cenozoic left lateral strike-slip deformation in Minorca, Balearic Islands, Spain 120
C. Timoner, G. de Vicente, A. Olaiz, R. Díez-Fernández

Influencia de la microfabrica interna en el comportamiento tenso-deformacional de una fault gouge rica en arcilla 124
M. Tsige, J.M. Insua-Arévalo, J.L. Sánchez-Roldan, E. Rodríguez-Escudero, J.J. Martínez-Díaz, y P. Mata

Salt Tectonics of the Offshore Tarfaya Basin, NW Africa 125
R. Uranga, O. Ferrer, G. Zamora, and J.A. Muñoz

Contractional reactivation of salt structures in rift transfer zones: examples from the South-Central Pyrenees 130
E.P. Wilson, P. Granado, and J.A. Muñoz

Grandes Estructuras Salinas en la Cuenca de Peniche. Margen Occidental de Iberia 134
G. Zamora, M. Flemming, y B. Amigo-Marx

Geología Sedimentaria

Evolución sedimentaria de la serie Cenozoica en la Cuenca de Bahariya (Egipto): Controles tectónicos 135
A.M. Afify, M.E. Sanz-Montero, L. González-Acebrón, y M.B. Muñoz-García

Controles paleoambientales en la formación de calcretas en islas volcánicas. Gran Canaria 136
A.M. Alonso-Zarza, Á. Rodríguez-Berriguete, A. Martín-Pérez, R. Martín-García, I. Menendez, J. Mangas, y A.I. Casado

Estratigrafía del Eoceno medio y superior del flanco occidental del anticlinal de Boltaña en el Valle del Ara 137
P. Arbués, M. Garcés, E. Beamud, A. Vinyoles, L. Valero, R. Silva-Casal, M. López-Blanco, J.A. Muñoz, D. García-Martínez, y P. Santolaria

Registro sedimentario y paleontológico de la laguna Grande de Villafáfila, Zamora 138
I. Armenteros, P. Huerta, M.R. Rivas Carballo, B. Martínez-García, M. Jambrina Enríquez, C. Recio, P. Carrasco, y J.C. Gonzálo

Estratigrafía y sedimentología del yacimiento de dinosaurios de La Peñuela (Berriasiense basal, subcuenca de Galve, Teruel) 141
M. Aurell, B. Bádenas, D. Castanera, y J.M. Gasca

Aragonitic oolite deposits in Danian (lower Palaeocene) carbonate shelves from the Pyrenees, N Spain 145
J.I. Baceta, V.P. Wright, and A. Berreteaga

Sedimentología y Palinología del intervalo Aptiense-Cenomaniense inferior en La Serranía de Cuenca, Cordillera Ibérica, España 143
C.A. Bueno-Cebollada, E. Barrón, D. Peyrot, y N. Meléndez

Experimentos con tapetes microbianos lagunares: influencia de sus metabolismos en la precipitación mineral 144
O. Cabestrero, M.E. Sanz-Montero, P. del Buey, C. Tebes, C. Demergasso, y P.T. Visscher

Factores de control de las clinoformas del Grupo Ebro (Plioceno-Holoceno) en el extremo sur del Surco de Valencia.....147
J.N. Castillo Ruano, A. Jiménez Berrocoso, y M. Gil Ortiz

Evidencias de un glaciar salino en el diapiro de Les Avellanes (NE España). Resultados preliminares.....148
G. Cofrade, I. Cantarero, Ò. Gratacós, A. Travé, E. Roca.

Significado de las evaporitas del Carbonífero medio de la cuenca de antepaís Varisca (N de España y S de Francia).....149
I. Díaz-García, O. Merino-Tomé, I.E. Quijada, J.R. Bahamonde, L.P. Fernández, G. Della Porta, E. Samankassou, F. Ortí, A.G. Borrego, J. Martín-Llaneza, y M. Valenzuela

La Formación Ermita en el sinclinal de Vega de los Viejos.....150
L.P. Fernández, J.L. García-Alcalde, y J.L. Alonso

Estudio de procedencia de las areniscas carboníferas de la Unidad Poboleda (Cadena Costera Catalana).....154
A. Filella, G. Alías, J.D. Martín-Martín, D. Gomez-Gras, y S. Valenzuela

Análisis secuencial en el Barremiense superior-Aptiense de la subcuenca de Oliete (Cretácico Inferior, Cuenca del Maestrazgo).....155
Á. García-Penas, y M. Aurell

Sedimentología y arquitectura sedimentaria de la Formación Hawaz. El paradigma del uniformismo contra las cuerdas en un caso de estudio del Ordovícico Medio.....156
M. Gil-Ortiz, P. Cabello, N.D. McDougall, M. Marzo, y E. Ramos

Redes de estilolitos: controles geométricos de facies sedimentarias y sus efectos en la permeabilidad y diagénesis de carbonatos.....157
E. Gomez-Rivas, J.D. Martín-Martín, E. Humphrey, P.D. Bons, J. Neilson, A. Griera, A. Travé, y D. Koehn

Dolomías de reemplazamiento de escala sísmica en los carbonatos del Jurásico Superior en la Serra d'Espareguera (Cuenca del Maestrat).....158
E. Humphrey, J.D. Martín-Martín, E. Gomez-Rivas, J. Neilson, R. Salas, y J. Guimerà

Evidencias petrológicas y geoquímicas de hidrotermalismo sinsedimentario cretácico en un margen continental hiperextendido (Depresión Intermedia, Cuenca Vasco Cantábrica oriental).....159
E. Iriarte, M.A. López-Horgue, A. Aranburu, A. Ceriani, A. Bodego, y M. Ladron de Guevara

Evidencias de hidrotermalismo diagenético en la formación Oiartzun (Cretácico Superior), margen NE de la Cuenca Vasco-Cantábrica.....160
M. Ladron de Guevara, A. Bodego, A. Aranburu, L. Damas-Mollá, y E. Iriarte

La Unidad de Anhidrita Basal de la Cuenca Potásica Surpirenaica (Priaboniene, Sallent, Barcelona).....161
M. López, E. Playà, y L. Gibert

Evolución de las tasas de sedimentación a lo largo de una cuenca de antepaís y sus dominios tectonosedimentarios: Eoceno, Cuenca de antepaís surpirenaica (Tremp-Graus-Ainsa-Jaca).....162
M. López-Blanco, M. Garcés, P. Arbués, L. Valero, A. Vinyoles, R. Silva-Casal, y E. Beamud

El contaje de puntos como método de estimación de la cantidad de agua de las inclusiones fluidas en espeleotemas.....163
M. Lopez-Elorza, M.B. Muñoz-García, y J. Martín-Chivelet

Estilolitos en carbonatos de plataforma del Cretácico Inferior: efecto como barrera y conducto en la circulación de fluidos diagenéticos.....167
J.D. Martín-Martín, E. Gomez-Rivas, D. Gómez-Gras, A. Travé, D. Cruset, S. Yao, D. Koehn, y P.D. Bons

Parasecuencias T-R de los depósitos costeros de las cuencas holocenas de Almenara-Nules y Benicasim (Castellón, España).....169
J.F. Mediato, J.I. Santisteban, B. del Moral, R. Mediavilla, y C.J. Dabrio

Interpretación genética de tres estalagmitas de la Cueva de Don Juan (Valencia): aplicación del Análisis Arquitectural de Espeleotemas.....169
A. Molero, M.B. Muñoz-García, J. Martín-Chivelet, M.J. Turrero

Emersión de una plataforma carbonatada aislada. Un ejemplo en el Prebético de Jaén (Hauteriviense-Barremiense, Zonas Externas Béticas)...170
J.M. Molina, C. Jiménez de Cisneros, L.M. Nieto, P.A. Ruiz Ortiz, J.M. Castro, G.A. de Gea, y M. Company

Ambientes sedimentarios después de la ruptura de la plataforma carbonatada del Jurásico Inferior (Pliensbachiense-Toarciense, Subbético Externo, Zonas Externas Béticas).....171
J.M. Molina, y L.M. Nieto

Nuevas evidencias sobre la antigüedad del desierto del Sahara registradas en paleosuelos del Plioceno en Canarias.....172
D.R. Muhs, J. Meco, J.R. Budahn, G.L. Skipp, J.F. Betancort, y A. Lomoschiz

Cicloestratigrafía del Grupo Enciso. Cuenca oriental de Cameros (N de España).....173
Muñoz, A., Angulo, A., Liesa, C.L., Luzón, M.A., Mayayo, M.J., Pérez, A., Soria, A.R., Val, V., Yuste, A.

Middle-Upper Triassic successions in the eastern Iberian Chain (Alt Palància and Manzanera areas): Stratigraphic precisions.....174
Ortí, F., Guimerá, J., Benedicto, C.

Geometría de los depósitos litorales en el ámbito urbano y la bahía de Gijón (NO de España).....178
L. Pando, G. Flor-Blanco, A. García-Rodríguez, y J. Rey Díaz de Rada

Depósitos eocenos de transporte en masa en Getxo (Bizkaia): deducciones sobre bulldozing y transformación de flujos en masa.....179
A. Payros, y V. Pujalte

Arrecifes de Chondrodonta asociados a etapas de proliferación de Lithocodium-Bacinella (Cretácico Inferior de Cuchía, España).....180
J. Pérez-Malo, y P.A. Fernández-Mendiola

Posible influencia marina y formación de dolomita bioinducida durante el Mioceno final en la Cuenca de las Minas, SE de España 181
V. Pineda, L. Gibert, J. García-Veigas, J. Soria, M. Sanchez-Román, y A. Carrazana

Análisis integrado de una sucesión marina transgresiva (Mioceno superior, Cuenca de Guadix, Cordillera Bética).....185
M. Poyatos-Moré, F. García-García, J.M. Soria, F.J. Rodríguez-Tovar, F. Pérez-Valera, J.J. Peral, C. Viseras, y I. Midtkandal

Colapso extensional de la plataforma del Jurásico Inferior en el sector sur del Valle del Turia (Valencia).....186
C. Santisteban, A. Ramos

Dolomita y arcillas fibrosas magnésicas en microbialitas lacustres miocenas 187
M.E. Sanz-Montero, J.P. Rodríguez-Aranda, y P. del Buey

Distribución de facies y evolución secuencial en el margen oriental de la Cuenca Ibérica al final del Cretácico (Maestrazgo, Teruel).....188
D. Torromé, M. Aurell, y B. Bádenas

Paleontología y bioestratigrafía

Ensayo de intervención en los macrofósiles de vertebrados de los yacimientos de las “Hoces de Beteta” (Cuenca, España).....189
M.R. Alcalde-Fuentes, J. Audije-Gil, F. Barroso-Barcenilla, M. Berrocal-Casero, I. Claver-Díaz, S. Ozkaya de Juanas, y J.A. Pérez-Valera

Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos de las capas intercaladas entre los flujos de basalto distales del Decán en Rajahmundry (SE India) 193
I. Arenillas, J.A. Arz, V. Gilabert, I.M. Fendley, P.R. Renne, y J. Smit

Nuevas secciones del límite Cretácico/Paleógeno en Haití 194
J.A. Arz, I. Arenillas, J.M. Grajales-Nishimura, T. Calmus, y V. Gilabert

Historia de las aportaciones paleontológicas del Museo Geológico del Seminario de Barcelona 195
J. F. Carrasco y S. Calzada

Nuevos ejemplares de Protaldonaia morenica Sdzuy, 1961 (Trilobita) en el yacimiento cámbrico de El Pozuelo, sierra de Huelva 196
L. Collantes, E. Mayoral, y R. Gozalo

Microperforaciones en conchas fósiles de bivalvos de agua dulce.....197
G. Delvene, R.P. Lozano, L. Piñuela, R. Mediavilla, y J.C. García-Ramos

Los bivalvos de agua dulce de la Mina de Ariño (Teruel, España).....198
G. Delvene, M.C. Munt, L. Alcalá, E. Espílez, L. Mampel, y R. Royo-Torres

Uso combinado de técnicas de imagen 2D y 3D para el análisis icnológico de sondeos de sedimentos marinos modernos.....199
J. Dorador, F.J. Rodríguez-Tovar, y J. Titschack

Modularidad en el cranidio de un trilobites cámbrico protorictocefálido.....202
J. Esteve, y M.V. Rodríguez

Evaluando la paleodiversidad de trazas fósiles de trilobites a través de modelos de locomoción y dinámica de fluidos computacional 203
J. Esteve, P. Rubio, M. López, y C. Ramírez-Ruiz

Tendencias ecomorfológicas en los patrones de biodiversidad de los trilobites paleozoicos.....204
J. Esteve, M.G. Suárez y J.J. Álvaro

Nuevo fósil de plesiosaurio del Barremiense superior de Morella (Castellón, España).....205
A. Jorquera-Grau, A. Santos-Cubedo, C. de Santisteban, y S. Meseguer

Increased ocean acidification and lysocline shoaling during the PETM in Roman Bridge section (Tunisia, southern Tethys) 209
N. Kotti, B. Mardassi, I. Arenillas y J.A. Ouali

Paleoclimatic Milestones of the Canary Islands 213
A. Lomoschitz, J.F. Betancort, and J. Meco

Bioestratigrafía del Silúrico de la Zona Centroibérica meridional (España).....216
S. Lorenzo

Precisión cronoestratigráfica de los yacimientos paleontológicos Mas de Clapises y Mas de Curolles (Portell, Castellón).....217
O. Marí, A. Santos-Cubedo, C. de Santisteban, y S. Meseguer

Una primera aproximación a la oodiversidad del yacimiento del Maastrichtiense Superior Blasi 2B (Arén, Huesca, Pirineos meridionales centrales) 220
M. Pérez-Pueyo, M. Moreno-Azanza, C. Nuñez-Lahuerta, E. Puértolas-Pascual, B. Bádenas, y J.I. Canudo

Sobre el hallazgo de un plesiosaurio en el Jurásico Inferior de São Pedro de Moel (Portugal) 221
E. Puértolas-Pascual, M. Marx, A. Saleiro, A. Fernandes, J. Marinheiro, O. Mateus, C. Tomás, y S. Mateus

Los rotálidos (macroforaminíferos) del Cretácico Superior del dominio Prebético norte: implicaciones filogenéticas y paleobiogeográficas. 222
R. Robles-Salcedo, y V. Vicedo

El análisis icnológico como herramienta para caracterizar ambientes de depósito marino profundos 223
F.J. Rodríguez-Tovar

Plesiosaurios de la Formación Arcillas de Morella (Barremiense superior, Castellón, España): ¿marinos o de agua dulce?.....226
A. Santos-Cubedo, C. de Santisteban, S. Meseguer, y A. Jorquera-Grau

Bioestratigrafía de las Fms. Ribota y Huérmeda (Marianiense-Bilbiliense?, Cámbrico inferior) en el área de Minas Tierga (Cadenas Ibéricas, NE España).....230
A. Sepúlveda, E. Liñán, J.A. Gámez Vintaned, J.B. Chirivella Martorell, y R. Gozalo

Bioestratigrafía del límite Luteciense–Bartoniense (SBZ 16 – 17) en el flanco oeste del anticlinal de Boltaña (cuenca de Jaca-Pamplona, Zona Surpirenaica).....234
R. Silva-Casal, P. Arbués, A. Vinyoles, M. Garcés, J. Tosquella, M. López-Blanco, L. Valero, E. Beamud, y P. Santolaria

La colección paleontológica Michel Bilotte: una nueva contribución a los fondos científicos del Museu de Ciències Naturals de Barcelona 235
L. Troya, G. Lucena, R. Robles-Salcedo, y V. Vicedo

Geomorfología

Modelo morfométrico de los desprendimientos rocosos en el barranco de Fataga, Gran Canaria.....236
M. Antón Bayona, M.J. Rodríguez-Peces, y J. Yepes

Modelo morfométrico de la avalancha rocosa de Arteara, Gran Canaria 237
M. Antón Bayona, M.J. Rodríguez-Peces, y J. Yepes

Quaternary incision of the Seine River based on Normand caves levels in north France 238
D. Ballesteros, C. Nehme, A. Farrant, D. Todisco, D. Sahy, J.M. Grappone, and D. Mouralis

Monitoring Pyrenean Rock Glaciers: a multitemporal analysis using open-source LiDAR data in the Besiberri Area 239
F.J. Bataller

Formas del relieve y procesos geomorfológicos activos en el sector suroriental de los Montes de León (NW de España).....243
J. Buzzi-Marcos, E. García-Meléndez, A. Suárez, A. Rodríguez, M. Ferrer-Julià, E. Colmenero-Hidalgo

Cambios en la geomorfología de los abanicos aluviales en el Desierto de Atacama causados por eventos extremos de precipitación 244
A. Cabré, A. Garcés, G. Aguilar, y S. Montserrat

Eventos paleolacustres en el este de La Mancha: localización de niveles de travertinos en el entorno del río Cañamares (Carrizosa, Ciudad Real).....245
I. Campaña, M. del Val, D. Moreno, M. Modesto-Mata, C. Álvarez-Posada, L. Bermejo, A. Suárez-Bilbao, P.R. Moya Maleno, D. García-Martínez

Monitorización del retroceso costero en la costa acantilada de Podes (Cabo Peñas, N de España) mediante técnicas topográficas y DInSAR.....246
J. Cuervas-Mons, M.J. Domínguez-Cuesta, P. González-Pumariega, C. López-Fernández, P. Valenzuela, F. Mateos-Redondo, O. Monserrat, y M. Jiménez-Sánchez

Utilización de drones para su aplicación en la enseñanza en estudios de geomorfología y erosión 247
L. García-España, M.D. Soriano, J. Llinares, C. Llull, y V. Pons

Efectos morfo-estructurales de la deflación en diapiros de sal, Montañas Zagros, Irán.....250
F. Gutiérrez, H. Deirnik, M. Zarei, y M. Rahimi

Cronología de las facies de interior del Complejo Galería (Tres Simas y Zarpazos) y su relación con la evolución Pleistocena del río Arlanzón ..251
I. Hernando-Alonso, D. Moreno, A. Benito-Calvo, A.I. Ortega, E. Carbonell, J.M. Bermúdez de Castro

Evolución geomorfológica de los Montes de Vitoria (País Vasco).....252
I. Martín-Martín, F. Sarrionandia, L. Eguíluz, y J. Junguitu

Análisis de la geodiversidad del karst en el Macizo de Garraf (Cataluña).....253
M.J. Micheo, J. Piña, M. Vicens, P.A. Robledo, R. Carles, E. Pi, J. Picart, J. Cirés

Discontinuidades y cambios de pendiente en el glacis de la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética): implicaciones morfotectónicas 254
F. Moral Martos, y J.C. Balanyá Roure

¿Qué fiabilidad tienen las edades del laboratorio de luminiscencia de la Universidad Autónoma de Madrid? El ejemplo de las fallas cuaternarias en el sector central de la Cadena Ibérica (NE España) 258
D. Moreno, F. Gutiérrez, M. del Val, F. Jiménez, y D. Carbonel

Resultados preliminares del estudio de los depósitos de loess yesífero en los afloramientos de Cárcar (Ribera Navarra) 259
E. Pardo-Igúzquiza, M.P. Mata, I. Gil-Peña, J.C. Larrasoaña, y A. Salazar

Marmitas fluviales en sustratos metasedimentarios de la Zona Centro Ibérica en Extremadura.....263
E. Rebollada Casado, Mª T. de Tena Rey, P. Muñoz Barco, J.A. Salgado Carmona

Caracterización y monitorización de deslizamientos activos en el Embalse de Rules (Sur de España) 264
C. Reyes-Carmona, M. Moreno-Sánchez, A. Barra, J.P. Galve, R. Sarro, O. Monserrat, T. Teixidó, A. Riquelme, P. Ruano, A. Millares, J.V. Pérez-Peña, R.M. Mateos, J.M. Azañón

Fallas cuaternarias en la rasa asturiana (sector de Avilés): indicadores geomorfológicos y estructurales 265
A. Rodríguez, L. Quintana, L. González-Menéndez, y A. Suárez

Depósitos gravitacionales paraglaciares en Torre de Babia (Cordillera Cantábrica).....269
A. Rodríguez, A. Suárez, y V. Alonso

Cronología de formas periglaciares relictas conservadas en la Cordillera Cantábrica central.....273
L. Rodríguez-Rodríguez, V. Rinterknecht, D. Bourlès, G. Aumaître, y K. Keddadouche

Las superficies de erosión neógenas en la Cordillera Ibérica: más diversas y complejas de lo que pensábamos.....274
J.L. Simón

Relación entre la variación del albedo y la temperatura de superficie (LST) en los glaciares negros de la región del Khumbu (Himalaya).....275
I. Vidaller, F. Pérez-Cabello, R. Montorio, L. Carcavilla

Hidrología e Hidrogeología

Impacto del cambio climático en el régimen de sequías en España.....276
L.M. Barranco, y A. Justel

Variaciones temporales y espaciales en el intercambio entre aguas subterráneas y superficiales: El humedal de La Charca de Suárez. Granada, España.....277
A.M. Blanco-Coronas, M. López-Chicano, M.L. Calvache , J. Benavente, y C. Duque

Hidrogeología de acuíferos profundos: una investigación necesaria.....278
C. Camuñas, J. del Pozo, J. Hornero, F. Ruíz, O. García, y M. Mejías

Respuesta hidrológica ante la transformación en riego. Barranco de Lerma.....283
J. Causapé, D. Merchán, y J.M. Orellana

Detection and classification of snowmelt episodes in the Aragón River from the analysis of seismic data.....285
J. Díaz, P.S. Sánchez-Pastor, and M. Ruiz

Caracterización hidroquímica e isotópica del acuífero kárstico carbonatado de la Sierra del Aramo (Asturias, NO España).....289
T. Esolá-Muñiz, y B. González-Fernández

Contribución de la prospección geofísica y del análisis del MDT a la definición geométrica de un acuífero neógeno: el caso del acuífero de Benalup (provincia de Cádiz).....290
S. García-López, M. Vélez-Nicolás, V. Ruiz-Ortiz, M. García, y M. Rodríguez

Datación del agua del manantial de Meliones (provincia de Málaga) y su integración en un modelo hidrogeológico conceptual de carácter regional.....294
J.M. Gil-Márquez, M. Mudarra, J.F. Martín-Rodríguez, F. Carrasco, L. Linares, y B. Andreo

Respuesta hidrológica del sistema kárstico Güixas-Rebeco ante las precipitaciones (Villanúa, Pirineo Central).....299
R. Giménez, M. Bartolomé, A. Moreno

Cartografía predictiva de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas mediante algoritmos de clasificación supervisada.....300
V. Gómez-Escalonilla, P. Martínez-Santos, E. Montero

Evidencia de la idiosincrasia del transporte de fármacos en aguas subterráneas a partir de datos de manantiales.....301
M. Gros, J. Mas-Pla, M. Celic, A. Menció, D. Brusi, y M. Petrovic

Variaciones estacionales de la salinidad del agua subterránea en las márgenes de la Salina Grande de Villafáfila (Zamora).....302
P. Huerta, P. Carrasco, I. Armenteros, C. Recio, y J.C. Gonzálo

Caracterización hidrogeoquímica e isotópica preliminar de los manantiales epiperidotíticos de las Peridotitas de Ronda.....303
P. Jiménez-Gavilán, I. Vadillo-Pérez, y R. Scapini-Gallardo

Integración de información litoestratigráfica e hidrogeológica en un único documento gráfico: columnas hidro-estratigráficas.....308
J. López-Gutiérrez, A. de la Hera-Portillo, C. Marín-Lechado, A. Ruíz-Constán, F. Rubio, y F. Bohoyo Muñoz

Evolución hídrica de las Lagunas Reales (Cuenca del Duero, España) durante los siglos XX y XXI.....309
R. Mediavilla, J.I. Santisteban, V. Borruel, A. de la Hera-Portillo, M.T. López, y J.C. Gumiel

La compartimentación del acuífero kárstico del Parque Nacional de los Picos de Europa: factores condicionantes.....310
M. Meléndez, D. Ballesteros, y M. Jiménez-Sánchez

Análisis de la influencia de las aguas subterráneas en la hidrología de lagunas de nueva creación (La Pletera, Girona).....311
W. Meredith, X. Casamitjana, X. Quintana, M. Bas-Silvestre, M. Antón-Pardo, D. Boix, J. Pascual, M. Martinoy, D. Brusi, J. Mas-Pla, y A. Menció

Origen de las aguas subterráneas hipersalinas asociadas al complejo olistostrómico del Guadalquivir (Andalucía).....312
F. Moral Martos

Las aguas subterráneas del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo-Salinas (Pirineo Occidental).....316
C. Oliván, E.L. Pueyo, E. Garrido-Schneider, A. Azcón, E.M. Sánchez-Moreno, J.C. Larrasoaña, y F. Compaired

Cartografía geológica de la cuenca de Gallocanta (España).....317
J. Ramajo, J.M. Orellana, C. Galé, y J. Causapé

Evaluación de la alteración del hidroperiodo en la laguna del Taraje (Parque Nacional de Doñana) mediante monitorización continua y modelización numérica 321
M. Rodríguez-Rodríguez, J. Delgado, y R. Barbero

Parque Nacional Tablas de Daimiel: El humedal frente a la actividad de las especies exóticas invasoras, la turbidez y la eutrofización 325
E. Santofimia, E. López-Pamo, E. González-Toril, M. Mejías, J.M. Ruiz, y A. Aguilera

Procesos hidrogeoquímicos ligados a la precipitación mineral en una salina costera 329
F. Sola, y A. Vallejos

Caracterización y funcionalidad hidrológica de los suelos de una cuenca pre-pirenaica (Bidasoa, Navarra) 330
M. Valiente, A. Zabaleta, M. Meaurio, J.A. Uriarte, y I. Antigüedad

Hidrobio-geología del complejo sistema del diapiro de Añana (Araba) 331
A. Zabaleta, M. Azpiazu-Muniozguren, J. Bikandi, J.A. Uriarte, I. Martinez-Ballesteros, J. Garaizar, y I. Antigüedad

Estudio hidrogeológico-hidroquímico del complejo sistema multicapa del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz 332
A. Zabaleta, R. Carrey, N. Otero, J. Vilela, J.A. Uriarte, y I. Antiguedad

Vulcanología

Variaciones de δD y $\delta^{18}O$ en el sistema magmático de Isla Decepción (Antártida): implicaciones para los mecanismos de ascenso magmático....333
A.M. Álvarez-Valero, G. Gisbert, M. Aulinas, A. Geyer, G. Kereszturi, A. Polo-Sánchez, E. Núñez-Guerrero, H. Sumino, y J. Borrajo

Modelización 3D de muestras de la Isla Decepción (Antártida) mediante Agisoft Metashape Standard 334
R. Arasanz, O. Vilanova, A. Geyer

El volcanismo holoceno de El Hierro, Islas Canarias 335
M. Aulinas, M.C. Cabrera, C. Criado, J.L. Fernandez-Turiel, F.J. Perez-Torrado, y A. Rodriguez-Gonzalez

Identificada una de las mayores erupciones del Holoceno en el Complejo Volcánico de Cerro Blanco, Andes Centrales 336
J.L. Fernandez-Turiel, F.J. Perez-Torrado, A. Rodriguez-Gonzalez, N. Ratto, M. Rejas, y A. Lobo

Evolución del sistema magmático de Isla Decepción (Antártida) 337
A. Geyer, A.M. Álvarez-Valero, G. Gisbert, M. Aulinas, D. Hernández-Barreña, A. Lobo, y J. Martí

Presentando DecTephra, una nueva base de datos del registro de tefras de la Isla Decepción (Antártida) 338
J. Hopfenblatt, A. Geyer, M. Aulinas, A. Polo Sánchez, A. Álvarez-Valero

Estudio de estructuras corticales superficiales en la isla de San Miguel (Archipiélago de Azores) mediante el análisis de datos gravimétricos 339
O. Lozano, F.G. Montesinos, y J. Arnoso

El complejo riolítico de Grèixer: un ejemplo de caldera de colapso del Permico Inferior 340
J. Martí, A. Geyer, G. Aguirre, C. Rodriguez, N. Bach, S. Schamuells y D. Pedrazzi

¿Volverá el volcán Teide a hacer erupción? 341
J. Martí, A. Geyer y O. Dorado

El magmatismo Permo-Carbonífero del Pirineo catalán. Una oportunidad única para observar conexión plutónica-volcánica 342
J. Martí, C. Rodriguez, N. Bach, S. Schamuells, G. Sosa, J. Cires, E. Suara, D. Pedrazzi, y A. Geyer

Nuevas edades C14 y U/Th de la erupción de Montaña Doramas y los depósitos carbonáticos asociados (Gran Canaria, Islas Canarias). Relación causa-efecto 343
F.J. Perez-Torrado, M.C. Cabrera, A. Marrero, C. Ravazzi, y A. Rodriguez-Gonzalez

Caracterización del registro eruptivo de Isla Decepción (Islas Shetland del Sur, Antártida) mediante caracterización de capas de cenizas en testigos oceánicos proximales 344
A. Polo Sánchez, J. Hopfenblatt, A. Geyer, M. Aulinas, G. Ercilla, A. Álvarez-Valero

Petrología y geoquímica de las rocas volcánicas de la isla de El Hierro (Islas Canarias) 345
C. Prieto, M. Aulinas, A. Rodriguez-Gonzalez, J.L. Fernandez-Turiel, F.J. Perez-Torrado, I. Arienzo, y M. D'Antonio

Modelado de flujos de lava: el volcán de Montaña Aguarijo (El Hierro, Islas Canarias) 346
A. Rodriguez-Gonzalez, M. Aulinas, C. Prieto, F.J. Perez-Torrado, J.L. Fernandez-Turiel, C. Criado Hernández, y M.C. Cabrera

Características petrológicas y geoquímicas de los flujos lávicos de la erupción del volcán de Fogo de noviembre de 2014 en la isla de Fogo (Archipiélago de Cabo Verde) 347
J.A. Rodriguez-Losada, P.A. Hernandez, S.S. Victoria, J. Cabral, V. Alfama, J.M. Pereira, G.V. Melian, y N.M. Perez

Actividad magmática explosiva en el Campo Volcánico de Calatrava 348
F. Sarrionandia, J. Errandonea-Martin, M. Carracedo-Sánchez, y J.I. Gil Ibarguchi

Características de los depósitos estrombolianos basales del volcán Cabeza Parda (Campo Volcánico de Calatrava) 349
F. Sarrionandia, J. Errandonea-Martin, M. Carracedo-Sánchez, y J.I. Gil Ibarguchi

Análisis de las características morfoestructurales del volcán de Enmedio (Islas Canarias) 350
J.T. Vázquez, D. Palomino, O. Sánchez-Guillamón, N. Martínez-Carreño, L.M. Fernández Salas, M. Gómez Ballesteros, P. Lozano, S. Meletlidis, C. Presas-Navarro, O. Tello, y E. Fraile-Nuez

Descifrando los procesos magmáticos desencadenantes de la formación de la caldera en Isla Decepción (Antártida).....351
O. Vilanova, A. Polo, M. Aulinas, A. Geyer, J. Martí, A. Álvarez-Valero, H. Albert, G. Gisbert

Mineralogía

Composición mineralógica de unidades sedimentarias cenozoicas mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio (VNIR–SWIR) en el sector noroccidental de la Cuenca del Duero (León, España).....352
A. Báscones, E. García-Meléndez, M. Suárez, M. Ferrer-Julià, E. Colmenero-Hidalgo, y A. Quirós

El yacimiento de W-Sn-(Mo) de Peña do Seo, NW de España: estudio de inclusiones fluidas.....356
P. Caldevilla, F. Gómez-Fernández, A.M. Castañón-García, T. Martín-Crespo, E. Vindel, L. González-Menéndez, M. Rodrigues, y A. Guedes

Caracterización de fluidos metamórficos en los yacimientos de sulfuros de la Val d'Aran (Zona Axial de los Pirineos).....357
G. Casado, M. Corbella, y E. Cardellach

Agregados de cristales de calcita en forma de rosetas rellenando fracturas en el SE de los Pirineos.....358
D. Cruset, J. Ibáñez-Insa, I. Cantarero, C.M. John, y A. Travé

Aplicación del Análisis Digital de Imagen en la cuantificación de parámetros de forma de partículas minerales.....359
J. Cuervas-Mons, E. Berrezueta, B. Ordóñez-Casado, y Á. Rodríguez-Rey

Geoquímica de las arcillas de la Sima del Vapor.....360
B. Del Moral, R. Pérez-López, M.P. Mata, J.F. Mediato, E. Bellido, M.R. Castillo-Carrión, E. Ugarte-Manzanares, M.T. Andrés-Álvez, J. López-Hernando, y C. Pérez-Garrido

Caracterización mineralógica preliminar de residuos generados en un tratamiento de aguas ácidas tipo sustrato alcalino disperso.....361
J. Delgado, M. Rodríguez-Rodríguez, C. Barba-Brioso, J.J. Romero-Guerrero, y D. Ayala

Depósitos espeleotémicos de aragonito y calcita flotante (rafts) en los lagos de la Cova des Ases (Mallorca): primeros resultados 365
A. Entrena, J.J. Fornós, y L.F. Auqué

Influencia del topacio en las condiciones de cristalización de las aplopegmatitas de Tres Arroyos (Badajoz, España).....366
I. Garate-Olave, E. Roda-Robles, P.P. Gil-Crespo, A. Pesquera, y J. Errandonea-Martin

Geología y suelos en la isla de Tabarca (Alicante).....367
L. García-España, M.D. Soriano, y V. Pons

Caracterización mineralógica del Caolín de Golpejas (Salamanca).....370
A. García-Vicente, A. Lorenzo, J. Morales, E. García-Romero, y M. Suárez

Monacita en suelos formados sobre pizarras del Ordovícico Centroibérico: ensayo de movilidad de sus componentes.....374
P. Higueras, R. Jiménez-Ballesta, J.M. Esbrí, R. García, E.M. García-Noguero, C. García-Noguero, R. Álvarez, J.A. Campos-Gallego, y P.M. García-Zamorano

Incubation columns applied for simulating of microbially catalyzed mineral neoformation and early diagenesis of AMD-affected sediments 378
A. Ilin, I. Yusta, and J. Sánchez-España

Estudio preliminar de las transformaciones minerales en materiales bauxíticos durante la cocción y su relación con propiedades físicas de interés.382
E. Laita, B. Bauluz, A. Yuste, y M.J. Mayayo

Caracterización mineralógica de bentonitas del Source Clay Repository 386
A. Lorenzo, A. García-Vicente, J. Morales, E. García-Romero, y M. Súarez

Distribution of calcite cements in a folded fluvial succession: the Puig-reig anticline (South-eastern Pyrenees) 390
X. Sun, E. Gomez-Rivas, J. Alcalde, D. Cruset, D. Muñoz-López, I. Cantarero, J.D. Martín-Martín, and A. Travé

Authigenic mineral precipitates in acidic pit lakes and incubation columns related to biogeochemical factors.....393
I. Yusta, A. Ilin, y J. Sánchez-España

Petrología, Geoquímica y Geocronología (Homenaje a Carmen Galindo Francisco)

Metapelitas de alta presión de la Unidad de Badajoz-Córdoba (Macizo Ibérico): la sutura del Devónico Superior del Orógeno Varisco 396
R. Arenas, I. Novo-Fernández, A. García-Casco, R. Díez Fernández, J.M. Fuenlabrada, M.F. Pereira, J. Abati, S. Sánchez Martínez, y F.J. Rubio Pascual

Isótopos de litio como trazadores de procesos magmáticos en basaltos de islas oceánicas de intraplaca (OIB): el caso estudio de El Hierro (Islas Canarias).....397
M. Aulinas, I. Arienzo, M. D'Antonio, J.L. Fernandez-Turiel, M. Rejas, C. Prieto, J. Urpí, A. Rodriguez-González, y F.J. Perez-Torrado

Edad de cristalización magmática a partir de circones ígneos con un rango elevado de edades U-Pb concordantes: Dos ejemplos de la Sierra de Fiambalá (Sierras Pampeanas, Argentina).....398
C. Casquet, P. Castiñeiras, P.H. Alasino, J.A. Dahlquist, y E.G. Baldo

Geochemical tools for porphyry systems exploration: Magma fertility, and Porphyry Indicator Minerals (PIMs) of the northern Bowen Basin, Queensland (Australia) 400
I. Corral, F. Sahlström, H. Behnsen, and Z. Chang

Proyecto GEO_FPI, cartografía de la Zona Surportuguesa (ZSP). Datos preliminares de un estudio geocronológico U-Pb 404
A. Díez-Montes, J.X. Matos, P. Valverde-Vaquero, R. Solá, A. Beranoaguirre, L. Albardeiro, R. Salgueiro, I. Morais, P. Montero, y M.T. López

Garnet-rich I-type intrusive rocks from Punta dels Farallons (Cap de Creus, Eastern Pyrenees): A case of reactive bulk assimilation? 405
E. Druguet, y A. Castro

Caracterización geoquímica e isotópica (Sr-Nd) del plutón granítico peralumínico de La Bazana (Macizo Ibérico meridional) 409
J. Errandonea-Martin, F. Sarrionandia, S. García de Madinabeitia, J.I. Gil Ibarguchi

Variación composicional en los batolitos cordilleranos: ¿una consecuencia de la entrada de restitas? 410
M. García-Arias, y J.S. Puerto-León

Modelización termodinámica de la evolución magmática de diapiros trans-litosféricos 414
M. García-Arias, y M.P. Silva

Polimetamorfismo en las Zonas Internas béticas: implicaciones tectónicas 418
A. Garcia-Casco, A. Sánchez-Navas, I. Blanco-Quintero, A. Martín-Algarra

Geoquímica de las pizarras ordovícicas encajantes del yacimiento de Zn-Pb-Cu-As(Au) de Pombriego (Sinclinal de Truchas) 419
P. García de Arriba, L. González-Menéndez, A. Guedes, A. Castañón, y F. Gómez-Fernández

La edad del skarn de Cala: datación U-Pb mediante TIMS y LA-ICP-MS del granate cálcico 420
S. García de Madinabeitia, A. Beranoaguirre, F. Corfu, y J.I. Gil Ibarguchi

Datación U-Pb de vesuvianita mediante LA-ICP-MS: un ejemplo de los mármoles de Somosierra 421
S. García de Madinabeitia, M.E. Sánchez Lorda, y J.I. Gil Ibarguchi

Xenolitos peridotíticos y piroxeníticos del volcán El Palo (Campo Volcánico de Calatrava, España) 422
J. García Serrano, C. Villaseca, C. Pérez-Soba

Petrología de los ortogneises félsicos incluidos en granitos variscos postectónicos. Península de O Grove, Galicia, España 426
L. González-Menéndez, A. Cuesta, G. Gallastegui, P. González Cuadra, L.R. Rodríguez Fernández

Los primeros pulsos del magmatismo Varisco del NO de Iberia (Galicia, España). Datos preliminares de nuevas edades U-Pb SHRIMP y CA-ID-TIMS en granodioritas precoces 430
L. González Menéndez, G. Gallastegui, A. Cuesta, P. Montero, P. Valverde-Vaquero, A. Rubio-Ordóñez, y F. Bea

The Neoporoterozoic granitoids associated to the ophiolitic Complex of Bou-Azzer (Anti-Atlas, Morocco): New SHRIMP dating, Geochemistry and Sr-Nd isotopes 431
M. Ikenne, M. Souhassou, B. Cousens, P. Montero, E.H. Beraaouz, F. Bea, F. Haissen, A.H. Karfal, S. Ilmen, S. Belkacim, A. Toummite, F. Askour, L. Maacha, and M. Zouhair

Las rocas ultrapotásicas plutónicas del NO de Vitigudino (Salamanca): caracterización y relación con las series shoshoníticas del Centro-Oeste Español 432
F.J. López-Moro, M. Iglesias Aguirre, M. López-Plaza, A. Castro, y J.I. García de los Ríos Cobo

Los granates del magmatismo Cisuraliense en la Cordillera Ibérica: Origen, evolución y convergencia composicional a escala de cadena 436
U. Majarena, C. Galé, M. Lago, y A. Gil

Origen y significado de las "pizarras moradas" de la Faja Pirítica Ibérica 440
P. Martagón, C. Moreno, R. Sáez, y G.R. Almodóvar

Procesos metamórficos e hidrotermales Variscos en rocas carbonáticas del Cámbrico inferior (Montes de Toledo, Zona Centroibérica, España) 441
S. Menéndez, L. González-Menéndez, M. Rodríguez-Martínez, F.J. Rubio Pascual

Registro de eventos metasomáticos en los xenolitos peridotíticos del volcán de Los Tormos (Campo de Calatrava, España) 445
C. Pérez-Soba, C. Villaseca, y J. García Serrano

Caracterización petrológica y geoquímica de dos diques basálticos y una colada volcánica del macizo del Cap de Creus (Pirineos orientales) 450
L. Poll, G. Alías, y M. Aulinas

Técnica simplificada para la determinación de $^{87}Sr/^{86}Sr$ en calizas mediante MC-ICP-MS 451
B. Puente-Berdasco, D. Ballesteros, A. Painchault, C. Nehme, D. Mouralis, y J.I. García-Alonso

Geoquímica, petrología y geocronología de rocas plutónicas Carboníferas del Macizo de Évora (Zona de Ossa-Morena, Portugal). Un caso de repetido reciclaje cortical e influencia mantélica 452
C. Rodríguez, M.F. Pereira, A. Castro, y C. Fernández

Correlación isotópica (Sm-Nd) entre las series Ediacáricas de Iberia y Bohemia 453
E. Rojo-Pérez, J.M. Fuenlabrada, U. Linnemann, R. Arenas, S. Sánchez Martínez, R. Díez Fernández, L.M. Martín Parra, J. Matas, P. Andonaegui, y J. Fernández-Suárez

Early Paleozoic rifting in the Ossa Morena Complex (SW Iberian Massif): geochemistry and geochronology of a pre-Variscan event in the Sierra Albarrana Domain and La Cardenchosa Pluton 454
B. Solís-Alulima, A. López-Carmona, and J. Abati

Geoquímica y comunidades microbianas en los salares de Pajonales y de Gorbea (Chile): Influencia en la formación de microbialitos de yeso.....458
C. Tebes-Cayo, C. Demergasso, G. Chong, O. Cabestrero, E. Sanz-Montero, E. Castro-Nallar, N. Cabrol

Metodología y aplicación de los analizadores portátiles de XRF en la caracterización geoquímica de rocas, suelos y sedimentos 463
M. Vilà

Origen y edad del complejo ultramáfico-máfico Tampanchi (Ecuador) 464
F. Villares-Jibaja, I.F. Blanco-Quintero, A. Garcia-Casco, P. Reyes, C. Lázaro, y J.A. Proenza

Geología Ambiental y Riesgos

Mitigación del peligro de desprendimientos en terrenos volcánicos mediante análisis estadístico. El caso de Gran Canaria.....465
M. Antón Bayona, M.J. Rodríguez-Peces, y J. Yepes Temiño

Interferometría radar de satélite en los Pirineos orientales: el proyecto MOMPA 466
A. Barra, A. Echeverria, J. Marturia, X. Colell, Q. Gao, M. Cuevas, I. Febregat, P. Buxó, L. Trapero, G. Luzi, M. Gasc, N. Dufour, y M. Crosetto

Detección de deformaciones activas en la Península Ibérica mediante datos Sentinel-1: resultados preliminares en Andalucía, Cataluña, y Murcia.....467
M. Béjar-Pizarro, J.P. Galve, O. Monserrat, P. Ezquerro, J. López-Vinielles, C. Reyes Carmona, A. Barra, R. Sarro, R.M. Mateos, J.V. Pérez-Peña, J.M. Azañon, y G. Herrera

Desarrollo de sistemas fotogramétricos para el monitoreo 4D de desprendimientos.....468
X. Blanch, A. Abellan, y M. Guinau

Flujo de trabajo para la obtención de modelos fotogramétricos de alta calidad con time-lapse cameras 469
X. Blanch, A. Abellan, M. Guinau, y A. Eltner

La técnica DInSAR aplicada al estudio de inestabilidades de ladera en Asturias (Norte de España) 470
J. Cuervas-Mons, M.J. Domínguez-Cuesta, F. Mateos-Redondo, O. Monserrat, A. Barra, y P. Valenzuela

La temperatura como trazador de la recarga de acuíferos: el caso de Tenerife 471
A. Eff-Darwich, J.P. Díaz, y J.A. Rodríguez-Losada

Caracterización y modelización de la subsidencia asociada a extracción de agua subterránea mediante InSAR, Alto Guadalentín (Murcia)....472
P. Ezquerro, R. Tomás, M. Béjar-Pizarro, J.A. Fernández-Merodo, C. Guardiola-Albert, A. Staller, J.A. Sánchez-Sobrino, y G. Herrera

La e-infraestructura EPOS (The European Plate Observing System) 473
J.L. Fernandez-Turiel, I. Bernal, A.G. Camacho, R. Carbonell, J.J. Curto, J. Fernández, J. Díaz, y A. Geyer

Cartografía de los materiales antropogénicos. Sierra de Cartagena-La Unión. España 474
C. García-García, V. Robles-Arenas, A.V. Caparrós, A. Alcolea, y R. Rodríguez-Pacheco

Inventario geomorfológico del temporal Gloria (19-23 enero 2020): Movimientos de ladera, procesos fluviales y litorales.....475
M. González, J. Pinyol, M.J. Micheo, R. Carles, E. Pi, E. Soldevila, J. Picart, G. Subiela, J. Peña, J. Reixach, E. Sánchez, y M. Vila

Evolución de la monitorización InSAR en zonas mineras: nuevos satélites y servicios de procesado en la nube.....476
J. López-Vinielles, P. Ezquerro, R. Sarro, J.C. García-Davalillo, V. Rodríguez-Gómez, M. Béjar-Pizarro, y G. Herrera

Integración del uso de drones y la simulación numérica para el establecimiento de medidas correctoras frente a desprendimientos: Caso de estudio Ayna (Albacete) 480
M. Martínez-Corbella, R. Sarro, I.G. Gallo, J. López-Vinielles, M. Hérnandez, J.C. García-Davalillo, C. Lorenzo, R.M. Mateos, y J. Mulas

Geología y Cambio Climático 484
W. Martínez del Olmo

ADATools: Conjunto de herramientas para el análisis de mapas de movimientos del terreno obtenidos con Interferometría SAR 488
O. Monserrat, A. Barra, C. Reyes-Carmona, M. Bejar, J. Navarro, R. Tomás, J.P. Galve, L. Solari, R. Sarro, R.M. Mateos, y J.M. Azañón

Aplicación de un sistema electro-magnético en dominio de frecuencias (FDEM) para la caracterización de suelos contaminados por arsénico....489
A. Muñoz-Martín, M.L García Lorenzo, E. Crespo, J.M. Ruiz-Roso, J.L. Granja, y P. Castiñeiras

Elevadas dosis de radón (^{222}Rn) y terremotos en la Sima del Vapor (Murcia).....490
R. Pérez-López, A. Fernández-Cortés, S. Cuezva, Á. Sánchez-Malo, E. Sanz, S. Sánchez-Moral, J.M. Calaforra, T. Martín-Pozas, A. Marcos-Nuez, y E. Bañón

Déficit de oxígeno y temperatura en superficie en cavidades de la zona centro de la Península Ibérica.....491
R. Pérez-López, S. Sánchez-Moral, T. Martín-Pozas, A. Fernández-Cortés, S. Cuezva, y A. Marcos-Nuez

El Sistema de Información Dinámica del Litoral (SIDL): una herramienta para la gestión de los riesgos costeros en Cataluña.....492
J. Pinyol, y M. González

Validación del Mapa para la Prevención de los Riesgos Geológicos de Cataluña mediante el inventario de fenómenos sucedidos con posterioridad a la cartografía....493
J. Pinyol, y M. González

Estimación del volumen del deslizamiento de Mencui (Pirineos catalanes) mediante LiDAR aéreotransportado....494
J. Pinyol, M. González, y J. Montilla

Relación entre exhalación de radón e índice de actividad radioactivo en rocas volcánicas del Archipiélago Canario....495
J.A. Rodríguez-Losada, A. Eff-Darwich, L.E. Hernández Gutiérrez, y R. Viñas Pérez

Fallas de flujo en presas de lodos mineros por licuefacción estática: 14 casos....496
R.L. Rodríguez-Pacheco, F.J. Fernández-Naranjo, J.C. Arranz-González, V. Rodríguez-Gómez, A. Muñoz-Moreno, y C. García-Garcia

Estudios de polarización de ondas sísmicas generadas por avalanchas de nieve....500
P. Roig, E. Suriñach, M. Tapia, y C. Pérez-Guillén

EPILATES: una aplicación para el cálculo de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera sismo-inducidos....501
J.C Román-Herrera, J. Delgado, M.J. Rodríguez-Peces, J.A. Peláez, y C. Bonal

Aplicación de técnicas Big Data en la elaboración de mapas de peligrosidad de deslizamientos sismo-inducidos....502
J.C. Román-Herrera, y M.J. Rodríguez-Peces

Flujos de aire fresco en cuevas tectónicas y gravitacionales: una aproximación multidisciplinar....503
M. Sánchez-Gómez, D. Gil, J.M. Gómez-López, J. Tovar-Pescador, J.L. Pérez-García, T. Fernández, T. Guerra, G. Garrido y J.R. Jiménez-Pérez

La interacción entre Protección Civil y los Servicios Geológicos en Europa: hacia una colaboración más estrecha....508
R. Sarro, R.M. Mateos, M. Béjar-Pizarro, G. Herrera, A. Barra, O. Monserrat, R. Perez-Lopez, M. Martínez-Corbella, A. Potenciano, y L. Saenz de San Pedro

Contaminación por partículas orgánicas carbonosas y elementos traza asociados en las playas de Gijón: el caso de Poniente y El Arbeyal....512
P. Tomillo, I. Suárez Ruiz, M. Díaz Somoano, J. Ribeiro, y D. Luis

Predicción de la subsidencia del Delta del Ebro mediante datos geológicos....513
M. Vilà, X. Rodríguez, R. Pi, O. Mora, F. Pérez, y J. Marturià

Ingenieria Geológica y Geotecnia

Modelización geológico-geotécnica para la construcción de un dique....514
M. Acosta Segura, A. Muñoz Martín, y S. Melentijevic

Evolución del comportamiento geomecánico del macizo rocoso implicado en la avalancha de rocas de Arteara, Gran Canaria, Islas Canarias, España....515
M. Antón Bayona, M.J. Rodríguez-Peces, J. Yepes Temiño

Caracterización de la fracturación y la conectividad hidráulica mediante diferentes técnicas, para modelar un DFN en la Cantera de La Fou (Macizo del Garraf, Catalunya)....516
L. Blanco, D. Garcia-Sellés, O. Gratacós, J.A. Muñoz, M. Coll, J. Ledo, A. Marcuello, C. Colàs, J.M. Ramos, y L. Arenas

Identificación y clasificación de desprendimientos de roca con LIDAR y machine learning en Montserrat y Castellfollit de la Roca (Cataluña)....517
L. Blanco, D. García-Sellés, N. Pascual, A. Puig, M. Salamó, M. Guinau, O. Gratacos, J.A. Muñoz, M. Janeras, y O. Pedraza

Caracterización litogeotécnica de las margas del Mioceno Superior del Alto Guadalquivir....518
J.I. Mellado, J. Calero, M. Sánchez-Gómez, T. Fernández, R. Carpena, y A. Pérez de la Torre

Aproximación a los primeros efectos de la meteorización en una dolomía (Fm. Gijón, Asturias)....519
L. Pando, V.G. Ruiz de Argandoña, S. Llana-Fúnez, y P. Álvarez-Alonso

Evaluación de patologías constructivas en medios urbanos. Estudio de caso de la localidad de Perdiguera (Zaragoza)....522
Ó. Pueyo Anchuela, P.L. López Julián, A. Pocoví Juan, J. Gracia Abadías, A. Gil Imaz, J. Ramajo, C. Revuelto, J.I. Bartolomé, y A. Blecua Lázaro

Geofísica

Anisotropía de la corteza superior mediante interferometría de ruido sísmico y separación de ondas S (Cordillera Cantábrica, NO España)....523
J. Acevedo, G. Fernández-Viejo, S. Llana-Fúnez, C. López-Fernández, y J. Olona

Crustal structure of the Iberian Central System and adjacent basins....524
J. Andrés, P. Ayarza, M. Schimmel, D. Draganov, I. Palomeras, M. Ruiz, and R. Carbonell

Nuevos datos gravimétricos y geológicos de la Zona Axial y límite con la Zona Surpirenaica del Pirineo Central....528
C. Ayala, R. Soto, F.M. Rubio, C. Rey-Moral, A.M. Casas-Sainz, P. Clariana, E.L. Pueyo, B. Oliva-Urcia, T. Román-Berdiel, Martín-León, J y J. Martí

Anatomy of rift-segmenting transfer faults: new results from the Pamplona Fault (Western Pyrenees)....529
C. Bravo, J.I. Baceta, and J.C. Larrasoaña

Registro geofísico e interpretación sísmica de estructuras extensionales y compresivas en el Margen Continental Noribérico.....530
P. Cadenas, G. Manatschal, G. Fernández-Viejo, y J. Kim Welford

Hacia una base de datos sísmicos abierta en la Península Ibérica: el repositorio del ICTJA-CSIC.....531
I. DeFelipe , J. Alcalde, R. Carbonell, M. Ivandic, y R. Roberts

Caracterización de la estructura cortical bajo la Zona Centro Ibérica: el experimento CIMDEF.....532
I. DeFelipe, J. Andrés, J. Alcalde, I. Palomeras, M. Ruiz, P. Ayarza, D. Martínez Poyatos, F. González Lodeiro, J. L. Granja-Bruña, R. Rodríguez-Fernández, M. Torné, y R. Carbonell

High density seismic records of helicopters and airplanes in northwestern Iberia.....533
J. Díaz, J. Andrés, I. DeFelipe, M. Ruiz, R. Carbonell

Applicability of methods based on seismic ambient noise in zones with different levels of anthropogenic activity.....536
J. Diaz, M. Schimmel, M. Ruiz, R. Carbonell

Estudio de la composición mineralógica en formas del relieve de baja pendiente mediante imágenes ASTER en la cuenca del Duero (León, España).....539
E. García-Meléndez, A. Báscones, M. Ferrer-Julià, M. Suárez y E. Colmenero-Hidalgo

Multichannel Surface-Wave-Analysis (MASW) across the Alhama de Murcia Fault Zone.....540
Handoyo, J. Alcalde, D. Martí, J.J. Martínez-Díaz, T. Teixidó, and R. Carbonell

Anisotropía sísmica en pizarras de techar del noroeste peninsular: medida directa y cálculo de velocidades a partir de orientación cristalográfica preferente.....544
S. Llana Fúnez, V. Cárdenes, M.A. López Sánchez, J. Olona, y F. Barou

Estudio de la anisotropía sísmica del hielo parcialmente fundido en zonas de basales de los casquetes polares.....545
M.-G. Llorens, A. Griera, E. Gomez-Rivas, P.D. Bons, I. Weikusat, y R. Lebenhson

Estructura del sur de Taiwán a partir del estudio de campos potenciales.....546
O. Lozano, P. Ayarza, J. Álvarez-Marrón, D. Brown

Modelo geológico 3D del acuífero de Medina del Campo (SE Cuenca del Duero).....547
C. Marín Lechado, A. Ruiz Constán, J.C. López Gutiérrez, F.M. Rubio Sánchez Aguililla, y A. De la Hera

SIT4ME: Técnicas sísmicas multidisciplinarias para la exploración minera en Sotiel (SO-España).....548
Y. Martínez, J. Alcalde, D. Martí, P. Ayarza, M. Ruiz, I. Marzán, F. Tornos, A. Malehmir, A. Gil, S. Buske, D. Orlowsky, y R. Carbonell

Geometría y petrofísica como input engranados para la modelización geofísica.....549
T. Mochales, A. Manar, T. Román-Berdiel, S. Torres, I. Falcón, A. Casas-Sainz, P. Calvín, V.C. Ruiz, A. Gil-Imaz, F. Bógalo, B. Moussaid, J.J. Villalaín, B. Oliva-Urcia, P. Santolaria, E. Sánchez-Moreno, A. Pocoví, H. El Ouardi, E. Izquierdo, M. Marcén, M.Á. Herrejón, Á. Jiménez

Registro post-PETM de hipertermales en el Pirineo meridional.....550
T. Mochales, I. Rosales, y A. Barnolas

Estructura Litosférica bajo la transecta sísmica pasiva TransCorBe (Béticas Orientales) utilizando Funciones Receptoras de ondas P.....551
J. Morales, F. Mancilla, D. Stich, A. Molina-Aguilera, J.M. Azañón, T. Teixido, J.A. López-Comino, B. Heit, y X. Yuan

El georadar como herramienta para estimar tasas de desplazamiento en deslizamientos activos.....552
M. Moreno-Sánchez, C. Reyes-Carmona, P. Ruano, T. Teixidó, A. Millares, J.P. Galve

Espesor de sedimentos en las cuencas Cenozoicas del oeste de España a partir de datos magnéticos de alta resolución.....553
A. Olaiz, G. de Vicente, A. Muñoz-Martín, y R. Vegas

Inversión no lineal de curvas dispersión de ondas Rayleigh para la determinación de la estructura cortical de la Zona Vasco-Cantábrica.....554
A. Olivar-Castaño, M. Pilz, D. Pedreira, J. Pulgar, A. Díaz-González, y J.M. González-Cortina

Interpreting the Sub-crustal Reflectivity beneath the Iberian Massif.....555
I. Palomeras, P. Ayarza, J. Andrés, J. Díaz, J. Alcalde, A. Alvarez-Valero, J. Gómez-Barreiro, and R. Carbonell

Sísmico de alto ángulo ALCUDIA: Composición de la corteza de la Zona Centro Ibérica a partir de los modelos de velocidad de ondas P, ondas S y coeficientes de Poisson.....559
I. Palomeras, P. Ayarza, S.A. Ehsan, D. Martínez-Poyatos, y R. Carbonell

Bouguer anomaly map of the southwestern Pyrenees.....560
E.L. Pueyo, F.M. Rubio, A. González, J.M. Llorente, L. Ezquerro, A. Montañés, C. Rey, P. Santolaria, C. Ayala, R. Toro, A.M. Casas, E. Izquierdo-Llavall, J. Giménez, C. Pérez-Bielsa, R. Soto, P. Clariana, O. Pueyo-Anchuela, and B. Oliva-Urcia

Sismicidad, sismotectónica y peligrosidad sísmica en la región Cantábrica: nuevos datos a partir de las redes sísmicas SISCAN y MISTERIOS (2014-2020).....561
J.A. Pulgar, A. Díaz-González, D. Pedreira, J.M. González-Cortina, A. Olivar, L. Pie-Perales, J. Gallastegui, M. Ruiz, J. Gallart, J. Diaz, y A. Frankovic

Estudio del margen oriental de la Península Antártica aplicando deconvolución de Euler.....562
Rey-Moral, C., Bohoyo Muñoz, F., Druet Vélez, M.; Galindo Zaldívar, J., Golynsky, A.

Modelización gravimétrica del Complejo Anortosítico de Kunene (Angola).....563
C. Rey-Moral, T. Mochales, J.J. García Lobón, D. Ballesteros, M.T. López Bahut, R. Martín-Banda, y M.C Feria

Estudio del subsuelo de la Ciudad Autónoma de Melilla mediante prospección geofísica y modelización geológica 3D.....564
A. Ruiz-Constán, C. Marín-Lechado, F.J. Martínez-Moreno, J. Galindo-Zaldívar, y A. Pedrera-Parias

Geometría del basamento Pirenaico Suroccidental a partir de la exploración sísmica.....565
R. Toro, A.M. Casas, E. Izquierdo-Llavall, E.L. Pueyo, J. Navas, C. Peropadre, y J. Martín

Patrimonio Geológico y Geoparques

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos. Curso abierto (OCW) de la Universidad de Oviedo 566
F.J. Alonso Rodríguez

Diseño de una base de datos en SIG para la gestión del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel (España) 567
D. Ballesteros, P. Caldevilla, R. Vila, X.C. Barros, L. Rodríguez-Rodríguez, M. García-Ávila, E. Sahuquillo, M. Llorente, J.B. Diez, M. Fuertes-Fuente, S.M. Timón-Sánchez, A. de Lombera-Hermida, I. Álvarez, I. Pérez-Cáceres, P. Orche Amaré, M. Acebo, y M. Alemparte

Diseño de un inventario de lugares de interés geológico para la gestión del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel (España).....568
P. Caldevilla, D. Ballesteros, R. Vila, X.C. Barros, M. García-Ávila, y M. Alemparte

Análisis de inestabilidades de acantilados del Geoparque de la Costa Vasca (Gipuzkoa). Apuntes para una gestión respetuosa en zonas de alto valor geológico.....569
J.A. Clemente, J.A. Uriarte, L. Damas Mollá, A. Hilario, y T. Morales

Actualización del Inventario de Espacios de Interés Geológico de Catalunya.....570
A. de Paz, C. Puig, y N. Herrero

Patrimonio edáfico de la Región de Murcia. Paleosuelos con horizonte árgico.....573
M. J. Delgado-Iniesta, P. Marín-Sanleandro, A. Girona Ruiz y A. Sánchez-Navarro

Estructuras sin-magmáticas del granito de El Berrocal (Almadén de la Plata, Geoparque Sierra Norte de Sevilla).....574
M. Díaz-Azpiroz, y M. Castaño

Lugares de interés geológico en la costa oeste de la isla de Gran Canaria (municipios de Agaete, Artenara y La Aldea de San Nicolás) 575
R.B. García-Guerra, L. Arencibia-Pérez, I. Menéndez, L. Quevedo, y J. Mangas

La necesidad de considerar el patrimonio geológico y la geodiversidad en las canteras históricas. Las canteras romanas de la Región de Murcia ..576
F. Guillén-Mondéjar, J. A. Antolinos, J. M. Noguera, J. F. Rosillo, B. Soler y M. A. Alías

Participación de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España en la Ley 21/2015, por la que se modifica la Ley 43/2003 de Montes.....580
F. Guillén-Mondéjar, E. Díaz-Martínez, N. Herrero, J. Lorente, J.M. Mata, M. Monge-Ganuzas, J.C. Utiel

Visita interpretada a los lagos de Basturs en el Geoparque Orígens 585
X. Mir Pellicer, R. Linares, M. Zarroca, C. Roqué, y G. Rivas

Guía geológica del Parque Nacional de Doñana: una forma de adentrarse en el conocimiento geológico de un espacio natural de alto valor biológico 586
A.B. Pérez Muñoz, L.R. Rodríguez Fernández, y M. Villalobos Megía

La cantera de piedras de molino de Pardos, Geoparque de Molina-Alto Tajo (Guadalajara, España).....589
M.A. Perucha, M.A. Rodríguez-Pascua, J. Luengo, T. Sánchez García, y L.A. Larriba

Virtual outcrops generated with drone: enhancements, animations and internet publishing using computer game software 590
R. Rocca

Conocimientos y Usos Tradicionales de la Geodiversidad: las leyendas de las Encantadas en España, el caso de la Encantada de Huéscar (Granada) 594
J.F. Rosillo Martínez, M.A. Alías Linares, A. Sánchez Navarro, y F. Guillén-Mondéjar

La Historia de la Geología en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico 598
Á. Salazar, A. Cabrera, G. Lozano, J. Vegas, y A. García-Cortés

Actualización del inventario de Patrimonio paleontológico de Andorra 602
G. Silvério, y A. Margalef

Un patrimonio hidrogeológico vinculado a la identidad local: las fuentes de Sant Hilari Sacalm (Girona, Catalunya). 603
D. Soler, A. Menció, M. Ordeix y L. Benejam

Divulgación, Enseñanza y Museos de Geología

La experiencia de Geolodía-Alicante (2008-2020).....607
P. Alfaro

Las texturas de las rocas. Visión microscópica del substrato geológico de Catalunya.....611
G. Alías, M. Aulinas, I. Cantarero y M. Vilà

Un catálogo completo de habilidades para el sector de las materias primas y estructura de la educación del sector en el mundo 612
A. Alonso-Jiménez, P. Hartlieb, V. Correia, M. Regueiro, S. Solar y A. Cseko

EIT Raw Materials: 3D BRIEFCASE, maletín de aplicaciones minerales 613
A. Alonso-Jiménez y M. Regueiro

Introducción a la Petrología Sedimentaria. Curso abierto (OCW) de la Universidad de Oviedo 614
F. J. Alonso Rodríguez y V. G. Ruiz de Argandoña

La tarta geológica: la tabla del tiempo geológico en tus manos 615
A.M. Alonso-Zarza

Explorando Marte a través de la mirada de los niños (Proyecto STIM)....616
A. Anglisano, D. Brusi, A. Calonge y X. Juan

Diálogos entre la montaña y la geóloga: divulgando la geología del Pirineo en el entorno del Posets con un minidocumental....620
B. Antolín Tomás, A. Casas, B. Oliva Urcia, T. Román Berdiel, R. Soto, P. Clariana, E. Izquierdo Llavall

Exposición de minerales inestables en museos....621
E. Baeza, M.J. Torres y X. Moreno

Columnas estratigráficas con rocas reales como herramientas para la divulgación geológica....622
E. Baeza-Chico, L. Carcavilla-Urquí y M.J. Torres

Clave dicotómica interactiva para la identificación de rocas: una propuesta de aplicación en la educación secundaria en Portugal....626
A. Batista, R. Dias, ,V. Silva, E. Pereira, A. Gomes, A. Paiva, A. Soares, F. Nascimento, I. L. Machado y M. Silva

Afloramientos virtuales y trabajo de campo durante confinamiento usando Drones....630
F. Borràs, J. Hopfenblatt, M. Aulinas y A. Geyer

Educación en riesgos naturales y autoprotección en Andorra 631
M. Brugulat, A. Margalef, A. Echeverria y N. Gallego

El nuevo GEOCAMP. Una plataforma para editar, compartir y divulgar guías geológicas....632
D. Brusi, J. Bach, O. Oms, E. Vicens, R. Estrada, A. Obrador, E. Maestro y J. Biosca

Olimpiada Española de Geología: principal cantera de geólogos 635
A. Calonge, A. Anglisano, O. Fesharaki, X. Juan y M.D. López Carrillo

La letra con música entra: canciones geológicas para disfrutar al estudiar 639
A. Casas y J.J. Villalaín

Perspectiva científico-social del cambio climático en el marco de la docencia universitaria 640
P. Castiñeiras, B. Fernández, I. Aranaz, M.J. Pérez del Pozo, E. García-Burgos, F.J. García-Tartera y P. Sánchez-Millas

Movimientos oculares aplicados a la enseñanza de la geología 641
P. Castiñeiras, E.M. Pérez-Moreno, M.L. García-Lorenzo, M.I. Benito, E. García-Romero, E. Crespo y D. Orejana

La Geología en la formación del profesorado sobre el Cambio Climático y su educación: un ejemplo en el diseño de un MOOC....645
D. Corrochano, S. Andrés-Sánchez, A. M. Ballegeer, L. Delgado-Martín, M. A. Fuertes, P. Herrero-Teijón, E. Rainiero y C. Ruiz

Concepciones de futuros maestros sobre el tiempo geológico: resultados preliminares....646
D. Corrochano, A. Gómez-Gonçalves, M.A. Fuertes, A.M. Ballegeer, S. Pampín y J. Chamoso

Pirineus Geological Open Museum: una exposición permanente al aire libre 650
O. Costa, E. Jiménez, A. Lladós y X. Berastegui

Aprendizaje basado en juegos aplicado a itinerarios geológicos de campo: la experiencia de Geoyincana-Alicante (2012-2020) 654
J. Cuevas-González, D. Díez-Canseco, P. Alfaro, J.M. Andreu, J.F. Baeza, D. Benavente, I.F. Blanco, J.C. Cañaveras, H. Corbí, J. Delgado, A. Giannetti, I. Martin-Rojas, I. Medina-Cascales, J. Peral y S. Rosa-Cintas

Galerías Punta Begoña, Bizkaia: un laboratorio geológico urbano 655
L. Damas-Mollá, A. Zabaleta, M. Valiente, P. Bilbao, M. Meaurio, A. Bodego, E. Izagirre, J.A. Clemente, A. Aranburu, I. Antigüedad, T. Morales y J.A. Uriarte

Patrimonio geocultural: los colores de Donosti (Gipuzkoa)....656
L. Damas Mollá, M. Sagarna, A. Aranburu, J.Uriarte, A. Zabaleta, P. García-Garmilla, A. Pascual y X. Murelaga

OhMagmaMia: acercando la Geología a través de las redes sociales 657
O. Dorado y J. Hopfenblatt

Los terremotos como recurso didáctico en Educación Primaria....658
A. Eff-Darwich, A. Núñez-Marrero, J. Rodríguez-Rodríguez, J. A. Rodríguez-Losada y L. González-Álvarez

Líneas de organización de los Geolodías de Ávila (2016-2020) 659
J. Elez, A. Casado Gómez, J. Pérez Tarruella, P. Melón, J. Cuevas, D. Díez-Canseco, G. Castilla-Cañamero, F. Muñoz, A. Martín Herráez y A. Cuerva

Formación en comunicación: los pilares de la (Ciencia de la) Tierra....660
D. García, H. González, O. Marimon y E. Sáenz de Cabezón

Iniciativa GeoDocente: compartiendo recursos docentes de geología 661
J.L. Giner-Robles, C. Canora-Catalán, E. Rodríguez-Escudero, J. Elez, P.G. Silva, T. Bardají, E. Roquero, R. Pérez-López, M.A. Rodríguez-Pascua, M. Gómez-Heras, B. Oliva-Urcia y M. Ortuño-Candela

Diseño universal de aprendizaje (DUA) en Geología: DUAGEA....662
M. Gómez-Heras, B. Oliva-Urcia, E. Acedo-Rueda, A. Calvo-Sáchez, C. Simón-Rueda, J. Baena-Preysler, L. Haner, L. Valero Pérez, J.L. Olmo-Rísquez y R. Rocca

ESPAI GEA: la nueva plataforma de divulgación de la Geología en Cataluña....665
M. González, G. Alías, D. Brusi, Ll. Casas, E. Esplandiu, X. Juan, J. Martí, A. Martínez, D. Parcerisa, P. Puig, A. Vidal y A. Roca

Aplicaciones digitales para la divulgación del patrimonio geológico: metodología SINDIPATGE....666
J.A. Huesca, J.J. Martínez-Campillo y J.C. Sirvent

La divulgación científica con audiovisuales como acción de transferencia de proyectos de investigación: el ejemplo de las cuevas del Parque Nacional de los Picos de Europa....670
M. Jiménez-Sánchez, D. Ballesteros, J. García-Sansegundo, S. Giralt, M. Meléndez-Asensio, M.J. Domínguez-Cuesta y L. Rodríguez-Rodríguez

¿Cómo se enseña la geodinámica externa y la geomorfología en la ESO de la Comunidad Autónoma Vasca?....671
N. Martínez-Braceras, A. Bodego, A. Antón y A. Payros

La película "Vajont. Presa mortal." como metodología didáctica....672
R. Martínez-Cantó

Geología: de gran desconocida a estrella de la divulgación....673
B. Martínez-García y E. Caballero

Geology rocks: La Geología con música (Heavy Metal) entra....676
B. Martínez-García, J. Mendicoa e I. Guede

Geocharlas: divulgación de la Geología con perspectiva de género....677
B. Martínez-García, A. Ruiz-Constán y M. Chamizo

Mujeres con los Pies en la Tierra": Abordando la desigualdad de género en la Paleontología....678
I. Menéndez, A.R. Gómez Cano, P.M. Carro-Rodríguez, P. López-Guerrero, A. Oliver, S. Gamboa, E. Cuesta y D. Sanz-Pérez

Tierra de Temblores: un recurso didáctico sobre geología de terremotos....681
M. Ortuño, E. Masana, R. Pallàs, M. Ferrater y J. Bordonau

Contar la geología a través de este y otros mundos. ¿Cómo empezar a difundir la ciencia desde 0?....682
L. M. Parro

Puesta en valor de la Geología del Camino de Santiago: Camino Francés a su paso por Aragón....683
A. Pascual, B. Martínez-García y A. García-Artola

Diez años acercando la Geología a la discapacidad desde la Universidad del País Vasco/EHU....687
A. Pascual y X. Murelaga

Trabajo de Investigación de Bachillerato y divulgación en Geología: Proyecto FORCES (UB)....691
E. Playà, L. Casas, T. Bover-Arnal, I. Cantarero, W.P. de Haan, A. Travé, J. Ibáñez, R. Giralt, L. Bayès, O. Ferrer, G. Alías, M. T. Garcia-Vallès, M. Ortuño , V. Pinto y J. Herrero

Minerales alienígenas: modelos de formación en la Tierra....692
J.P. Rodríguez-Aranda y M.E. Sanz-Montero

Itinerarios didácticos por el entorno del puerto de San Isidro y los lagos de Covadonga enfocados a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra....693
L. Rodríguez-Rodríguez, S. González-Lemos, D. Ballesteros, P. Valenzuela, M. Domínguez-Cuesta y M. Jiménez-Sánchez

Educación y divulgación geológicas en la cueva El Soplao (Cantabria)....694
C. Rossi y R.P. Lozano

¡Ábrete Tierra!, juguemos con el interior de nuestro planeta....695
A. Ruiz-Constán, L. Moreno Ruiz, A. Constán Moreno, C. Fernández Leyva, R.M. Mateos Ruiz

El parque de rocas integrado en el paisaje y su papel como directorio del entorno geológico (Huerta de Valdecarábanos-Toledo)....696
M.E. Sanz-Montero, J.P. Rodríguez-Aranda, L. Fernández y E. Rodríguez-Fernández

Salir con una Geóloga: el "Geocómic" cómo método de entretenimiento y divulgación de las Ciencias de la Tierra....697
S. Schamuells

GEODA: Comisión de Divulgación de la Sociedad Geológica de España....698
S. Schamuells, G. Sánchez, O. Sánchez, D. Sanz-Pérez y O. Dorado

Evolución de las concepciones de futuros maestros sobre la formación de montañas tras una secuencia de modelización que incluye trabajo de campo....699
N. Seijas y A. Uskola

Enseñanza y divulgación a través del Canal Geología & Historia....703
E. Vindel y M.A. Miñón

Paleomagnetismo y Geomagnetismo

Paleomagnetic constraints on the kinematics of inverted passive margins with salt diapiric structures. Preliminary results from syndiapiric overburden rocks of the northern margin of the Basque-Cantabrian extensional Basin 704
E. Beamud, E. Roca, R. Soto, C. Peigney, and E.L. Pueyo

Descenso rápido de la intensidad del campo geomagnético: nuevos datos de arqueointensidad para el I milenio AEC en Uzbekistán 708
R. Bonilla-Alba, M. Gómez-Paccard, J. del Río, E. Beamud, V. Martínez Ferreras, J.M. Gurt Esparraguera, E. Ariño Gil, A. Palencia-Ortas, M.L. Osete, y A. Chauvin

Analizando la cinética de las remagnetizaciones por enterramiento. El caso de la Cuenca turbidítica de Jaca (Pirineos occdentales) 709
P. Calvín, E.L. Pueyo, J.C. Larrasoaña, R. Egli, A. Rodríguez-Pintó, E. Izquierdo-Llavall, B. Oliva-Urcía, B. Beamud, A. Payros, M.P. Mata, A. Orera, E. Bellido, A. Luzón, I. Gil-Peña, G. Bernaola, M. Montes, J.M. Sansó, R. Toro

Arqueomagnetismo en "fumiers" recreados experimentalmente: ¿Son registros fiables del campo magnético terrestre? 710
Á.Carrancho, B. Bradak-Hayashi, J.M Vergès

Anisotropía de susceptibilidad magnética fuera-de-fase: una metodología no estándar para la determinación de subfábricas ferromagnéticas ...711
C. Cruz, H. Sant'Ovaia, W. McCarthy y F. Noronha

La EGMA (Eastern Galicia Magnetic Anomaly) y las anomalías magnéticas en contextos extensionales: nuevos hallazgos 712
M. Durán Oreja, P. Ayarza, J.J. Villalaín, J.R. Martínez Catalán, F. Álvarez Lobato, y P. Calvín

Datación arqueomagnética de la casa 1 del yacimiento arqueológico del Cerro de San Vicente (Salamanca, España) 713
N. García-Redondo, Á. Carrancho, M. Calvo-Rathert, A. Goguitchaichvili, Iriarte, E., A. Blanco-González y J.J. Morales

Variaciones temporales de miles de años en la intensidad del dipolo axial geomagnético durante el Holoceno a partir de reconstrucciones paleomagnéticas 714
A. González-López, S.A. Campuzano, A. Molina-Cardín, F.J. Pavón-Carrasco, A. De Santis, y M.L. Osete

Caracterización magnética de los diques alcalinos del Pérmico Superior del Sistema Central Español: Contribuciones a la cinemática de su emplazamiento y a la paleogeografía de Iberia 715
M. Hernández, C. Dorado, D. Orejana, C. Villaseca, y V.C. Ruiz-Martínez

Estudio arqueomagnético de seis episodios de combustión de la Cueva Estillín (Burgos, España) 716
Á. Herrejón Lagunilla, J.J Villalaín, Á. Carrancho, y P. Sánchez Yustos

Buscando a C19n: el potencial de la Formación Mendiorotz (cuenca de Jaca-Pamplona, Pirineos occidentales) para el GSSP del Bartoniense..717
J.C. Larrasoaña, A. Payros, G. Bernaola, E.L. Pueyo, P. Calvín, M. Montes, A. Luzón, M.P. Mata, I. Gil-Peña, E. Izquierdo-Llavall, E. Bellido, R. Egli, A. Orera, J.M. Samsó y R. Toro

Aproximación a procesos syn-emplazamiento ígneo mediante un estudio cartográfico detallado y el análisis combinado de la petrofábrica y la fábrica magnética (ASM). El caso de la intrusión dacítica y calco-alcalina de Cerro Redondo (Unidad de Badules, Cordillera Ibérica) 718
U. Majarena, O. Pueyo, A. Gil, C. Galé, y M. Lago

Propiedades magnéticas en tres lagos del norte de Iberia, qué información proporcionan sobre los procesos medioambientales....719
B. Oliva Urcia, A. Moreno, y B. Valero Garcés

Magnetostratigraphic dating of the Paleogene alluvial-lacustrine system transition in the northeastern sector of the Ebro Basin 720
C. Peigney, E. Beamud, Ò. Gratacós, L. Valero, E. Roca, A. Sáez, and J.A. Muñoz

A potential record of the Porcupine magnetic excursion in the lacustrine varved sediments of the Villarroya Basin (La Rioja, Spain) 724
E.L. Pueyo, A. Muñoz, and C. Laplana

Cartografía indirecta de residuos industriales del barrio de La Almozara (Zaragoza) por medio de la susceptibilidad magnética....725
Ó. Pueyo Anchuela, P. Calvín, P.L. López Julián, C. Revuelto, J. Sánchez, A. Pocoví, J. Ramajo, E. Mihi, G. Jiménez, y B. Bauluz

Modelo arqueomagnético global para la Anomalía de la Edad de Hierro de Levante 726
P. Rivera, F.J. Pavón-Carrasco, y M.L. Osete

Comparación de tensores de magnetización remanente y de susceptibilidad magnética: clave para entender las fábricas magnéticas superpuestas..727
H. Sant'Ovaia, C. Cruz y F. Noronha

Caracterización del plegamiento oblicuo del autóctono de la cuenca del Ebro a partir del análisis de fábricas magnéticas....728
R. Soto, E. Beamud, O. Gratacós, T. Mochales, L. Valero, C. Peigney, y E. Roca

Cronología de los procesos de remagnetización química por enterramiento 729
J.J. Villalaín, P. Calvín, M.F. Bógalo, I. Falcón, y A.M. Casas-Sainz

L-MAGMA: Nuevo Laboratorio de Magnetismo de Materiales y Magnetismo Ambiental en el Instituto Geográfico Nacional....730
V. Villasante-Marcos, A. Gomis, J.M. Tordesillas, y M. Fernández de Villalta

Geología Marina

¿Límite o Transición? Interpretación conjunta de una sección sísmica del margen continental del Este de la India 731
J. Alcalde, C.E. Bond, R. Carbonell, y R.W.H. Butler

Ampliación del estudio geomorfológico del LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés. Proyecto LIFE IP INTEMARES 732
B. Arrese, M. Gómez-Ballesteros, y F. Sánchez

3D Integrative gas hydrates geological modeling. Hydrate Ridge (Cascadia accretionary prism, Oregon) 733
P. Cabello, C. Berndt, M.A. Marin, O. Falivene, and M. Marzo

Sistemas de valles encajados en un margen continental sin aportes fluviales importantes: Plataforma del Algarve, Golfo de Cádiz.....737
A. Carrión-Torrente, F.J. Lobo, A. Puga-Bernabéu, M. Luján, I. Mendes, T.J.J. Hanebuth, S. Lebreiro, M. García, M.I. Reguera, L. Antón, D. Van Rooij, J. Cerrillo-Escoriza

Caracterización sísmica y sedimentológica de los depósitos transgresivos postglaciares de la plataforma continental del Golfo de Cádiz.....738
A. Carrión-Torrente, F.J. Lobo, A. Puga-Bernabéu, I. Mendes, M. García, S. Lebreiro, M. Luján, L. Antón, M.I. Reguera, J. Cerrillo-Escoriza

Una nueva mirada a la caracterización del sustrato de las zonas de marisqueo: el caso de los bancos arenosos intermareales de la costa Norte de Galicia (NW de la Península Ibérica) 739
J.D. Cerdeira-Arias, J. Otero, X.A. Álvarez-Salgado, A. Mena, y M.A. Nombela

Morfología y procesos sedimentarios recientes en dos cañones submarinos en el margen norte del Mar de Alborán 740
J. Cerrillo-Escoriza, A. Puga-Bernabéu, F.J. Lobo y Equipo Científico ALSSOMAR

Estudios geofísicos y geotécnicos marinos para la obtención de modelos del terreno para proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas 741
A. Deu, X. Martí, M. Heredia, A. Navarro, M. Devincenzi

Evolución sedimentaria del talud continental norte de Argentina (frente a Bahía Blanca) durante el Cenozoico 745
G. Ercilla, T. Schwenk, G. Bozzano, V. Spiess, R. Violante, F. Estrada, F. Iannicchери, D.V. Spoltore, y B. Alonso

La Crisis de Salinidad del Messiniense: ¿desconexión Atlántico-Mediterráneo? 746
F. Estrada, y G. Ercilla

Interacción de procesos oceanográficos y sedimentarios en el talud superior y medio del golfo de Cádiz y sus implicaciones ambientales y en los hábitats.....747
L.M. Fernández-Salas, I. Villar-Menéndez, G. Francés, M. Pérez-Arlucea, y Equipo Científico INPULSE-0719

Gravitational and oceanographic processes interaction in the upper slope gullies of the Gulf of Cadiz.....748
M. García, A. Mena, F.J. Hernández-Molina, B. Alonso, G. Ercilla, D. Casas, E. Llave, L.M. Fernández-Salas, and F.J. Lobo

Rasgos geomorfológicos del sistema de cañones de Cap Bretón (Golfo de Vizcaya).....752
M. Gómez-Ballesteros, B. Arrese, I. Galparsoro, J.M. Garmendia, N. Martínez, O. Sánchez, C.F. López, M. Sayago, y F. Sánchez

Proyecto GeoERA-MINDeSEA: Contexto metalogénico para los depósitos minerales submarinos en los mares europeos.....753
F.J. González, T. Medialdea, L. Somoza, I. Blasco, E. Marino, y A. Lobato

La geomorfología de la Cuenca Canaria: una imagen de su longeva dinámica tectónica y sedimentaria.....754
R. León, D. Palomino, O. Sanchez-Guillamón, y J.T. Vázquez

GARAHydrates: a research base-line in submarine geohazards and geological storage of CO_2.....755
R. León, C. Rochelle, A. Burnol, C.J. Giménez-Moreno, T. Nielsen, J. Hopper, I. Reguera, P. Mata, M. Stewart, and S. Cervel

Reconstrucción paleoclimática y de la productividad del registro sedimentario de la provincia ZT: una aproximación a los procesos diagenéticos .756
A.E. López Pérez, B. Rubio, y D. Rey

Interacción entre la topografía y las corrientes de fondo en la dinámica sedimentaria de la ZT del margen continental de Galicia.....757
A.E. López Pérez, B. Rubio, D. Rey, y L.M. Pinheiro

Caracterización sedimentológica y mineralógica de un pockmark del margen continental de Murcia (SE Península Ibérica).....758
C. López-Rodríguez, M. Sayago-Gil, N. López-González, F. Martínez-Ruiz, y L.M. Fernández-Salas

Paleosistemas playa-duna holocenos y pleistocenos en la costa sur del municipio de Telde (Este de Gran Canaria) 759
J. Mangas, I. Montoya-Montes, J.F. Betancort, I. Menéndez, L. Quevedo-González, y J. Yepes

El Proyecto EMODnet: una iniciativa para el desarrollo de la cartografía geológica digital de los mares europeos 760
T. Medialdea, L. Somoza, F.J. González, A. Lobato, I. Blasco, y E. Marino

Catálogo tomográfico de facies marinas profundas: aplicación del programa roFac al relleno sedimentario de la Cuenca Interior de Galicia.....761
A. Mena, A. Comesaña, P. Aguiar, y G. Francés

Radio-density signal of bigradational sequences adjacent to the Southern Channel: a tomographic approach to contourite deposits in the the Gulf of Cádiz 762
A. Mena, M. García, G. Francés, M. Pérez-Arlucea, F.J. Hernández-Molina, and L.M. Fernández-Salas

Impacto de la temperatura del fondo en la zona teórica de la estabilidad de los hidratos de gas en los márgenes continentales europeos.....766
E. Nuñez-Varela, L.F. Pérez, R. León, D.A. Martín, y M.I. Reguera

Paleo-Tsunami por deslizamientos submarinos en márgenes glaciares: el caso del abanico glacial de Storfjorden (SO del Archipiélago Svalbard) 767
M.T. Pedrosa-González, G. Ercilla, J. Galindo-Zaldivar, J.M. González-Vida, y S. Ortega-Acosta

¿Depósitos de flujo extra- e intracuencales – los flujos subacuático gravitacionales de sedimento como indicadores de cambios climáticos y tectónicos? 768
E.M. Peters, y T. McCann

Microfacies de sedimentos oceánicos del monte submarino de Amanay, El Banquete, y Banco de la Concepción (Islas Canarias).....769

L. Quevedo, J. Mangas, I. Menéndez, E. Tauler

Petrología de rocas ígneas alteradas del monte submarino de Amanay, El Banquete, y Banco de la Concepción (Islas Canarias) 770
L. Quevedo, J. Mangas, I. Menéndez y E. Tauler

Cartografía geológica submarina del oeste de la costa de Bizkaia 771
L. Rodríguez-Méndez, N. Vegas y A. Aranguren

Caracterización geomorfológica del sistema de cañones submarinos del talud continental de Murcia (Escarpe de Mazarrón).....772
M. Sayago-Gil, L.M. Fernández-Salas, C. López-Rodriguez , J.T. Vázquez, y N. López-González

La Red Europea de Observación y Datos Marinos (EMODnet).....773
J. Valencia, G. Ercilla

Deformación de la superficie del fondo marino durante el Cuaternario en el Canal de Mallorca (Mediterráneo Occidental) 774
J.T. Vázquez, O. Sánchez-Guillamón, D. Palomino, N. Martínez-Carreño, P. Bárcenas, M.C. Fernández-Puga, L.M. Fernández Salas, O. Tello, N. López González, y M. Gómez Ballesteros

Concreciones de ferromanganeso en el mar Báltico: caracterización y mecanismos de formación.....775
I. Zalba, F.J. González , M.C. Fernández-Puga, y J. Nyberg

Historia de la Geología

La “Meteorología Endógena” 779
J. Batlló

La visión del autor. Descubrimiento de un manuscrito del Mapa geológico de Vizcaya a escala 1: 128.000 de Carlos Collette (1848) 780
E. Boixereu, J. Argento, y A. Robador

Josep Closas i Miralles (1900-1962). Un excursionista científico en el XVII Congreso Geológico Internacional de Moscú (1937) 781
E. Boixereu, y C. Martín-Closas

La piedra como lienzo: Tiziano y la pizarra.....782
V. Cárdenes, A. Rubio-Ordóñez, V.G. Ruiz de Argandoña

Arcillas, granitos y continentes. Una “Gran Historia” del potasio 783
A. Castro y O. García Moreno

Integración de los datos históricos y geológicos en el estudio de minería vasca: el caso de Mina Primitiva (Bizkaia) 784
I. Esteban-Arispe, J.M. Esteban-Arispe, y P.P. Gil-Crespo

Métodos prospectivos de oro en época romana, ¿usaban mercurio para su beneficio?.....788
J. Fernandez-Lozano, A.N. Nnandong, S. Rivera, J.M. Esbrí, R. Carrasco, J. Pedraza, y P. Higueras

Big History en la enseñanza secundaria. Una visión desde el campo de la Geología y sus alrededores.....789
J. Fernández Ruiz y O. García Moreno

Rocas y fósiles de la Comisión del Mapa Geológico de España en las Colecciones Reales del Patrimonio Nacional.....790
R.P. Lozano, I. Rábano y M.J. Torres-Matilla

Las rocas lunares de las misiones Apolo en España 791
R.P. Lozano, A. Rodrigo, M.J. Torres-Matilla, E. Baeza, R. González-Laguna, M.P. Hernández-Pinilla y X. Moreno

El fondo documental de la litoteca del IGME como testimonio histórico de la actividad minera en España durante los siglos XIX y XX.....792
M.P. Mata, J. Sánchez Valverde, C. Molina Muñoz, J.J. Muñoz León, Á. Romero Esquinas, R. Rodríguez Rodríguez, M.T. López López, y H. Velayos Mayo

El gran ciclo minero galaico-romano del oro en la constitución de la Gallaecia y el Alto Imperio Romano 793
O. Pazos

Colección de levigados José Ramírez del Pozo (CIEPSA–CGS).....797
Á. Salazar, J. Navarro, J.J. Muñoz, J. González-Blázquez y M.P. Mata

Geoarqueología

El contexto sedimentario del yacimiento Olduvayense d’ El Kherba (Argelia): estudios sedimentológicos y micromorfológico.....798
S. Abdessadok, M. Sahnouni, Z. Harichane, N. Mazouni, R. Chelli Cheheb, Y. Mouhoubi, S. Chibane, A. Perez-Gonzalez

Magnetic properties of the cave sediments at Gran Dolina in Sierra de Atapuerca 799
S. D’Arcangelo, F. Martín Hernández, y J. M. Parés

Luminiscencia como proxy sedimentario: caso de estudio en el macizo kárstico de Alkerdi-Zelaieta (Navarra) 800
M. del Val, M. Arriolabengoa, E. Iriarte, A. Aranburu, I. Álvarez, A. Bodego, G.I. López, y A. Hermoso de Mendoza

Caracterización de las mineralizaciones supergénicas del Complejo Minero Neolítico de Gavà. Implicaciones en arqueología.....801
Y. Díaz-Acha, M. Campeny, F. Borrell, J. Bosch, y J.C. Melgarejo

Primeras evidencias humanas en África del Norte: marco cronoestratigráfico de la secuencia Plio-Pleistocena de Oued Boucherit (Argelia).....802

M. Duval, J.M. Parés, J. van der Made, M. Sahnouni

Los tamaños y formatos como indicadores de la materia prima aprovechada en el macroutillaje de Valdocarros II (Arganda del Rey, Madrid) .803
S. Heras-Bastida, J. Panera y S. Rubio-Jara

El proyecto de Actualización Geoarqueológica del Conjunto Histórico de la Ciudad de Oviedo (Oviedo Redondo): una acción de transferencia....804
M. Jiménez-Sánchez, O. Requejo-Pagés, M.J. Domínguez-Cuesta, E. Berrezueta, L. Pando, F. J. Alonso-Rodríguez, L. Carrizo Martínez, M. Fernández Crespo, B. Ruiz-Zapata, M.J. Gil García, L. Rodríguez-Rodríguez, E. Pérez Díaz, V. Álvarez Martínez, N. Alonso Rodríguez, S. Calleja Fernández, G. Pajares Borbolla, B. Jardón, O. Ruiz Gago, y J.J. Díaz

Geoarqueología digital en el yacimiento musteriense (Pleistoceno superior) de Jarama VI (Valdesotos, Guadalajara, España).....805
J.F. Jordá Pardo, C. Acevedo Pardo, C. Barcia, M. Farjas, A. Hernández Orgaz, A.M. Maximiano Castillejo, J. Molina Salido, y T. Schramm

Retorno a Cova Rosa. Nuevas investigaciones geoarqueológicas en el yacimiento del Pleistoceno superior de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, España) 806
J.F. Jordá Pardo, D. Álvarez-Alonso, E. Álvarez-Fernández, M. de Andrés-Herrero, P. Arias, J. Bécares, P. Carral, M. Cubas, K. Douka, C. Duarte, N. García-Ibaibarriaga, M.J. Iriarte-Chiapuso, C. López-Tascón, A. Maestro, S. Martín-Jarque, J. Molina, X. Murelaga, A. Palencia, R. Portero, J. del Río, M. Rivero, A. Suárez-Bilbao, y L. Teira

La Edad del Bronce en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel: motillas y paisaje.....807
R. Mediavilla, J.I. Santisteban, M. Torres, A. Celis, S. Castaño, J. Rey, y J. Martinez

Aproximación al estudio petrográfico como herramienta para la determinación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro 808
A. Muñoz del Pozo

Recientes avances en la geocronología y geología del relleno sedimentario de Gran Dolina (Atapuerca).....812
J.M. Parés, D. Moreno, M. Duval, M. Sier, M. Demuro y L. Arnold

Caracterización geofísica de técnicas de explotación de nódulos de sílex en el yacimiento de la Leandra (La Muela, Zaragoza).....813
Ó. Pueyo Anchuela, J.V. Picazo Millán, M.M. Sampietro Vattuone, J. Fanlo Loras, A. Pocoví Juan, J.L. Peña Monné, A. Tarriño Vinagre, y F. Pérez Lambán

Huellas de presencia humana paleolítica preservadas en estalagmitas en la Grotte aux Points (Ardèche, Francia).....814
M. Richard, E. Pons-Branchu, H. Valladas, M. Toffolo, S. Dubernet, A. Dapoigny, J.-P. Dumoulin, E. Douville, L. Bordier, J. Monney

Metodología para la clasificación del formato tridimensional y del tamaño de los productos líticos clásticos 815
A. Tarriño Vinagre

La cantera de sílex Neolítica de Pozarrate (Treviño, Burgos) al sur de la Cuenca Vasco-Cantábrica.....816
A. Tarriño Vinagre, D. Herrero Alonso, H. Hernández Hernández, A. Aguirre Ruiz de Gopegui, C. López Tascón, I. Elorrieta, A. Bandrés, J.A. Mujika Alustiza, J. Fernández Eraso

Tectónica Activa y Geología de Terremotos

Litologías, arquitectura y cinemática de la roca de falla de la Falla de Alhama de Murcia 817
J. Alonso-Henar, E. Rodriguez-Escudero, C. Fernández, J.J Martínez-Díaz, P. Herrero-Barbero, J.A. Álvarez-Gómez, J.M. Insua Arévalo, y J.L. Sánchez-Roldán

Agrupamiento jerárquico de mecanismos focales en sismotectónica.....818
J.A. Álvarez-Gómez

Modelo cinemático del antearco Centroamericano.....819
J.A. Álvarez-Gómez, A. Staller Vázquez, J.J. Martínez-Díaz, C. Canora, J. Alonso-Henar, J.M. Insua-Arévalo, y M. Béjar-Pizarro

Deformación tectónica en la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales mediante técnicas geodésicas (GNSS e InSAR), resultados preliminares....820
M. Béjar-Pizarro, A. Staller Vázquez, J.J. Portela Fernández, P. Ezquerro, J.J. Martínez-Díaz, J.A. Álvarez-Gómez, R. Pérez-López, y G. Herrera

Travertinos asociados a la actividad de la Falla de Alhama de Murcia: Estudio geoquímico para la caracterización de una falla de desgarre 821
C. Canora, J. Cuevas, J.J. Martínez Díaz, y A. Garralon

Terremoto de Benavente de 1909 (Intensidad X, Portugal): Uso de efectos geológicos para la determinación de la fuente sísmica 822
C. Canora, J.L. Giner-Robles, J. Elez, y P.G. Silva

Terremotos históricos en el Valle Bajo del Tajo (Portugal): Identificación de la rotura superficial a través de estudios paleosísmicos.....823
C. Canora, S. Vilanova, Y. de Pro, S. Heleno, P. Pina, y J. Fonseca

Escenarios de Riesgo Sísmico tipo PAGER (USGS) aplicados a terremotos históricos en España.....824
J. Elez, P.G. Silva, A. Martínez-Graña, R. Pérez-López, J.L. Giner-Robles, y M.A. Rodríguez-Pascua

Estructuras neotectónicas y estado de esfuerzo asociados a la colisión oblicua y formación de la microplaca Septentrional en el norte de la República Dominicana: implicaciones para la evaluación del riesgo sísmico.....825
J. Escuder Viruete; Y. Pérez, Á. Suárez Rodríguez, J. García Senz, y B. Roque

Distribución de tamaños de bloques en avalanchas de rocas: entendiendo el significado no fractal de un proceso sismo-activo.....826
F.J. Fernández, y R. Menéndez-Duarte

Avalanchas de rocas inducidas por tectónica activa Cuaternaria en la Sierra de la Sobia (Cordillera Cantábrica, NO Iberia) 827

F.J. Fernández, R. Menéndez-Duarte, y M. Iglesias

Modelos dinámicos de rotura de los escarpes calizos sobre las avalanchas de roca en la Sierra de la Sobia versus riesgo sísmico 828
F.J. Fernández, L. Pando, y R. Menéndez-Duarte

Estructuras activas y riesgos geológicos en el sector central de la Cordillera Bético-Rifeña y Mar de Alborán 829
J. Galindo-Zaldívar, G. Ercilla, A.J. Gil, J.A. Peláez, L. González-Castillo, J.M. González-Vida, F. Lamas, E. D'Acremont, V. Tendero, O. Azzouz, A. Madarieta, F. Estrada, M.J. Borque, J.T. Vazquez, F.J. Martínez-Moreno, A. Sanchez-Alzola, M. Makkaoui, C. Sanz de Galdeano, M. Comas, y M. Benmakhlouf

Integración de fallas a escala de sistema como fuentes para un cálculo probabilista de la peligrosidad sísmica de las Béticas Orientales 830
O. Gómez-Novell, J. García-Mayordomo, M. Ortuño, y E. Masana

Evidencias de paleo-rupturas superficiales a ambos flancos de un lomo de presión en la Falla de Alhama de Murcia (SE España).....831
O. Gómez-Novell, M. Ortuño, J. García-Mayordomo, E. Masana, T. Rockwell, S. Baize, y R. Pallàs

Simulaciones de sismicidad sintética basadas en las propiedades físicas de las fallas y la transferencia de esfuerzos: aplicación al Sistema de Fallas de las Béticas Orientales (SE España) 832
P. Herrero-Barbero, J.A. Álvarez-Gómez, C. Williams, P. Villamor, J.J. Martínez-Díaz, J. Alonso-Henar, J.M. Insua-Arévalo

TAC clínico aplicado al estudio de la estructura interna de fallas activas: falla de Alhama de Murcia 833
J.M. Insua-Arévalo, J. Alonso-Henar, L. Galván-Herráez, M. Vidal-Martínez, D. Alfonso-Jorde, J. Arrazola-García, y J.J. Martínez-Díaz

Inversión tectónica de la Cuenca de Mazarrón en el Pleistoceno Medio (Cordilleras Béticas Orientales).....834
J.M. Insua-Arévalo, J. García-Mayordomo, J.L. Sánchez-Roldán, O. Gómez-Novell, S. Baize, H. Jomard, J.J. Martínez-Díaz, C. Canora-Catalán, P. Herrero-Barbero, R. López-Escudero, A. Medialdea, y E. Masana

Caracterización sísmica de la Falla de Carboneras: integración de nuevos datos paleosísmicos y GPS 835
R. López, E. Masana, G. Khazaradze, O. Gomez-Novell, R. Pallàs, M. Ortuño, S. Baize, T. Rockwell, y J.M. Insúa Arevalo

Registro de la variación de la tasa de deslizamiento de la Falla de Carrascoy en los últimos ~220 ka (Béticas Orientales, SE de España).....836
R. Martín-Banda, J.M. Insua-Arévalo, y J. García-Mayordomo

Evidencias de fallamiento y plegamiento activo en el borde norte de la Cuenca del Guadalquivir.....837
J.J. Martínez-Díaz, C. Canora-Catalán, J.L. Sánchez-Roldán, y J.M. Insua-Arévalo

De los datos geológicos a la interpretación de parámetros sísmicos de fallas en contexto de deformación lenta: obstáculos y retos.....841
E. Masana, M. Ortuño, R. Pallàs, J. Ínsua-Arévalo, J. García Mayordomo, C. Canora, O. Gómez-Novell, R. López, G. Khazaradze, J. Bordonau, S. Baize, y T. Rockwell

Cronología extendida en depósitos aluviales mediante luminiscencia estimulada por luz violeta (VSL) en el SE de la Península Ibérica.....842
A. Medialdea, J.M.Insua-Arévalo, y J. García-Mayordomo

Influencia de la carbonatación edáfica en la datación por luminiscencia de depósitos aluviales semiáridos en el SE de la Península Ibérica.....843
A. Medialdea, J.M.Insua-Arévalo, y J. García-Mayordomo

Caracterización estructural de la falla activa de Galera (Cordillera Bética central, sur de España).....844
I. Medina-Cascales, F.J. García-Tortosa, J.A. Peláez, I. Martin-Rojas, y P. Alfaro

Caracterización estructural de la falla activa de Baza (sur de España). Implicaciones en el SHA.....845
I. Medina-Cascales, I. Martín-Rojas, F.J. García-Tortosa, J.A. Peláez, y P. Alfaro

Caracterización preliminar de la zona de falla de Río Grío-Pancrudo: estructura extensional de primer orden en la evolución reciente de la Cordillera Ibérica.....846
A. Peiro, y J.L. Simón

La historia sísmica durante el Cuaternario Superior de una gran falla direccional: La Falla de Yusuf (Mar de Alborán).....850
H. Perea, E. Gràcia, S. Almeida, L. Gómez de la Peña, S. Martínez-Loriente, y R. Bartolomé

Perfil térmico somero de la Falla de Alhama de Murcia.....851
R. Pérez-López, J.J. Martínez-Díaz, A. Staller-Vázquez, M. Bejar-Pizarro, J.A. Álvarez-Gómez, y A. Ramos

Evidencias arqueosismológicas de la destrucción de Medina Azahara (Córdoba, España) 852
M.A. Rodríguez-Pascua, M.A. Perucha, A.J. Montejo Córdoba, P.G. Silva, J.L. Giner, T. Bardají, J. Élez, y E. Roquero

Relocalización de terremotos y sismotectónica mediante un nuevo modelo cortical 3D en el área de la Falla de Alhama de Murcia (SE Iberia).....853
J.L. Sańchez-Roldán, J.J. Martínez-Díaz, J.V. Cantavella, J.A. Álvarez-Gómez, y J. Morales

Fallas de salto en dirección en el basamento de la cuenca de antepaís del Guadalquivir.....854
V. Tendero-Salmerón, J. Galindo-Zaldívar, J.A. Peláez, M. Martínez-Martos, J. Henares, C. Marín-Lechado, A.J. Gil-Cruz, Á.C. López-Garrido

Piedra natural y patrimonio arquitectónico

Caracterización petrológica de los materiales procedentes de las canteras históricas en el entorno de la Alcazaba de Almería.....855
J.M. Alonso Blanco, J. Berbel Rodríguez, y L. Cara Barrionuevo

Materiales constructivos en la Fábrica de Tabacos de Gijón: argamasas y material pétreo 859

F.J. Alonso Rodríguez, y L. Carrizo Martínez

Areniscas del Buntsandstein en el patrimonio arquitectónico del sector Norte de la provincia de Jaén (Andalucía).....860
E. Álvarez Areces, J. Fernández Suárez, J. Martínez-Martínez, y J.M. Baltuille Martín

Primeros resultados del Inventario de Canteras Históricas de Piedra Natural asociadas al Patrimonio Arquitectónico de Andalucía.....864
E. Álvarez Areces, J. Fernández Suárez, J. Martínez Martínez, J.M. Baltuille Martín, M. Vázquez Mora, Á.A. Martínez Girón, y P. Orche Amaré

Santa María de Melque (Toledo, España): recursos y entorno geológico de una construcción altomedieval.....869
E. Álvarez Areces, Mª.Á. Utrero Agudo, y J.M. Baltuille Martín

The chalkstone as medieval construction stone in Normandy, France.....870
D. Ballesteros, A. Painchault, B. Puente-Berdasco, C. Nehme, E. Pons-Branchu, B. Roussel, F. Delisle, D. Todisco, J.I. García-Alonso, M. Vanaro, and D. Mouralis

Paisaje, geología y arquitectura defensiva de la Guerra Civil Española en el área SO de la Sierra de Guadarrama. Una nueva metodología de investigación geológico-arqueológica.....871
J.M. Baltuille, P. Schnell, y F.J. Rubio

El "travertino rojo de Mula" una roca histórica y una herramienta para la divulgación y puesta en valor del patrimonio.....875
M. Boluda Gutiérrez, C. García García, y V.M. Robles-Arenas

La "Piedra Dorada" como material de construcción en edificios emblemáticos de Úbeda (Jaén): el caso del Palacio Vázquez de Molina. Caracterización de materiales y detección de patologías para su correcta intervención 879
L. Crespo-López, E. Sebastián Pardo, J.M. Álvarez-Pérez, M.C. Fernández-Linares, y G. Cultrone

Caracterización mineral de rocas carbonatadas ornamentales mediante espectroscopía de reflectancia de campo: un ejemplo en dolomías masivas del Cenomaniense (Yecla, Murcia) 884
A. Espín de Gea, E. García-Meléndez, M. Reyes, M. Ferrer-Julià y E. Colmenero-Hidalgo

Investigación, mediante técnicas geofísicas y escáner 3D, para el conocimiento de los detalles constructivos y estado de conservación de los materiales presentes en el Puente de los Peligros, ciudad de Murcia.....885
A. Espín de Gea, M. Reyes Urquiza, A. Gil Abellán, A. García Fernández, J.A. Blanco Barquero, y R. Murcia Crespo

Estado actual y conservación de las fachadas y los torreones del edificio histórico de la Escuela de Minas y Energía de Madrid.....890
M. Esteban Benito, J.L. Parra y Alfaro, D.A. Martín Sánchez, L.F. Mazadiego Martínez, y B. Calvo Pérez

La cantera histórica, un recurso geológico para el desarrollo de las políticas turísticas en zonas rurales. El caso de San Ciprián (Lugo) 893
J. Fernández Suárez, E. Álvarez Areces, J. Martínez-Martínez, y J.M. Baltuille Martín

Localización y caracterización de las canteras históricas de Aceuchal (Badajoz), como fuentes de abastecimiento para la construcción de la iglesia parroquial de San Pedro Apóstol 896
J. Fernández Suárez, E. Álvarez Areces, J. Martínez-Martínez y J.M. Baltuille Martín

La roca ornamental europea y su vinculación al patrimonio arquitectónico: el proyecto Eurolithos 899
J. Fernández Suárez, J. Martínez-Martínez, E. Álvarez Areces, y J.M. Baltuille Martín

Arqueología e Historia de un paisaje de la piedra: la explotación del marmor de Espejón (Soria) y las formas de ocupación de su territorio desde la Antigüedad al siglo XX 903
V. García-Entero

El ciclo productivo del marmor en la península Ibérica desde la Antigüedad: extracción, elaboración, comercialización, usos, reutilización, reelaboración y amortización.....906
V. García-Entero

Expansión histórica del Granito de Cardeñosa (Ávila) y tipos de paramento en el Centro-Sur de Castilla y León: relación con las formaciones geológicas.....908
M. López-Plaza, y E. Azofra Agustín

L'Énova (Valencia), el corazón marmóreo del Buixcarró.....912
M.R. Martí Matias

Caracterización Petrofísica del travertino de Alfacar como material de construcción 916
P. Martín-Escudero, L. Crespo-López, E. Sebastián Pardo, y G. Cultrone

Aproximación a la cantería histórica en el Altiplano Granadino: comarca de Huéscar (Andalucía) 920
J. Martínez-Martínez, E. Álvarez Areces, J. Fernández Suárez, y J.M. Baltuille Martín

Análisis petrológico y geoquímico de la cantera histórica de Ortigosa del Monte (Segovia) y avances sobre su compatibilidad como cantera histórica del acueducto de Segovia 924
J. Martínez-Martínez, C. Martín García, E. Álvarez Areces, J. Fernández Suárez, y J.M. Baltuille Martín

Naturaleza artificial, espacios de canteras históricas en Extremadura.....928
R. Meseguer Mayoral, E. Álvarez Areces, J.M. Baltuille Martín, J. Fernández Suárez, y J. Martínez Martínez

Geomateriales y técnicas de construcción en fortalezas medievales. El caso del Castillo de la Estrella (Montiel, España) 932
J. Molero García, D. Gallego Valle, D. Sanz, C. Peña, F. Castilla, R. Pardo Llama, y A. González

Arrojando luz sobre las olvidadas piedras de afilar de la Península Ibérica 936
P.R. Moya-Maleno, E. Álvarez Areces, X. Arroyo Rey, A. Daza Perea, M. Fernández Díaz, C. Fernández-Pacheco Sánchez-Gil, M. Galeano Prados, P. Guerra García, B. Jiménez Bermejo, S. López Andrés, V. López-Acevedo Cornejo, R. López Rodríguez, E. Monesma Moliner, C. Moya García, M.C. Navajas Twose, F. Patiño Galán, R. Paulos Bravo, L. Pérez Armiño, J. Torrejón Valdelomar, y E. Tziligkaki

La protección de las canteras históricas de Granada y su puesta en valor como garantía de conservación del patrimonio arquitectónico 939
R. Navarro, J. Fernández-Suárez, J Martínez-Martínez, E. Álvarez Areces, y J.M. Baltuille

Análisis arqueométrico de tres esculturas romanas de la villa de Salar (Granada, España) 943
E. Ontiveros Ortega, J. Beltrán Fortes, M.L. Loza Azuaga, J.M. Román Punzón, y M. I. Fernández García

Primeros avances en la investigación sobre las canteras de marmora en la Sª de Córdoba, Sector Ossa-Morena (España) 947
E. Ontiveros Ortega, J. Beltrán Fortes, A. Monterroso Checa, M.L. Loza Azuaga, M. Gasparini, y A. Ventura

La puesta en valor del vínculo existente entre el mármol de Macael y el Patrimonio Histórico-Artístico Español 951
F. Orduña Beuzón

Investigación del subsuelo mediante sondeos mecánicos y sondas geofísicas aplicada a la caracterización de roca ornamental 954
M. Reyes, A. Espín, A. Gil, y A. García

Las canteras históricas de la Sierra de Carrascoy (Murcia). Estudio preliminar del área extractiva de Mayayo 958
B. Soler Huertas, J.A. Antolinos Marín, A. Espín de Gea, y G. Romero García

Pétreos naturales en la Catedral de Santa María de Cuenca (España): Evaluación de procedencia y estado de conservación 962
E. Torrero, D. Sanz, V. Navarro, M. Ruiz, y J. Martínez-Martínez

El vínculo entre naturaleza y arquitectura en el jardín del Palacio de los Enríquez de Baza (Granada) 966
L. Valdivia Catena, y G. Cultrone

Mujeres y Geología

¿Existe una representación desigual de geocientíficas según la especialidad geológica? 969
L. M. Parro, P. Herrero-Barbero, A. Herrero-Gil, J.L. Sánchez-Roldán

X CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA. SIMPOSIOS

Exploración Geofísica Marina: Márgenes Ibéricos, Caribe, Canarias y Antártida
(Homenaje al profesor Andrés Carbó Gorosabel)

Exploración geofisica de los volcanes submarinos del Estrecho de Bransfied (Antártida) 972
J. Almendros, W. Wilcock, D. Soule, T. Teixidó, L. Vizcaíno, O. Ardanaz, J. L. Granja-Bruña, D. Martín-Jiménez, R. Dziak, R. Abella, E. Carmona, F. Carrión, M. Schmidt-Aursch, W. Geissler, B. Heit, y X. Yua

En busca del dato geofísico perdido. Estrecho de Bransfield - Antártida 973
C. Araque, T. Teixidó, L. Vizcaíno, O. Ardaraz, A. Rodriguez-Juaristi, D. Martín-Jiménez y J. Almendros

Geomorfología del volcán submarino Orca mediante la interpretación conjunta MBES-SBP. Estrecho de Bransfield - Antártida 974
O. Ardanaz, A. Rodríguez-Juaristi, L. Vizcaíno, D. Martín-Jiménez, A. Muñoz, T. Teixidó y J. Almendros

Determinación de la estructura profunda de la plataforma de Las Landas, a partir de sísmica multicanal y modelización gravimétrica y magnética ... 975
M. Druet, A. Olaiz, F. Bohoyo, y A. Maestro

Análisis gravimétrico y magnético de estructuras diapíricas en el offshore de la cuenca de Asturias 976
M.A. Fuente, A. Muñoz Martín, A.J. Olaiz, y G. Zamora

Interpretación estratigráfica y estructural de la Cuenca de San Pedro (margen sudeste de la República Dominicana) 980
J.M. Gorosabel-Araus, J.L. Granja Bruña, A. Gallego-Mingo, A. Carbó-Gorosabel, R. Mas, J. Arribas, M.E. Arribas, S. López-Andrés, M.L. Canales, A. Rodríguez-Zurrunero, R. Reynoso-Villafaña, G. Rosario, y S.J. Muñoz-Tapia

La gravimetría como herramienta para la cartografía de dominios tectónicos en márgenes continentales hiperextendidos 984
C. Granado, A. Muñoz-Martín, A.J. Olaiz, O. Fernández, y M. Druet

Cabalgamiento retro-arco vs. subducción verdadera en el margen de los Muertos (noreste del Caribe): Observaciones a partir de modelos de sísmica de gran ángulo y gravimetría 985
J.L. Granja-Bruña, P. Llanes Estrada, U.S. ten Brink, A. Pazos, J.M. Gorosabel-Araus, A. Rodríguez-Zurrunero, M. Druet, C. Flores, A. Carbó-Gorosabel, y J. Martín Dávila

Análisis de los mapas de anomalías gravimétricas y geomagnéticas de las campañas geofísicas marinas BRAVOSEIS 2019-2020 (Cuenca Central del Bransfield, Antártida) 986
J.L. Granja-Bruña, D. Martín-Jiménez, F. Fernádez-Sáez, L. Vizcaíno, T. Teixidó, D. Soule, J. Almendros, y W. Wilcock

Estimación de las direcciones recientes del esfuerzo máximo en la horizontal (SH) en el Golfo de Cádiz a partir del análisis morfológico y de la distribución de los volcanes de fango 987
A. Maestro, F. Bohoyo, R. Corral, y M. Druet

Cartografía del ecocarácter del Margen Continental de Galicia y de las llanuras abisales adyacentes....991
A. Maestro, G. Jané, F. Fernández Saéz, E. Llave, F. Bohoyo, J. Navas, S. Mink, M. Druet, M. Gómez Ballesteros, J. Martín Dávila, M. Catalán, A. Carbó, A. Muñoz-Martín, y J.L. Granja

Tectónica activa, estructura cortical y naturaleza de los dominios del basamento oceánico en el SO de Iberia....996
S. Martínez-Loriente, V. Sallarès, E. Gràcia

Proyecto MARIBNO: Estructura del MARgen NorOeste IBérico: Influencia de la Herencia Tectónica en la extensión e inversión alpinas....997
A. Muñoz-Martín, J.L. Granja-Bruña, M. Druet, M.A De la Fuente, G. De Vicente, L. Antón, S. Martín, A. Pazos, A.J. Olaiz, A. Rodríguez-Zurrunero, J.M. Gorosábel-Araus, L. Gómez de la Peña, M. Catalán, C. Granado, M. Gómez-Ballesteros, M.O Tello, R. Carbonell, J.L. Alonso, J. Gallastegui, D. Pedreira, S. Espinosa, M. Bohoyo, y A. Maestro

Sensibilidad de los escenarios de tsunami a la geometría compleja de las fallas y la distribución heterogénea del deslizamiento: aplicación en el SO de Iberia y el NE de Marruecos....998
C.S. Serra, S. Martínez-Loriente1, E. Gràcia, R. Urgeles, L. Gómez de la Peña, F. Emanuele Maesano, R. Basili, M. Volpe, F. Romano, A. Scala, A. Piatanesi, y S. Lorito

Primeras imágenes del volcán submarino Orca obtenidas con Sísmica Marina Híbrida. Cuenca Central de Bransfield - Antártida....999
L. Vizcaíno , D. Soule, O. Ardaraz, T. Teixidó, W. Wilcock , J. Almendros y J. L. Granja-Bruña

Cuaternario Ibérico 2021 (SQIB 2021)

Incremento de las tormentas al final del Último Interglaciar. ¿Está volviendo a ocurrir?....1000
T. Bardají, C. Zazo, J.L. Goy, C.J. Dabrio, y J. Lario

Registro isotópico de tobas de tipo estromatolito del yacimiento arqueológico de los Aljezares (Aspe, Alicante)....1001
O. Bedmar, J. Cuevas-González, y D. Díez-Canseco

Nuevas dataciones numéricas para Atapuerca Gran Dolina TD1, España....1002
M. Duval, J.M. Parés, I. Campaña, E. Carbonell, J.M. Bermúdez de Castro

Análisis geológico del terremoto histórico de Pinos Puente (1806, Granada, S España)....1003
J. Elez, P.G. Silva, J.L., Giner-Robles, M.A. Rodríguez-Pascua, E. Roquero, R. Pérez-López, y T. Bardají

Impacto humano y cambios naturales en la vegetación de la Costa Cantábrica oriental durante el Antropoceno y el Holoceno....1004
A. Fernández Martín-Consuegra, S. Pérez-Díaz, y A. Cearreta

Evolución espacial y temporal de la dinámica sedimentaria en la Albufera de Valencia: de la gestión pesquera a la degradación actual....1005
M. Galofré, C. Arenas, E. Vicente, A. Vicente de Vera, y B. Valero Garcés

Tsunamis en Chile central: el registro sedimentario de Matanzas....1006
M. Galofré, M. Frugone, y B. Valero

El registro sedimentario antropoceno en la Ría del Nalón (Asturias): Impacto histórico de la minería de carbón y mercurio....1007
J. Gardoki, A. Cearreta, A. García-Artola, M.J. Irabien, J.E. Gómez-Arozamena, y V. Villasante-Marcos

Cambios ambientales e impacto humano durante el Antropoceno en zonas de montaña: el registro sedimentario del lago Isoba (León, NO España). 1008
J. Gardoki, M. Morellón, C. Morales-Molino, J. Remondo, M. Leira, C. Sierra-Fernández, M.L. Canales, V. Villasante, F. Martín-Hernández, R. González, D. Baragaño, A.F. Lotter, E. Gobet, C. Schwörer, y W. Tinner

Técnicas no destructivas para la determinación de procesos de meteorización física y química en las Islas Shetland del Sur, Antártida....1009
M. Gomez-Heras, J.A. Ortega-Becerril, B. Oliva-Urcia, J. López-Mártinez, T. Schmid, y R. Fort

Identificación de impactos antropogénicos en el registro sedimentario estuarino: aplicación en la ría de Suances....1010
M.J. Irabien, A. Cearreta, H. Serrano, y J. Gómez-Arozamena

Evolución del relieve en la Cordillera Cantábrica Central (Asturias): ¿movimientos en masa paraglaciales en Vía Carisa?....1011
M. Jiménez-Sánchez, L. Rodríguez-Rodríguez, M.J. Domínguez-Cuesta, G. Fernández-Viejo, J. Olona, P. Farias, B. Naves, D. Ballesteros, P. Valenzuela, y S. González-Lemos

Retorno a Cova Rosa. Nuevas investigaciones geoarqueológicas en el yacimiento del Pleistoceno superior de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, España)....1012
J.F. Jordá Pardo, D. Álvarez-Alonso, E. Álvarez-Fernández, M. de Andrés-Herrero, P. Arias, J. Bécares, P. Carral, M. Cubas, K. Douka, C. Duarte, N. García-Ibaibarriaga, M.J. Iriarte-Chiapuso, C. López-Tascón, A. Maestro, S. Martín-Jarque, J. Molina, X. Murelaga, A. Palencia, R. Portero, J. del Río, M. Rivero, A. Suárez-Bilbao, y L. Teira

Estimación de la edad de las terrazas fluviales del río Yeltes (Salamanca) mediante cronofunciones....1013
I. Martín-Martín, P.G. Silva, y A.M. Martínez-Graña

Influencia de la falla de Galera en el relieve del sector oriental del Geoparque de Granada (Cordillera Bética central)....1014
I. Medina-Cascales, F.J. García-Tortosa, I. Martin-Rojas, y P. Alfaro

El impacto de la minería en la sedimentación y la ecología de lagos de alta montaña: el registro sedimentario de La Cueva (Asturias, NO de España)....1015
M. Morellón, J. Vegas, C. Morales-Molino, A. Vicente de Vera, M. Leunda, S. Plà-Rabes, J. Sánchez-España, F. Martín-Hernández, J.A. Rodríguez-García, y M.P. Mata

Cambios paleoambientales en el Cuaternario de la plataforma marina de las Guayanas detectados por medio del foraminífero Ammonia tepida....1016
A. Pascual, M. Pujos, y B. Martínez-García

Espeleosismología de la Cueva de los Casares, Guadalajara: evidencias de un posible paleoterremoto 1020
R. Pérez-López, M. Alcaraz-Castaño, M.Á. Rodríguez-Pascua, P.G. Silva, L. Luque, M.A. Perucha-Atienza, J. Elez, J.L. Giner-Robles, E. Roquero, y J. Alcolea-González

Flujos de aire fresco en cuevas tectónicas y gravitacionales: una aproximación multidisciplinar 1021
M. Sánchez-Gómez, D. Gil, J.M. Gómez-López, J. Tovar-Pescador, J.L. Pérez-García, T. Fernández, T. Guerra, G. Garrido, y J.R. Jiménez-Pérez

Análisis de los elementos geomorfológicos fluviales del río Jerte mediante teledetección SAR 1025
Y. Sánchez-Sánchez y A. Martínez-Graña

Interpretación paleoambiental de los sedimentos holocenos de la ría de Suances (Cantabria) a través de su estudio micropaleontológico y geoquímico 1026
H. Serrano, M.J. Irabien, A. Fernández Martín-Consuegra, y A. Cearreta

Phases of sedimentation and soil formation in SE Spain during the Holocene (Eastern Betic Cordillera) 1027
P.G. Silva, E. Roquero, J. Eléz, T. Bardají, y A. Medialdea

The timing of Quaternary phases of fan development and soil formation in the semi-arid SE Spain (Eastern Betic Cordillera) 1031
P.G. Silva, E. Roquero, T. Bardají, y J. Eléz

Cronoestratigráfica del Cuaternario de la Península Ibérica (v 3.0) 1035
P.G. Silva, T. Bardají, J. Baena, J.L. Giner-Robles, J. van der Made, C. Zazo, A. Rosas, y J. Lario

Las terrazas cuaternarias de los valles del Júcar y del Cabriel en su zona de confluencia en del corredor de Ayora-Cofrentes (Valencia) 1036
F. Tapias, P.G. Silva, J. Élez, E. Roquero, T. Bardají, J.L. Giner-Robles, y F. Gutiérrez

Facies sedimentarias en lagos de alta montaña del Pirineo central durante el Holoceno tardío: tipología e interpretación deposicional 1037
A. Vicente de Vera, M. Leunda, O. Sociats, M.P. Mata-Campo, y B.L. Valero-Garcés

La respuesta heterogénea de los glaciares pirenaicos entre 2011 y 2020 1038
I. Vidaller, J. Revuelto, E. Izagirre, E. Alonso-González, S. Gascoin, P. Rene, E. Berthier, F. Rojas-Heredia, I. Rico, A. Moreno, J.I. López-Moreno

Mineralogía magnética del depósito beachrock de Tunelboca (Ría de Bilbao, norte de España): Interrelación entre procesos sedimentarios naturales y desechos industriales ricos en hierro 1039
V. Villasante-Marcos, A. Cearreta, y M.J. Irabien

Propiedades magnéticas de los sedimentos recientes de los lagos Ausente e Isoba (Cordillera Cantábrica, norte de España) como trazadores de cambios ambientales e influencia antrópica 1040
V. Villasante-Marcos, R. González, F. Martín, M. Morellón, y J. Gardoki

Ofiolitas de Iberoamérica

Generación de litosfera oceánica en ciclos de 100 ma en peri-Gondwana: Ofiolitas de Marruecos e Iberia 1041
R. Arenas, S. Sánchez Martínez, R. Albert, F. Haissen, J. Fernández-Suárez, N. Pujol-Solà, P. Andonaegui, R. Díez Fernández, J.A. Proenza, A. Garcia-Casco, y A. Gerdes

Exhumación rápida de un canal de subducción: el ejemplo de la mélange de Cuba Central 1042
I.F. Blanco-Quintero, A. Garcia-Casco, A. Beranoaguirre, J.I. Gil Ibarguchi, C. Lazaro, G. Millan, y J.A. Proenza

El cinturón ofiolítico Tarma-Huánuco en la cordillera oriental andina (9º30'-11º30'), Perú 1043
R. Castroviejo, J. Acosta, J.F. Rodrigues, C.G. Tassinari , y A. Willner

Estado del arte del Complejo Acatlán (sur de México) 1044
V. Colás, M.M. Almazán-López, I.D. Garduño-Torres, F. Ortega-Gutiérrez, M. Elías-Herrera, E. Fitz-Díaz, J. Farré-de-Pablo, y J.A. Proenza

Ofiolitas en el flanco occidental de la Cordillera Central, Andes Colombianos 1048
A.M. Correa-Martínez

Comparación geológica entre dos unidades de anfibolitas asociadas con ofiolitas de la Cordillera Central de Colombia 1049
A.M. Correa-Martínez, y G. Rodríguez

El complejo ofiolítico Cretácico Inferior de Puerto Plata, República Dominicana: registro del inicio de la subducción intra-oceánica y de la evolución tectono-magmática del arco isla Caribeño 1050
J. Escuder-Viruete, M. Castillo-Carrión, y P. Valverde-Vaquero

La ofiolita de Santa Elena, noroeste de Costa Rica: litosfera oceánica de ZSS emplazada sobre el margen meridional de Norte América durante el Cretácico Superior 1051
J. Escuder-Viruete, M. Castillo-Carrión, P. Valverde-Vaquero, J. Gabites, y P.O. Baumgartner

Diamantes en cromititas ofiolíticas 1052
J. Farré-de-Pablo, J.A. Proenza, J.M. González-Jiménez, A. García-Casco, V. Colás, J. Roqué-Rosell, A. Camprubí, A. Sánchez-Navas, y X. Llovet

Cinturones metamórficos ofiolíticos de Cuba 1053
A. Garcia-Casco, G. Millán, M.A. Iturralde-Vinent, K. Núñez Cambra, Y. Rojas-Agramonte, C. Lázaro, I.F. Blanco-Quintero, J. Cárdenas-Párraga, y J.A. Proenza

Metabasitas, metaultrabasitas y mineralizaciones asociadas de la zona Sur de la Cordillera de la Costa Chilena 1054
J.M. González-Jiménez, G. Plissart, L.N.F. Garrido, J.C. Moral, J. Berger, C. Marchesi, H. Diot, R. Piña, M. Ramón, C. Monnier, J.A. Padrón-Navarta, y F. Gervilla

Productos de fusión parcial de láminas ofiolíticas subducentes (Cuba oriental).....1055
C. Lázaro, I.F. Blanco-Quintero, M. A. Iturralde-Vinent, K. Núñez Cambra, Y. Rojas-Agramonte, J. Cárdenas-Párraga, J.A. Proenza, y A. Garcia-Casco

Evolución tectonotermal de paragneises de alta-P y alta-T (sutura varisca, NO del Macizo Ibérico) 1056
I. Novo-Fernández, R. Arenas, A. Garcia-Casco, R. Díez Fernández, R. Albert, S. Sánchez Martínez, y A. Gerdes

Petrogénesis de las ofiolitas cubanas 1057
J.A. Proenza, A. García-Casco, Y. Rojas-Agramonte, M. Iturralde-Vinent, C. Marchesi, C. Lázaro, J.M. González-Jiménez, I.F. Blanco-Quintero, L. Butjosa, J. Cárdenas-Párraga, F. Gervilla, N. Pujol-Solà, J. Farré-de-Pablo, A.I. Llanes-Castro, y K. Núñez Cambra

Metasomatismo de Fe-Ti-Zr causado por infiltración de fundidos diferenciados tipo MORB en el manto ofiolítico de Cuba oriental.....1058
N. Pujol-Solà, J.A. Proenza, A. Garcia-Casco, J.M. González-Jiménez, M.J. Román-Alpiste, C.J. Garrido, J.C. Melgarejo, F. Gervilla, y X. Llovet

Planeta Rica, NW Colombia: una ofiolita de zona de supra-subducción del Jurásico Tardío 1059
C. Ramírez-Cárdenas, M. Weber, M. Tobón, J.A. Proenza, A. Beltrán-Triviño, N. Pujol-Solà, S. Betancur, A. von Quadt, y J. Duque

¿Existió un basamento mesoproterozoico en N-NW África? geocronología U-Pb de la ofiolita de tipo back-arc de Vila de Cruces.....1060
S. Sánchez Martínez, R. Arenas, R. Albert, A. Gerdes, y J. Fernández-Suárez

Petrografía, geoquímica y geocronología del cinturón ofiolítico Peltetec (Ecuador), implicaciones geodinámicas 1061
F. Villares-Jibaja, I.F. Blanco-Quintero, P. Reyes, y A. Garcia-Casco

Evolución geológica de la Cordillera de los Andes y su antepaís

Cambios en la evolución de los perfiles de ríos con el suministro de sedimentos no consolidados en el sur del Desierto de Atacama.....1062
G. Aguilar, K. Rossel, y A. Cabré

Abanicos aluviales en valles encajados: Consideraciones para el registro paleoclimático Holoceno de los Andes Centrales 1063
A. Cabré, G. Aguilar, y F. Colombo

Niveles ferralíticos en la Formación Asencio (Cretácico superior-Paleoceno): Características principales y significado sedimentario (Sudoeste del Uruguay).....1067
F. Colombo, G. Gallastegui, C. Goso, G. Veroslavsky, C.U. Veríssimo, y K. Amir

Abanicos aluviales telescópicos y lagos temporales en la Quebrada del Río Toro (Salta, Argentina).....1068
F. Colombo, J. Salfity, y R. Marquillas

La Serie Oriental del río Maule (Constitución, Chile): Estructura y metamorfismo 1069
J. García-Sansegundo, A. Rubio-Ordóñez, N. Heredia, J. Santos-Martínez, C. Palape, A. Cuesta, P. Farias, G. Gallastegui, O. García-Moreno, F. Martín-González, y T. Hyppolito

Evolución del plutonismo del Arco Mocoa-Santa Marta durante el Jurásico Temprano - Medio, en la margen noroccidental del basamento Neo-proterozoico del Norte de los Andes, Colombia 1070
G. Rodríguez-García, A.M. Correa-Martínez, J.P. Zapata, D.A. Ramírez, y G. Obando

Evolución geodinámica del basamento paleozoico de los Andes Norpatagónicos.....1071
S. Serra-Varela, N. Heredia, R. Giacosa, J. García-Sansegundo, y P. Farias

Estilos estructurales en el frente Andino Peruano.....1075
G. Zamora, M. Louterbach, y P. Arriola

Proyecto Internacional de Geociencias (antiguos PICG-IPGC)

Proyecto IGCP 639 “Sea Level Change from Minutes to Millennia” 1076
R. González-Villanueva y E. Guisado-Pintado

S4SLIDE – IGCP-640. Deslizamientos subacuáticos a lo largo de los Márgenes Continentales del mundo 1077
R. León, B. Alonso, D. Casas, J. Chaytor, G. Ercilla, S. Krastel, J. Llopart, A. Micallef, L. Moscardelli, D.C. Mosher, J. Mountjoy, M. Strasser, R. Urgeles, M. Vanneste, y J.T. Vazquez

El Proyecto Internacional de Geociencias – UNESCO, PICG 652 y la aportación española en el contexto transnacional.....1078
J.-C. Liao y J.I. Valenzuela-Ríos

Lower-Middle Devonian limestones of the SW border of the Ossa-Morena Zone; from local to global paleogeographic scale 1079
N. Moreira, G. Machado, and G. Silvério

Estudio sedimentológico-ambiental de la plataforma interna frente a la ensenada de Llumeres (Asturias).....1084
R. Ruiz-Quesada, G. Flor-Blanco y E. Garcia-Ordiales

El Programa Internacional de Geociencias (PICG-UNESCO) en España: 45 años sirviendo al desarrollo de la Geología 1088
J.I. Valenzuela-Ríos

El Programa Internacional de Geociencias de la UNESCO PICG-596 y la internacionalización de la Ciencia Española 1092
J.I. Valenzuela-Ríos y J.-C. Liao

La diversidad cultural y el diálogo internacional para un mundo en PAZ: La aportación del PICG 1093
J.I. Valenzuela-Ríos y J.-C. Liao

Minerales críticos

Potencial minero en bismuto de Andalucía 1094
E. Boixereu, A. Santiago, R. Martinez-Orio, T. Sánchez-García, C. Fernández-Leyva, y A. Del Olmo

Elaboración de mapas predictivos para la prospección de antimonio mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial 1095
D. Carrasco, S. Lorenzo, J.A. López-Gomez, J.M. Esbrí, y P. Higueras

Consideraciones petrogenéticas sobre los granitos albíticos de metales raros del Macizo Ibérico y su mineralización asociada 1099
F.J. López-Moro

Exploración de elementos de tierras raras en materiales geológicos subaéreos y submarinos de las Islas Canarias: estado de la cuestión 1100
J. Mangas, L. Quevedo, I. Menéndez, M. Campeny, J. Rivera, E. Tauler, J. Yepes-Temiño, J.C. Melgarejo, E. González-Clavijo, y J. Méndez- Ramos

El potencial minero español de un recurso crítico: El grafito 1101
I. Martín-Méndez, E. Boixereu, y P. Delgado

Estudio geoquímico de los sondeos del stock granítico de El Trasquilón (Cáceres). Aplicación de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X .. 1102
J.F. Mediato, T. Sánchez-García, J. García-Crespo, A. Díez-Montes, C. Molina, J.P. Blanco, y S.M.Timón-Sánchez

Ferriallanita-(Ce), el principal portador de tierras raras en los lamprófidos calco-alcalinos de Les Guilleries 1103
E. Mellado y M. Corbella

Elaboration of a metallogenic map for W-Sn for Northern and Central Portugal, and Castilla y León, Spain: the case study of the "Alto-Douro" area 1104
A. Mota, V. Ramos, S. Leal, O. Fádon y F. Noronha

Fluorescencia de rayos-X portátil en prospección mineral. Estudio del granito de Golpejas (Zona Centro-Ibérica, España) 1107
T. Sánchez-García, J.F. Mediato, S.M. Timón-Sánchez, A. Díez-Montes, y J. García-Crespo

Presencia de fluorcarbonatos en yacimientos de fluorita y baritina en la Zona de Ossa-Morena (España) 1108
T. Sánchez-García, A. Santiago, R. Martinez-Orio, C. Fernández-Leyva,E. Boixereu, y A. Del Olmo

Minerales con elementos críticos en Andalucía: berilio 1109
A. Santiago, R. Martinez-Orio, T. Sánchez-García, C. Fernández-Leyva, E. Boixereu, y A. Del Olmo

Minerales con elementos críticos en Andalucía: flúor 1109
A. Santiago, R. Martinez-Orío, T. Sánchez-García, C. Fernández-Leyva, E. Boixereu, y A. Del Olmo

Sustancias críticas: minerales de cobalto para la transición energética en Andalucía 1111
A. Santiago, R. Martinez-Orio, T. Sánchez-García, C. Fernández-Leyva, E. Boixereu, y A. Del Olmo

Sustancias críticas: minerales de vanadio para la transición energética en Andalucía 1112
A. Santiago, R. Martinez-Orío, T. Sánchez-García, C. Fernández-Leyva, E. Boixereu, y A. Del Olmo

Los recursos potenciales de Nb-Ta en la Zona Centro Ibérica, España 1113
S.M. Timón-Sánchez, A. Díez-Montes, J. García-Crespo, J.F. Mediato-Arribas, T. Sánchez-García, y P. Valverde-Vaquero

Recursos energéticos

Canarias aguas profundas y el sondeo Sandía-1x 1114
W. Martínez del Olmo

Sí a las renovables y a la exploración con el gas como objetivo 1118
W. Martínez del Olmo

Caracterización de facies del sondeo de hidrocarburos del Castillo-2 a partir de técnicas de testificación no destructivas 1123
J.F. Mediato, B. del Moral, I. López-Cilla, L.Galan, E. Ugarte-Manzanares, y E. Fernández de Arévalo

Sedimentología virtual de análogos aflorantes: ventajas y limitaciones 1124
C. Viseras, L.M. Yeste, F. García-García, y J. Jaímez

IODP-ICDP y perforación científica

Corriente Circumpolar Antártica durante el Oligoceno-Mioceno inferior 1125
D. Evangelinos, C. Escutia, T. van de Flierdt, J. Etourneau, J.A. Flores, L. Valero, F. Hoem, P. Bijl, K. Kreissig, K. Kerr, L. Holder, A. López-Quirós, y A. Salabarnada

IMMAGE: Una propuesta anfibia ICDP-IODP para explorar los intercambios de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo desde el Mioceno superior 1126
R. Flecker, y the IMMAGE team

Evolución geodinámica y paleoceanográfica del Mar de Scotia. Expedición IODP 382 1127
M. García, L.F. Pérez, Y. Martos, M. Weber, M. Raymo, T. Williams, F. Bohoyo, C. Escutia, y IODP Exp382 Scientists

Facies Holocenas de deglaciación, Tierra de Wilkes, IODP U1357A 1128
J. Gutiérrez-Pastor, C. Escutia, F. Jiménez Espejo, B.K. Khim, X. Crosta, y J. Etourneau

Borehole INNOLOG-1/18: establishing a test site for innovative geophysical borehole logging tools 1129
A. Lapanje, K. Teran, S. Mozetič, y M. J. Jurado

Clima cenozoico e impacto tectónico de la apertura del Paso de Drake 1130
A. López-Quirós, C. Escutia, J. Etourneau, S. Roignant, F.J. Lobo, F.J Rodríguez-Tovar, F. Bohoyo, D. Evangelinos, A. Salabarnada, F.S. Hoem, P.K. Bijl, M-A Sicre, y V. Klein

Mineralogía y geoquímica del sondeo Montemayor-1 (Cuenca del Guadalquivir) 1131
M.P. Mata, M. Tsige, M. Sopeña, y E. Bellido

Correlación estratigráfica con el ODP Site 696, Microcontinente de las Orcadas del Sur (Arco de Scotia meridional, Antártida) 1132
C. Morales, F. Bohoyo, C. Escutia, C. Rey, J. Galindo, A. López-Quirós, y A. Maestro

Deposición y circulación de corrientes de fondo del Oligoceno al Mioceno frente al margen oriental de la Tierra de Wilkes, Antártida Oriental 1133
A. Salabarnada , C. Escutia, D. Evangelinos, A. López-Quirós, M. García, y H. C. Nelson

Nuevos datos del relleno sedimentario del borde norte de la Cuenca del Ebro aportados por la testificación continua del sondeo Campián-1 bis (Monzón, Huesca) 1134
M. Soler-Sampere, J. García-Senz, A. Salazar, J. González-Blázquez, y M.P. Mata

Estratigrafía preliminar del sondeo ICDP MexiDril 1135
B. Valero-Garcés, M. Stockhecke, S. Lozano-García, B. Ortega, M. Caballero, P. Fawcett, J.P. Werne, E. Brown, S. Sosa Najera, K. Pearthree, D. McGee, y A.G.E. Hodgetts

Geología y sociedad

Ante el Calentamiento Global, una reflexión geológica 1136
C. Álvarez, M. Álvaro, , P. Cámara, C. García Royo, J.M. Portero, , J. Suarez

Ética, geología, embalses y deslizamientos en la Cuenca del Ebro 1140
A.M. Casas y J.L. Simón

Geoturismo en el País Vasco. Experiencias y potencial de desarrollo 1141
B. Casas-Valladolid e I. López-Díaz

Presente y futuro social de la geología profesional 1142
I. López-Díaz y A. García-Cortázar

Dispersión de residuos industriales en el subsuelo del barrio de La Almozara. Contexto ambiental y geomorfológico de distribución 1143
Ó. Pueyo Anchuela, D. García, E. Mihi, J. Sánchez, G. Jiménez, P.L. López Julián, C. Revuelto, A. Pocoví J. Ramajo, y P. Calvín

Papel de la geología en el desarrollo global: la importancia de los humedales 1144
M.E. Sanz-Montero, J.P. Rodríguez-Aranda y P del Buey

La geología en la sociedad del ¿conocimiento? 1145
J.L. Simón y A.M. Casas

Desde el cinturón de pliegues y cabalgamientos al prisma de acreción en el sur de Taiwán: estructura cortical.

From the fold-and-thrust belt to the offshore accretionary prism in the south of Taiwan: crustal structure.

J. Alvarez-Marron[1], D. Brown[1], J. Alcalde[1], I. Marzán[1], H. Kuo-Chen[2], P. Ayarza[3], y R. Carbonell[1]

1 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera ICTJA-CSIC, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. j.alvarez@csic.es
2 Department of Earth Science, National Central University, Zhongli, Taiwan
3 Departamento de Geología Universidad de Salamanca, Salamanca

Palabras clave: *Crustal structure, Taiwan thrust and fold belt*

Resumen

En Taiwán se da una colisión oblicua entre el arco de Luzón en la Placa de Filipinas y el margen continental de Eurasia. El cinturón de pliegues y cabalgamientos (FTB) de este orógeno pasa hacia el sur a una cuña acrecional submarina en la fosa de Manila. El objetivo de este estudio es examinar la estructura en esa transición. Para ello se usan datos de campo, perfiles sísmicos de reflexión marina y modelos de tomografía sísmica. Se construyen mapas de contornos estructurales del cabalgamiento basal y modelos de profundidad del Moho en la región de transición. El cabalgamiento basal del sistema FTB/prisma corta lateralmente y atraviesa la cobertera sedimentaria del margen de forma que los sedimentos pre-orogénicos Miocenos se incorporan al bloque cabalgante a medida que se pasa desde la cuña acrecional al FTB. El Moho presenta variaciones de profundidad que pueden relacionarse con la oblicuidad de la colisión. De esta forma, el engrosamiento de la corteza es menor bajo la región en que colisiona la parte más delgada del margen en el sur de Taiwán.

Esta investigación es parte del proyecto PGC2018-094227-B-I00 financiado por la Agencia Española de Investigación del Ministerio de Innovación Científica y Universidades de España.

Abstract

In Taiwan there is an active, oblique arc-continent colision between the Luzon Arc on the Philippine Sea Plate and the continental margin of Eurasia. The Fold-and-Thrust Belt (FTB) in Taiwan passes southwards into a submarine accretionary wedge at the Manila subduction zone. The aim of this contribution is to examine how an on land FTB changes into a marine accretionary prism in that tectonic context. Here we use surface geology, marine seismic reflection profiles, and seismic tomography models to obtain maps of the basal thrust and the depth to the Moho across a transition area. The basal thrust of the FTB/Prism system cuts laterally along-strike through the margin's sedimentary cover to incorporate thicker Miocene pre-orogenic sediments onto its hanging wall as it passes from the submarine wedge to the on land FTB. The Moho shows changes of depth that may be related to the changes in crustal thickness and the obliquity of the collision. Because of this, crustal thickening is less pronounced beneath southern Taiwan where the thinner part of the margin is colliding with the arc.

This research is part of project PGC2018-094227-B-I00 funded by the Spanish Research Agency from the Ministry of Science Innovation and Universities of Spain.

Reparto de la deformación en el límite Zonas Internas-Externas de la transversal de Ronda (Béticas occidentales).

Strain partitioning in the Internal-External zone boundary of the Ronda transect (Western Betics).

J.C. Balanyá[1], I. Expósito[1], A. Jiménez-Bonilla[1], M. Díaz-Azpiroz[1], M. Sánchez-Gómez[2] y A. Crespo-Blanc[3]

1 Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, Cra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, jcbalrou@upo.es, iexpram@upo.es, ajimbon@upo.es, mdiaazp@upo.es
2 Dpto. Geología, Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, msgomez@ujaen.es
3 Dpto. Geodinámica, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n, 41013 Granada, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), Avda. Las Palmeras 4, 1800 Armilla (Granada), acrespo@ugr.es

Resumen: Este trabajo tiene por objeto analizar las variaciones de transporte tectónico asociadas a estructuras de acortamiento próximas al límite Zonas Internas-Externas de la transversal de Ronda (Béticas occidentales). Se estudian estructuras de edad Mioceno Inferior-Medio, edad correspondiente al evento principal de deformación en el cinturón de pliegues y cabalgamientos. En las Zonas Externas, las Unidades Penibéticas, deformadas por pliegues de vergencia NW, presentan slickenlines con dirección de transporte tectónico hacia N305º-320ºE, resultado muy similar al obtenido para la Unidad de las Nieves (Zonas Internas). Sin embargo, en el Complejo Alpujárride (Zonas Internas), pliegues de crenulación vergentes al W y pliegues rectos N-S, indican dirección de transporte hacia N270º-280ºE. La diferencia (>30º) en las direcciones de transporte entre el Alpujárride y el conjunto Nieves-Penibético parecen indicar una situación transpresiva dextra general en la que el conjunto Nieves-Penibético estaría acomodando principalmente la componente de acortamiento ortogonal mientras que las unidades Alpujárrides acomodarían la mayoría del desplazamiento lateral.

Palabras clave: reparto de la deformación, pliegues vergentes, direcciones de transporte tectónico, Béticas.

Abstract: *This work aims to analyse the variations of tectonic transport directions associated to shortening structures near the Internal-External Zone boundary of the Ronda transect (western Betics). It focus on Lower to Middle Miocene structures belonging to the main deformation event in the fold-and-thrust belt. The Penibetic (External Zones) is deformed by NW vergent folds and shows slickenlines indicating transport sense towards N305°-320°E. Similar results have been obtained in the Nieves Unit (Internal Zones). In the Alpujarride Complex (Internal Zones), W vergent crenulation folds and upright N-S-folds, indicate a N270°-280°E tectonic transport direction. The difference (<30°) in tectonic transport directions between the Alpujarride and the Nieves-Penibetic ensemble seems to indicate a general dextral transpression. In this context, the Nieves-Penibetic ensemble could accommodate mainly the orthogonal shortening component whereas the Alpujarride units could accommodate most of the lateral displacement.*

Keywords: *strain partitioning, vergent folds, tectonic transport directions, Betics.*

INTRODUCCIÓN

La cinemática del Arco de Gibraltar durante el Neógeno deriva de la convergencia Europa-África (entre NNE-SSW y NW-SE; Mazzolli and Helman, 1994) y del movimiento de componente W de su parte interna (Balanyá *et al.*, 2007). Este contexto sugiere que la rama norte del Arco (Cordillera Bética) estuvo, durante este periodo, sometida a un régimen general transpresivo dextro. De hecho, algunos segmentos de la zona de contacto entre Zonas Internas y Externas de la Cadena Bética corresponden a zonas de cizalla dúctil-frágiles de gran escala y cinemática transpresiva dextra (Barcos *et al.*, 2015). Sin embargo, en el extremo oeste del Arco de Gibraltar, en la transversal de Ronda (Fig.1), se han localizado bandas transpresivas hacia la parte frontal del cinturón de pliegues y cabalgamientos (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2015), pero no se observa este tipo de estructuras a gran escala localizadas en el límite Zonas Internas-Externas.

En las Béticas Occidentales trabajos previos han analizado el reparto de la deformación en el cinturón de pliegues y cabalgamientos (CPC), habiendo puesto de manifiesto la importancia del estiramiento paralelo a las directrices estructurales y las direcciones de transporte (*thrusting*) divergentes hacia el antepaís (Balanyá *et al.*, 2007; Jiménez-Bonilla *et al.*, 2015). Sin embargo, no se ha analizado de manera análoga este problema en las unidades del Dominio de Alborán.

El objetivo del presente trabajo es doble. Por un lado, actualizar el inventario de estructuras de acortamiento de edad Mioceno inferior-medio (etapa de deformación principal en las unidades del CPC; Expósito *et al.*, 2012) en las unidades situadas a ambos lados del límite Zonas Internas-Externas en la transversal de Ronda (Fig. 1). Por otro, discutir los resultados en términos de reparto de la deformación en el contexto cinemático del arco.

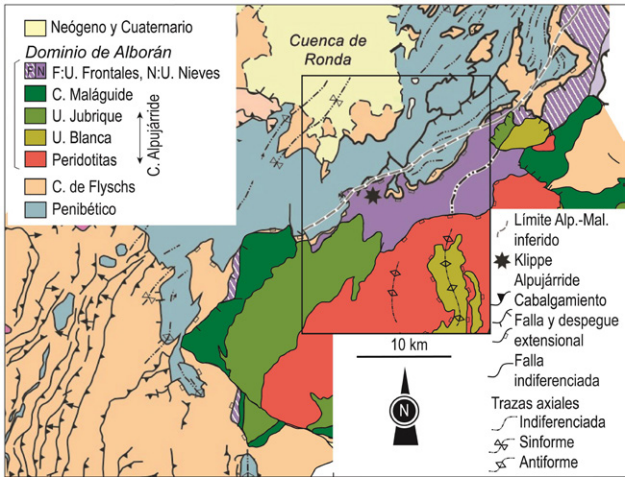


FIGURA 1. Mapa tectónico de la región de Ronda y localización del área estudiada.

CONTEXTO TECTÓNICO

En la transversal estudiada, la parte interna del CPC está compuesta mayoritariamente por las Unidades Penibéticas, pertenecientes al Dominio Sudibérico. Corresponden a coberteras triásico-paleógenas despegadas de su basamento hercínico. En ellas se identifican dos fases de deformación principales (Expósito *et al.*, 2012; Jiménez-Bonilla *et al.*, 2015). Una de edad Mioceno inferior-medio, caracterizada por estructuras de acortamiento de vergencia NW. Otra, de edad Mioceno superior-Holoceno, caracterizada por pliegues NE-SW de gran radio rectos o con doble vergencia y fallas inversas asociadas. Simultáneamente, se formaron fallas normales asociadas a una extensión paralela al Arco (Crespo-Blanc y Campos 2001, Jiménez-Bonilla *et al.*, 2015).

Las unidades del Dominio de Alborán, por su parte, están representadas por las Unidades Frontales y el Complejo Alpujárride (Fig. 1). Las primeras están compuestas por sucesiones triásico-paleógenas, mayormente carbonatadas y deformadas por pliegues de vergencia NW. Esta sucesión se encuentra parcialmente metamorfizada. La deformación ligada a estos pliegues es de edad Mioceno inferior (Martín-Algarra, 1987). El Complejo metamórfico Alpujárride se encuentra superpuesto a las Unidades Frontales y está compuesto por las unidades de Blanca, Bermeja y Jubrique (Sánchez-Gómez *et al.*, 2002). En la zona que nos ocupa la U. de Blanca está formada por esquistos, mármoles y migmatitas; la U. de Bermeja está compuesta exclusivamente por peridotitas; y la U. de Jubrique presenta una potente sucesión de kinzigitas, gneises, esquistos, cuarcitas y filitas.

Entre el Penibético y el Cp. Alpujárride se intercala una banda de materiales del Cp. de Flyschs del Jurásico-Mioceno inferior (Fig. 1), muy adelgazada por fallas normales (Expósito *et al.*, 2012).

RESULTADOS (I): PENIBÉTICO

En las Unidades Penibéticas de este sector la sucesión cretácico-paleógena (margocalizas) se encuentra despegada de la sucesión jurásica (carbonatos). Es en la primera donde se encuentra el mayor número de estructuras de valor cinemático, asociadas a pliegues asimétricos métricos a decamétricos de vergencia NW. Sobre la base de datos previos (Expósito *et al.*, 2012), hemos actualizado su inventario en la zona situada inmediatamente al norte de los afloramientos de la Unidad de las Nieves.

Se trata de pliegues de morfología *chevron*, con un ángulo entre flancos entre 40º y 80º, que desarrollan con frecuencia una foliación de plano axial con morfología estilolítica. Los criterios cinemáticos utilizados para establecer la dirección y sentido de transporte tectónico, además de la propia vergencia de los pliegues, han sido: grooves en las superficies de foliación, fibras de calcita en *limb-thrusts* y fibras de calcita en superficies de deslizamiento y flexión.

Los resultados indican que las direcciones de transporte tectónico asociadas a estos pliegues se concentran preferentemente entre N305ºE y N320ºE, es decir, subperpendiculares a los ejes de los pliegues cuyo máximo está próximo a N40º-50ºE (Fig. 2).

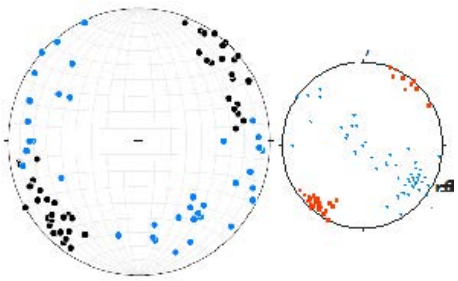


FIGURA 2. Estereograma de ejes de pliegues vergentes al NW (puntos negros y rojos) y slickenlines asociados (azules) en el Penibético. Izquierda: datos de este trabajo (sector meridional). Derecha: datos previos (sector septentrional; Expósito *et al.*,2012).

RESULTADOS (II): UNIDAD DE LAS NIEVES

La deformación de edad Mioceno inferior en las Unidades Frontales está representada por pliegues de diversos órdenes (métricos a kilométricos) de vergencia NW (Martín-Algarra, 1987; Balanyá *et al.*, 2019). Se ha analizado el caso de la Unidad de las Nieves, la más extensa de ellas, en donde los pliegues son subangulares, abiertos (en el NW de la unidad) a cerrados (en el SE), y presentan una foliación penetrativa. Los ejes de los pliegues y la lineación de intersección asociada presentan un máximo bien definido orientado N40ºE. Algunas zonas de cizalla dúctil-frágiles identificadas señalan un sentido de

movimiento hacia el NW, coincidente con la vergencia de los pliegues.

La unidad de Nieves está separada del Complejo de Flysch por una zona de falla normal de bajo ángulo (Fig. 1). Más allá de los pliegues mencionados, no se han localizado estructuras en las proximidades de esta zona de falla que se puedan adscribir al emplazamiento inicial (cabalgamiento) de la U. de Nieves sobre unidades más externas.

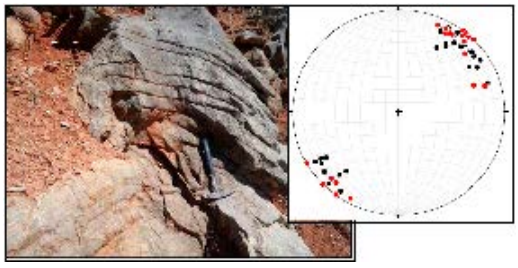


FIGURA 3. Pliegues vergentes al NW en la U. de las Nieves: ejemplo de pliegue menor y estereograma de ejes de pliegues (puntos negros) y lineaciones de intersección (puntos rojos).

RESULTADOS (III): COMPLEJO ALPUJÁRRIDE

El Complejo Alpujárride presenta una gran heterogeneidad en la geometría de las estructuras de acortamiento atribuibles al Mioceno inferior-medio, según la unidad que se considere. Dentro de la Unidad de Jubrique se observan pliegues de crenulación vergentes al W. Se trata de pliegues de perfil isopaco o con poco engrosamiento de charnela, con un ángulo entre flancos entre 40º y 80º. Pliegan a la foliación principal y al bandeado gnéisico. A veces desarrollan un clivaje de crenulación, pero este no es sistemático. En algún caso se puede ver que pliegan a andalucitas tardías crecidas sobre la foliación principal, crecimiento que en distintas unidades alpujárrides se ha datado en 19-20 Ma (Platt y Whitehouse, 1999). Por otra parte, estos pliegues se encuentran afectados por fallas de edad Mioceno Superior o más tardías.

En el diagrama de la figura 4 están representados pliegues de todos los tramos de la Unidad de Jubrique (desde las kinzigitas hasta las filitas y cuarcitas). Como puede verse la distribución presenta un máximo en torno a N0º-10ºE.

La Unidad de Bermeja, a diferencia de la de Jubrique, no presenta pliegues menores, aunque en su parte superior pueden reconstruirse, a partir de la orientación del bandeado, pliegues de una longitud de onda hectométrica de orientación N-S. Sin embargo, las estructuras más destacadas en las peridotitas son pliegues de escala cartográfica que afectan al contacto basal de la Unidad de Bermeja. Tienen también una orientación N-S y afectan a las milonitas de baja presión de la Unidad de Blanca (Sánchez-Gómez *et al.*, 2002) que se sitúan en el contacto entre ambas unidades. Se definen dos grandes anticlinales (Fig. 1) cuyos flancos orientales presentan fallas inversas vergentes al E.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el Penibético próximo a la U. de las Nieves indican que los pliegues vergentes al NW no difieren en sus características cinemáticas de los previamente descritos por Expósito *et al.* (2012). Así, la geometría de los pliegues y estructuras asociadas sugieren un mecanismo de plegamiento por deslizamiento y/o flujo flexural, seguido de un aplastamiento último que explicaría el ángulo entre flancos que, con frecuencia se sitúa por debajo de 60º (ángulo teórico de bloqueo para pliegues chevron). La dirección de transporte, estimada a partir de fibras en superficies de deslizamiento flexural y en limb thrusts es aproximadamente hacia N305º-320ºE (Fig. 2).

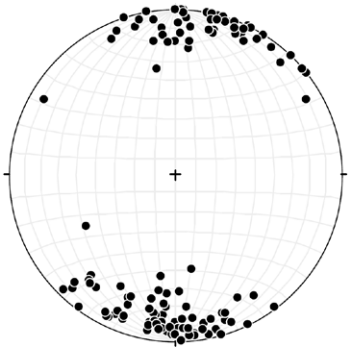


FIGURA 4. Estereograma de ejes de pliegues de crenulación vergentes al W en la Unidad de Jubrique.

Las observaciones realizadas en la U. de las Nieves no permiten obtener una dirección de transporte basada directamente en slickenlines, pese a que los pliegues de la parte norte de esta unidad tienen características muy parecidas a los del Penibético. No obstante, cabe suponer que la dirección de transporte es perpendicular a las charnelas de los pliegues dado que no se ha encontrado ninguna evidencia de transección de la foliación ni dispositivo en relevo de las charnelas. En función de la orientación preferente de los ejes de los pliegues (máximo en N40ºE) y su vergencia hacia el NW, cabe deducir una dirección de transporte aproximada hacia N310ºE, es decir, similar a la obtenida en el Penibético subyacente.

Las estructuras representadas en el Complejo Alpujárride parece que se encuentran condicionadas por el gran contraste reológico existente entre la U. de Bermeja (peridotitas) y el resto de la columna tectónica. De este modo los pliegues aproximadamente N-S que afectan a la losa peridotítica tienen una longitud de onda mucho mayor. Al igual que en el caso de la U. de las Nieves, la dirección de transporte tectónico asociada a los pliegues de crenulación de la U. de Jubrique tiene que deducirse de su orientación y vergencia. Tal como se ha indicado anteriormente la distribución de sus ejes define un máximo en torno a N0º-10ºE, lo que sugiere una dirección de transporte hacia N270º-280ºE.

Estos resultados indican que existe una variación mínima de 30º en las direcciones de transporte tectónico asociadas a estructuras de acortamiento entre las Unidades Alpujárrides y el conjunto formado por la U. de las Nieves y el Penibético. Esta diferencia, localizada en las unidades que configuran el límite Zonas Externas-Internas, señalaría una partición del desplazamiento coherente con una cinemática transpresiva dextra. En este contexto, el conjunto Nieves-Penibético estaría acomodando principalmente un componente de convergencia ortogonal, por lo que las U. Alpujárides acomodarían la práctica totalidad del desplazamiento lateral de dicha transpresión. Aunque no es posible cuantificar el valor de esta convergencia oblicua con los datos disponibles, sí se puede hacer una comparación cualitativa con los datos obtenidos en transversales más orientales. Así, en la zona de cizalla del Torcal (ZCT), que no presenta una unidad que acomode convergencia ortogonal (equivalente al conjunto Nieves-Penibético de la zona de estudio) la convergencia a partir del Mioceno superior presenta una oblicuidad de 13º-45º respecto al límite del Dominio de Alborán con el CPC (Barcos *et al.*, 2015). Por tanto, es de suponer que la zona que nos ocupa habría estado afectada por un ángulo de convergencia mayor. De ser cierto, este reparto del desplazamiento oblicuo podría deberse a (1) una posición más frontal de la transversal de Ronda en el conjunto del Arco de Gibraltar y/o (2) un reparto temporal hacia situaciones de mayor oblicuidad. Esta es una hipótesis a desarrollar en trabajos futuros.

CONCLUSIONES

Se han analizado las variaciones en la dirección de transporte tectónico asociada a estructuras de acortamiento de edad Mioceno Inferior-Medio en las unidades próximas al límite Zonas Internas-Externas de la transversal de Ronda.

Las Unidades Penibéticas y la Unidad de las Nieves han seguido direcciones de transporte similares, entorno a N305º-320ºE. El Complejo Alpujárride, por su parte, ha seguido direcciones de transporte aproximadamente hacia N270º-280ºE.

De todo ello se deduce una diferencia mínima de 30º entre la dirección de transporte de las unidades más internas y el conjunto Nieves-Penibético, resultado que sería congruente con una cinemática general transpresiva dextra.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos PGC-2018-100914-B-100 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) y UPO-1259543.

REFERENCIAS

Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I., Luján, M. (2007): Structural trend line pattern and strain partitioning in the Gibraltar Arc accretionary wedge: insights on the mode of orogenic arc building. *Tectonics*, 26: 1-19.

Balanyá, J.C., Expósito, I., Jiménez-Bonilla., A., Díaz-Azpiroz, M. (2019): Estiramiento paralelo al eje de los pliegues en la Unidad de las Nieves (Dominio de Alborán, Béticas Occidentales). *Geogaceta*, 67.

Barcos, L., Balanyá, J.C., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I., Jiménez-Bonilla, A. (2015): Kinematics of the Torcal Shear Zone: transpressional tectonics in a salient–recess transition at the northern Gibraltar Arc. *Tectonophysics* 663, 62–77.

Crespo-Blanc, A., Campos, J. (2001): Structure and kinematics of the South Iberian paleomargin and its relationship with the Flysch Trough units: Extensional tectonics within the Gibraltar Arc fold-and-thrust belt (western Betics). *Journal of Structural Geology* 23, 1615-1630.

Expósito, I., Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M., Luján, M. (2012): Overthrust shear folding and contrasting deformation styles in a multiple decollement setting, Gibraltar Arc external wedge. *Tectonophysics* 576-577, 86-98.

Jiménez-Bonilla, A., Expósito, I., Balanyá, J.C., Díaz-Azpiroz, M., Barcos, L. (2015): The role of strain partitioning on intermontane basin inception and isolation, External Western Gibraltar. *Journal of Geodynamics* 92, 1-17

Martín-Algarra, A. (1987): *Evolución geológica alpina del contacto entre las zonas internas y externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 1171 pp.

Mazzoli S, Helman M. (1994): Neogene patterns of relative plate motion for Africa-Europe: some implications for recent central Mediterranean tectonics. *Geologische Rundschau* 83:464–68.

Platt, J.P., Whitehouse, M.J. (1999): Early Miocene high-temperature metamorphism and rapid exhumation in the Betic Cordillera (Spain): evidence from U-Pb zircon ages. *Earth and Planetary Science Letters* 171, 591-605.

Sánchez-Gómez, M., Balanyá, J.C., García-Dueñas, V., Azañon, J.M. (2002): Intracrustal tectonic evolution of large lithosphere mantle slabs in the western end of the Mediterranean orogen (Gibraltar Arc), in Rosenbaum G., Lister G.S. (Eds.), *Reconstruction of the Alpine-Himalayan Orogen*. Journal of Virtual Explorer 8, 23–34.

El Diapiro de Salinas del Rosío (Cuenca Vasco-Cantábrica)

The Salinas del Rosío Diapir (Basque-Cantabrian Basin)

J. Belenguer Oliver[1,2], O. Ferrer[1,3], K. McClay[1,4]

1 Fault Dynamics Research Group, Earth Sciences Department, Royal Holloway University of London, Egham, TW20 0EX, Reino Unido
2 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, ICTJA CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jbelenguer@ictja.csic.es
3 Institut de Recerca Geomodels. Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. joferrer@ub.edu
4 Australian School of Petroleum, the University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia.

Palabras clave: Tectónica salina, Cuenca Vasco-Cantábrica, Pirineos, Diapirismo, Glaciar Salino.

Resumen

El conocimiento de las estructuras salinas ha mejorado substancialmente con los avances en las técnicas de adquisición y procesado sísmico, así como con las mejoras en modelización analógica y numérica. Sin embargo, el análisis de campo de estas estructuras es extremadamente importante para observar su geometría real y cambios de facies asociados.

Este trabajo presenta un estudio de campo del Diapiro de Salinas del Rosío, una estructura salina situada en la Plataforma Alavesa, en el margen S de la Cuenca Vasco-Cantábrica. El diapiro perforó la charnela de un anticlinal vergente al SO y muestra afloramientos que incluyen rocas desde el Jurásico hasta el Mioceno Medio. Este diapiro, al igual que algunos análogos del Mar del Norte, es un claro ejemplo de estructura salina desarrollada inicialmente por diferencias de carga litostática que durante el episodio de *rift* del Jurásico tardío - Cretácico Inferior evolucionó a diapiro. Posteriormente fue reactivado y estrangulado contractivamente cuando la Cuenca Vasco-Cantábrica se invirtió e incorporó al orógeno pirenaico entre el Santoniense tardío y el Mioceno Inferior. Las secuencias halocinéticas definidas a partir de la cartografía (Santoniense hasta el Mioceno Inferior) registran la evolución de la estructura salina como diapiro pasivo durante la etapa compresiva. Durante el Mioceno Inferior y Medio la deformación contractiva produjo la extrusión de un glaciar salino de 6 Km. de longitud dirigido hacia el S que cubre los materiales sincompresivos del Sinclinal de Villarcayo. La base de esta lámina de sal muestra una geometría en rampa en su parte más meridional indicando una tasa de extrusión salina mayor a la tasa de sedimentación durante su emplazamiento.

Abstract

The knowledge of salt structures has substantially improved with the advances of seismic acquisition and processing techniques as well as with the improvements in analog and numerical modeling. However, field analysis of these structures is important to understand their real geometry and facies changes.

This work presents a field-based study of the Salinas del Rosío Diapir, a salt structure located on the Alavesa Platform (southern margin of the Basque-Cantabrian Basin). The diapir pierced the hinge of a SW-verging anticline and includes outcrops from Jurassic to Middle Miocene rocks. As some analogues of the North Sea, the Salinas del Rosío Diapir is a clear example of salt structure that initially developed by lithostatic load differences and evolved to a diapir during the late Jurassic – Lower Cretaceous rifting. It was subsequently reactivated and squeezed when the Basque-Cantabrian Basin was inverted and incorporated into the Pyrenean orogen between late Santonian and Lower Miocene times. The halokinetic sequences record the evolution of this salt structure as a passive diapir during the contractional stage (Santonian to Lower Miocene). During the Lower and Middle Miocene the contractional deformation triggered the extrusion of a southwards directed 6 km-long salt sheet that covered the sincontractional materials of the Villarcayo Syncline. The base of this salt sheet shows a ramp geometry in its southernmost part depicting that salt extrusion was greater that the sedimentation rate during its emplacement.

Estructura, formación y reactivación del Margen Continental Noribérico (Golfo de Vizcaya)

The structure and the multi-stage evolution of the hyperextended North Iberian margin (Bay of Biscay)

P. Cadenas[1,2,3], G. Manatschal[1] y G. Fernández-Viejo[3]

1 Institut du Physique du Globe de Strasbourg, CNRS, Université de Strasbourg 67000 Strasbourg.
2 Institut de Ciènces del Mar, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 08003 Barcelona.
3 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo 33005 Oviedo. pcadenas@geol.uniovi.es

Palabras clave: sistemas de rift, transtensión, hiperextensión, reactivación compresiva, underthrusting.

Resumen

El Margen Continental Noribérico constituye un margen hiperextendido, no volcánico, estructurado durante tres eventos de rift Mesozoicos y la compresión Alpina posterior. El análisis e interpretación de una densa malla de perfiles sísmicos de reflexión 2D de alta calidad junto con sondeos y diagrafías, y la integración de modelos de velocidad previos, ha permitido identificar, describir y cartografiar los principales dominios estructurales, las estructuras extensionales y compresivas mayores, las unidades sin-rift, y las cuencas extensionales. Los resultados obtenidos muestran una amplia variabilidad estructural, resultante de la distribución y superposición de tres sistemas de rift: **1)** un sistema de edad Triásica, que comprende cuencas tipo graben y semi-graben delimitadas por fallas normales lístricas de alto ángulo; **2)** un sistema transtensivo, desarrollado desde Jurásico tardío al Barremiense, que incluye la Cuenca Asturiana, interpretada como una cuenca de pull-apart; **3)** un sistema hiperextendido, amplio, desarrollado entre el Aptiense y el Cenomaniense, que incluye dos dominios diferenciados, delimitados por sistemas de despegues extensionales. La arquitectura de cada sistema de rift condicionó los eventos extensionales posteriores, dando lugar a la formación de un margen segmentado con una compleja estructura 3D que controló posteriormente los estilos y la distribución de la deformación compresiva. Este trabajo aporta datos clave para comprender eventos y procesos extensionales independientes desarrollados durante el Mesozoico, y su influencia en la reactivación Alpina del sistema de rift del norte de Iberia. Además, los resultados obtenidos permiten proponer y evaluar nuevos modelos cinemáticos y definir la interrelación entre los procesos de reactivación del Margen Noribérico y el levantamiento de la Cordillera Cantábrica.

Abstract

This work presents a characterization of the structure and the multi-stage evolution of the hyperextended North Iberian margin from Triassic to present. The North Iberian margin corresponds to a magma-poor hyperextended margin which developed during three Mesozoic rift events and a subsequent Alpine compressional reactivation. Based on the interpretation of a dense set of high quality 2D seismic reflection lines together with boreholes and published velocity models, we describe and map structural domains, major extensional and compressional structures, the syn-rift units and the major rift-related basins. Our results show that the margin presents a segmented architecture resulting from the spatial distribution and overprint of three rift systems: **1)** *a diffuse and widespread of Triassic age, with classical fault-bounded half-graben basins;* **2)** *a narrow and deep, Late Jurassic to Barremian transtensional system, including the pull-apart Asturian Basin; and* **3)** *a widely distributed Aptian to Cenomanian hyperextended system, including extensional detachment faults that led to the development of two distinctive domains. Each rift system guided successive ones resulting in a complex and segmented 3D template that controlled subsequent compression. This study provides key insights to constrain single rift events, related processes, and the reactivation within the multi-stage north Iberian rift system and enables to propose and test new kinematic models and constraint the link between reactivation and the uplift history of the Cantabrian Mountains.*

Pliegue recumbente dúctil (fold nappe) en el Cretácico superior del macizo de Eaux-Chaudes (Pirineos centro-occidentales).

Ductile recumbent fold nappe in Upper Cretaceous of the Eaux- Chaudes massif (west-central Pyrenees).

N. Caldera[1], A. Griera[1], P. Labaume[2], M. Guardia[1], A. Lahfid[3], A. Teixell[1]

1 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona). norbert.caldera@uab.cat
2 Géosciences Montpellier, Université de Montpellier, CNRS, Université des Antilles, 34095 Montpellier, France.
3 Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France

Palabras clave: Orogenia Alpina, pliegue recumbente, deformación dúctil, SEM-EBSD, RSCM paleotermometría

Resumen

Se presenta una estructura geológica singular, identificada por primera vez en las rocas Mesozoicas de la Zona Axial occidental (macizo de Eaux-Chaudes), desarrollada en condiciones de metamorfismo de bajo grado durante la orogenia Alpina en los Pirineos. La nueva cartografía geológica ha permitido reinterpretar la estructura como un pliegue recumbente de escala quilométrica que desarrolla una zona de cizalla dúctil en el flanco inverso. Esta interpretación difiere de la propuesta en trabajos anteriores como un sistema de cabalgamientos complejos. La deformación dúctil a escala de afloramiento queda reflejada por la presencia de foliación milonítica, lineación de estiramiento, así como pliegues y porfiroclastos asimétricos. Los resultados de la difracción en microscopio electrónico de retrodispersión (SEM-EBSD) y observaciones al microscopio óptico evidencian orientaciones preferentes cristalográficas y de forma (CPO, SPO), microestructuras S-C, y una disminución del tamaño de grano en la matriz (9 – 28µm). Todas las estructuras observadas indican un sentido de transporte del manto hacia el sur. Los resultados de temperatura de espectroscopia Raman de materia orgánica (RSCM) muestran unos valores de temperatura inesperadamente elevados para calizas del Cretácico Superior (310 – 350ºC), aunque coherentes con las fabricas observadas en las muestras recristalizadas. Los rasgos de deformación y temperatura observados son muy similares y comparables a los mantos Helveticos de los Alpes, y sugieren un gradiente geotérmico elevado posiblemente persistente desde el rifting Cretácico durante los primeros estadios de la Orogenia Alpina.

Abstract

We present a singular geological structure, identified for the first time in the Mesozoic rocks of the western Axial Zone (Eaux-Chaudes massif), developed in a low-grade metamorphism during the Alpine orogeny in the Pyrenees. New geological mapping allows reinterpreting the structure as a km-scale recumbent fold nappe with a large ductile stretched overturned limb developing a shear zone. This interpretation differs from the complex thrust duplex structure proposed in previous works. At outcrop scale ductile deformation is evidenced by the development of mylonitic foliation, stretching lineation, as well as folds and asymmetric porphyroclasts. The results of the electron backscattered diffraction (SEM-EBSD) and observations in the optical microscope evidence crystallographic and shape preferred orientations (CPO, SPO), S-C type fabrics, and a matrix decreasing grain-size range (9 – 28µm). All the structures observed indicate top-to-the-south sense of shear. The values of peak temperature by Raman spectroscopy of carbonaceous material (RSCM) were unexpectedly high for rocks of Upper Cretaceous age (310 – 350ºC), although consistent with the observed recrystallized limestone fabrics. The observed ductility and metamorphic temperature bear similarities with the Helvetic nappes of the Alps, suggesting a high geothermal gradient persisting from the Cretaceous rifting into the early stages of the Pyrenean orogeny.

Las remagnetizaciones interpliegue como herramienta cuantitativa de restitución en cuencas sedimentarias invertidas

Interfolding remagnetizations as a restitution quantitative tool in inverted sedimentary basins

P. Calvín[1], A. M. Casas-Sainz[2], J.J. Villalaín[1], T. Román-Berdiel[2], T. Mochales[3], P. Santolaria[4], B. Moussaid[5], A. Gil[2], B. Oliva[6], A. Pocoví[2], S. Torres[1], E. Izquierdo[7], F. Bógalo[1], I. Falcón[1], V.C. Ruiz-Martínez[8], H. El Ouardi[9], E. Sánchez-Moreno[1], M. Marcén[2], Á. Herrejón[1], Á. Jimenez[1].

1 Departamento de Física, Universidad de Burgos, 09006 Burgos, Spain. pcalvin@ubu.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Geotransfer-IUCA, Universidad de Zaragoza, 50009 Spain
3 Planageo-IGME, Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, 50006 Zaragoza, Spain
4 Departament de Ciències de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain
5 École Normale Supérieure Casablanca (ENS), Université Hassan II de Casablanca, Morocco
6 Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Spain
7 Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, TOTAL, Pau, France
8 Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
9 Dép. de Géologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Morocco

Palabras clave: Remagnetización interpliegue, restitución palinspástica, modelo 3D, cuenca invertida

Resumen

Las remagnetizaciones interpliegue, aquellas que son adquiridas entre dos eventos distintos de deformación, son comunes en cuencas sedimentarias invertidas, y pueden ser usadas para la restitución de la estructura al momento de la adquisición de la remagnetización (Villalaín *et al.*, 2016).

Esta técnica está siendo aplicada en el Alto Atlas Central (Marruecos) en el marco del proyecto de investigación CGL2016-77560-C2-P, cuya finalidad es la reconstrucción palinspastica 3D (al periodo pre-compresivo), de un área de ~300 x 120 km. Para ello contamos con datos procedentes de 891 estaciones paleomagnéticas, a las que se añaden otras 1019 estaciones de buzamiento. A partir de dichos datos, la cartografía geológica existente, y constreñidos por datos geofísicos, se han realizado 22 cortes geológicos mostrando la estructura actual, para su posterior restitución al periodo pre-compresivo. Ambos conjuntos de cortes geológicos son la base para la realización de sendos modelos 3D, mostrando la estructura actual y la precompresiva.

Abstract

The interfolding remagnetizations are those acquired between two deformational stages, and they are common in inverted sedimentary basins. They can be used as a tool to restore the structure at the remagnetization time (Villalaín *et al.*, 2016).

This technique is used in the Central High Atlas (Morocco) in the frame of the CGL2016-77560-C2-P research project. The goal of this project is the construction of a 3D palinspastic model of the region (~300 x 120 km), showing the precompressive structure. For that, 891 paleomagnetic sites and 1019 structural sites support 22 present-day geological cross-sections (also constrained by geophysical data) that are subsequently restored to the pre-compressional stage. Both sets of cross-sections are the base for the present-day and the restored 3D models.

Referencias

Villalaín, J.J., Casas-Sainz, A.M., Soto, R., 2016. *Geol. Soc. London, Spec. Publ*. 425, 233–246.

Migración de fluidos en la deformación supra-sal de la Falla de Jumilla (Zona Prebética)

Fluid migration in the supra-salt deformation of the Jumilla Fault (Prebetic Zone)

I. Cantarero[1,3], D. Cruset[2], F.O. Escosa[4], T. Espinoza[1], A. Travé[1,3]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. i_cantarero@ub.edu, taniaespinoza72@gmail.com, atrave@ub.edu.
2 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona,. dcruset@ictja.csic.es
3 Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona (UB)
4 Terractiva Consulting S.L. Ronda Sant Pere 16, 08019 Barcelona. fredescosa@gmail.com

Palabras clave: falla normal, migración de fluidos, diapirismo, geoquímica.

Resumen

Este trabajo se centra en la circulación de fluidos registrada en la deformación supra-sal generada por la falla de Jumilla en los carbonatos marinos del Jurásico superior. Esta deformación consiste en fallas normales asociadas con brechas que están cementadas por tres generaciones de calcita (Cc1 a Cc3) y por óxidos de manganeso, que precipitan entre Cc2 y Cc3. Los análisis geoquímicos de $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, "clumped isotopes", $^{87}Sr/^{86}Sr$ y tierras raras de los cementos han permitido establecer el origen de los fluidos. Durante las etapas iniciales de propagación de la falla se produjo una intensa brechificación cementada por la calcita Cc1. Esta calcita precipitó a 33-65ºC a partir de aguas de formación ($\delta^{18}O_{fluido}$ entre -4.6 y +1.1‰VSMOW) que habían interaccionado fuertemente con las evaporitas triásicas ($^{87}Sr/^{86}Sr$ entre 0.707789-0.708108) mostrando la conexión entre la deformación sub-sal y supra-sal. La progresiva propagación de la falla hacia superficie provocó una nueva brechificación y cataclasis y permitió la entrada de fluidos meteóricos ($\delta^{18}O_{fluido}$ entre -4.6 y -3.8‰VSMOW) de baja temperatura (20ºC) a partir de los cuales precipitaron Cc2, Cc3 y los óxidos de manganeso, los cuales indican un cambio en las condiciones redox.

Abstract

This work is focused on the fluid circulation registered in the supra-salt deformation related to the Jumilla Fault in the Upper Jurassic marine carbonates. This deformation consists of normal faults associated with breccias cemented by three generations of calcite cement (Cc1 to Cc3) and by manganese oxides, which precipitate between Cc2 and Cc3. The geochemical analyses of $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, clumped isotopes, $^{87}Sr/^{86}Sr$ and REE+Y of the cements have allowed us to establish the origin of the fluids. Calcite Cc1 precipitated from formation waters ($\delta^{18}O_{fluid}$ from -4.6 to +1.1‰VSMOW) at 33-65ºC with a high interaction with the Triassic evaporites ($^{87}Sr/^{86}Sr$ between 0.707789-0.708108) during the onset of fault propagation and brecciation, showing the coupling between the sub-salt and supra-salt deformation. The further upward propagation of the fault caused a new brecciation and cataclasis and allowed the input of meteoric fluids ($\delta^{18}O_{fluid}$ from -4.6 to -3.8‰VSMOW) at low temperatures (20ºC) from which calcite cements Cc2 and Cc3 and manganese oxides precipitated, the latter indicating a change in the redox conditions of the fluid.

Afar Triple Junction (Ethiopia); Review & Open Questions.
Afar Punto Triple (Ethiopia): Revision & Preguntas por Resolver.

R. Carbonell[1], P. Ayarza[2], F. Tornos[3], J.R. Hanchar[4], M.T.D. Hanchar[4]

1 CSIC-Institute of Earth Sciences Jaume Almera, Barcelona, Spain (ramon.carbonell@csic.es)
2 Department of Geology, University of Salamanca, Spain (puy@usal.edu)
3 CSIC-Institute of Geosciences, Madrid, Spain (f.tornos@csic.es)
4 Earth Sciences, Memorial University, Newfoundland, Canada (jhanchar@mun.ca)

Keywords: *triple junction, rift, crustal structure, volcanism. Mantle plume*

Abstract

The Afar depression constitutes one of the best exposed triple junctions on Earth where to address the specific details of continental breakup and associated processes (extensional tectonics, volcanism, hydrothermalism, early stage mineral systems, etc). The general view of this specific geodynamic scenario is that it accommodates the movement of three continental plates that diverge on a sphere. A large number of processes take place in such scenario and in the Afar depression they can be addressed in order to asses a number of unresolved issues. There is a lack of knowledge on: i) how and where the strain accumulates before breakup; ii) the architecture of the crust and its transition from thick continental crust to extended crust and, to fully oceanic crust; iii) the extension and significance of the rhyolite outcrops; iv) the interactions of salt and underlying magmas and, v) how is the contrasting topography supported. Surface outcrops, geologic structures, hydrothermal systems, and geomorphology suggest a strong involvement of subsurface intrusions at different crustal levels in this active, extensional setting. This suggests that the breakup is mostly based on dike intrusion and magma supply. A number of processes generated by a mantle plume. Nevertheless there is very limited knowledge on the geometry of intrusions and their extension how they interact with the overlying ~2000 meters of salt. A relatively rapid evolution of the active volcanic centers has been documented which seems to suggest a decrease on the level of activity of the extensional tectonics. Triple junction environments involve extensional tectonic systems, emplacement of magmas and development of hydrothermal systems all fundamental ingredients in the generation of mineral deposits. In short, the Afar depression is the only place where hydrothermal processes that take place in oceanic ridges can be studied in a subaereal environment in this case in the form of steam. And also the role that the interaction of magmatic fluids with evaporitic environments play in the salinity increase and in the transport of metals to form "brine pools"

Aknowledgements:

Support for this research has been provided by grants: EIT KIC-Raw Materials 17024_20170331_92304; Generalitat de Catalunya 2017SGR1022, and Spanish State Research Agency EIN2019-103329

Reapretamiento de estructuras variscas durante la compresión alpina en la Zona Axial Pirenaica (Valle de Arán, Lleida)

Tightening of variscan structures during the Alpine shortening in the Pyrenean Axial Zone (Aran valley, Lleida)

P. Clariana[1], J. García-Sansegundo[2] y A. Rubio-Ordóñez[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. p.clariana@igme.es
2 Departamento de Geología. C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo.

Palabras clave: Deformación Alpina, estructuras variscas, sill Pérmico medio, Zona Axial pirenaica

Resumen

La importancia de las estructuras alpinas que afectan a las rocas paleozoicas de la Zona Axial pirenaica es objeto de debate desde hace tiempo, debido a la escasez de marcadores estratigráficos post-variscos que permitan conocer la cantidad y características de la deformación interna dentro de las láminas cabalgantes alpinas. En sectores meridionales y occidentales de la Zona Axial, donde las rocas mesozoico-terciarias y las paleozoicas con deformación varisca se deforman conjuntamente durante la orogenia alpina, es posible estimar el grado de reapretamiento de las estructuras variscas durante el ciclo alpino. Asimismo, en estos sectores, afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas, depositadas en las cuencas extensionales estefano-pérmicas, relacionadas con el magmatismo Pérmico, que post-datan la deformación varisca (Rodríguez-Méndez *et al.*, 2016). En el Valle de Arán, situado en la parte central de la Zona Axial pirenaica, se ha encontrado un sill riolítico de edad Pérmico medio, intruyendo las pizarras del Silúrico. Tanto el sill como las pizarras silúricas se encuentran afectados por pliegues a los que se asocia una crenulación con desarrollo regional, lo que permite asignar una edad alpina a estas estructuras que históricamente habían sido consideradas variscas.

Abstract

The importance of Alpine overprinting on Paleozoic rocks of the pyrenean Axial Zone has been debated since the seventies. The scarce of post-variscan stratigraphic levels complicates to know degree and features of inner alpine deformation within alpine thrust sheets. In the west and southern sectors of the Axial Zone, Mesozoic-Cenozoic rocks and Paleozoic rocks with variscan deformation were jointly deformed during Alpine orogeny. So, the tightening of variscan structures during alpine cycle can be estimate. Moreover, in these sectors, volcanic and volcaniclastic rocks crop out, which was deposited in Stephanian-Permian extensional basins. These rocks are related with the Permian magmatism and postdate the variscan deformation (Rodríguez-Méndez et al., 2016). In the Aran valley, located in the central part of the Pyrenean Axial Zone, a middle Permian riolitic sill has been found intruding in Silurian shales. Both, sill and shales, are folded with an associated regional crenulation. This fact allows us to attribute an alpine age for these structures, which have been traditionally considered alpines in age.

Referencias

Rodríguez-Méndez, L., Cuevas, J. and Tubía, J.M. (2016). Post-Variscan basin evolution in the Central Pyrenees. Insights from Stephanian-Permian Anayet Basin. *Comptes Rendus Geoscience* 348, 333 – 341.

Variaciones laterales en el basamento y cobertera de los Pirineos Centrales

Basement and cover lateral variations in the Central Pyrenees

P. Clariana[1], R. Soto[1], C. Ayala[2], A.M. Casas-Sainz[3], T. Román-Berdiel[3], A. Margalef[4], B. Oliva-Urcia[5], E.L. Pueyo[1], E. Beamud[6], C. Rey-Moral[7], F. Rubio[7]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. p.clariana@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. Actualmente de visita en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera-CSIC, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona.
3 Geotransfer (IUCA). Universidad de Zaragoza, Departamento Ciencias de la Tierra, C/ Pedro Cerbuna, 12 50009 Zaragoza.
4 Institut d'Estudis Andorrans (IEA), Av. Rocafort, 21, AD600 Sant Julià de Lòria, Andorra.
5 Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. Geología y Geoquímica, C/ Tomás y Valiente 7, 28049 Madrid
6 Unitat de Paleomagnetisme (CCiTUB-CSIC), ICT Jaume Almera, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona.
7 Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid

Palabras clave: cortes geológicos seriados, modelización gravimétrica 2.5 D, Pirineos Centrales.

Resumen

La deformación Alpina en los Pirineos Centrales dio lugar a un cinturón de pliegues y láminas de cabalgamiento que involucran al basamento paleozoico y a la cobertera mesozoico-cenozoica, esta última despegada sobre las evaporitas del Triásico. La zona de estudio abarca la mitad meridional de la Zona Axial, desde el granito de la Maladeta al oeste hasta el granito de Andorra-Mont Louis al este, así como la parte más septentrional de la Zona Surpirenaica. Este trabajo tiene como objetivo analizar las variaciones laterales de la estructura del subsuelo de la zona de estudio, en base a la estructura ya establecida a partir de trabajos geológicos y geofísicos previos. Para ello se han elaborado seis cortes geológicos seriados partiendo de dichos trabajos, de cartografías geológicas previas e introduciendo datos propios; también se ha llevado a cabo la recopilación y homogenización de los datos gravimétricos existentes (base de datos SITOPO (proyecto TopoIberia) y base de datos del ICGC), y la adquisición de más de 1000 nuevos datos; finalmente se han realizado 231 medidas de densidad de todas las litologías que afloran en el área estudiada. Todo ello para elaborar los mapas de anomalías de Bouguer y anomalía gravimétrica residual de la zona, así como la modelización gravimétrica 2.5 D de los cortes geológicos realizados. Los mapas gravimétricos y los cortes seriados obtenidos permiten observar variaciones laterales relacionadas con (i) la existencia o no de rocas evaporíticas, (ii) variaciones de la geometría en profundidad de los cuerpos ígneos tardi-variscos y (iii) variaciones laterales en la geometría de las láminas de cabalgamiento alpinas que involucran al basamento.

Abstract

The Alpine deformation in the Central Pyrenees generated a fold-and-thrust belt involving Paleozoic basement and decoupled Mesozoic-Cenozoic cover units detached on the main décollement level located in the Triassic evaporites. The study area comprises the southern sector of the Axial Zone from la Maladeta granite in the west to the Andorra-Mont Louis granite to the east as well as the northernmost part of the South Pyrenean Zone. The goal of this work is to analyse lateral variations of subsurface structure of the study area, which was established based on previous geological and geophysical works. With this aim, six serial geological cross sections were built using available geological maps and previous published works together with new data. More than 1000 new gravity stations were acquired and harmonized together with available data from SITOPO database (TopoIberia project) and ICGC database as well as 231 new density measurements taken from all rock types outcropping in the study area. Integration of all this information allowed us to calculate the Bouguer and residual gravity anomaly maps and to carry out 2.5 D gravity modelling along the six cross sections. Both, maps and cross sections, show lateral variations related to (i) occurrence or absence of Triassic evaporites, (ii) different geometry at depth of the Late Variscan igneous bodies and (iii) geometric lateral changes of the alpine basement-involved thrust sheets.

Inyecciones clásticas en la base del manto del Esla (Zona Cantábrica, NO de Iberia)

Quartz-sand injectites at the base of the Esla Nappe (Cantabrian Zone, NW Iberia)

M.I. de Paz-Álvarez[1*], S. Llana-Fúnez[1] y J.L. Alonso[1]

1 Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005, Oviedo *midepaz@geol.uniovi.es

Palabras clave: Inyectitas, Cabalgamientos, Rocas de falla, Presión de fluido, Zona Cantábrica

Resumen

El manto del Esla está situado en el cinturón de pliegues y cabalgamientos de la orogenia Varisca en el noroeste de Iberia (Zona Cantábrica). Está formado por una casi completa sucesión sedimentaria paleozoica. Su desplazamiento se ha calculado en unos 19 km (Alonso, 1987), y la deformación asociada al mismo está registrada en una delgada zona de cizalla (*ca.* 2–3 m) situada en su base. En ella se encuentran varios tipos de rocas de falla, incluyendo cataclasitas y ultracataclasitas (Arboleya, 1989), formadas mediante cataclasis y disolución por presión durante el movimiento del manto.

El rellano y la rampa de bloque superior fueron intruídos por diques y *sills* clásticos formados por granos de cuarzo y fragmentos de caliza, inyecciones que alcanzan unas decenas de metros por encima del cabalgamiento, con un nivel basal continuo presente a escala del manto. Las inyecciones aprovecharon discontinuidades preexistentes del bloque superior, tales como superficies de estratificación, cabalgamientos, diaclasas y estilolitos. La orientación de los diques es consistente con un evento de inyección en condiciones de bajo esfuerzo diferencial y alta presión de fluido. La escasez de deformación por cizalla simple en las inyectitas sugiere que el proceso de inyección tuvo lugar en un momento tardío del desplazamiento del manto. Se interpreta como el resultado de un cambio en el régimen de esfuerzos actuando en la base del manto, como consecuencia de la transferencia del desplazamiento a rellanos inferiores a partir de la rampa de bloque inferior.

Abstract

The Esla Nappe is located in the foreland and thrust belt of the Variscan Orogen in NW Iberia (Cantabrian Zone). It is composed of an almost-complete Palaeozoic sedimentary succession. Its displacement was calculated in the order of 19 km (Alonso, 1987), and the associated strain is recorded in a thin (ca. 2–3 m) shear zone located at its base (Arboleya, 1989). A variety of fault rocks are found in it, including cataclasites and ultracataclasites, formed by cataclasis and pressure solution during the movement of the thrust sheet.

The hangingwall flat and ramp were intruded by clastic dykes and sills formed by a mixture of quartz sand grains and limestone fragments, reaching some tens of meters above the thrust surface, with a continuous basal level present at the nappe-scale. These injections followed pre-existing discontinuities in the hangingwall, including bedding planes, thrusts, joints and stylolites. The orientation of the dykes is consistent with an injection event taking place in conditions of low differential stress and high fluid pressure. The scarcity of simple shear strain recorded in the injectites suggests that the injection process took place in a late stage of the emplacement history of the nappe. It is interpreted as a result of a change in the stress regime at the base of the nappe following a transfer of displacement into other thrust surfaces underneath ahead of the footwall ramp.

Referencias

Alonso, J.L. (1987). *Journal of Structural Geology* 9 (8), 969-983.

Arboleya, M. L. (1989). *Annales Tectonicae* 3 (2), 99-109.

Cambrian-Ordovician Transition in the Northern Domains of Central-Iberian Zone; Tectonics Constrains

Transición Cámbrico-Ordovícico en los Dominios del Norte de la Zona Centro-Ibérica; Restricciones Tectónicas

R. Dias[1], C. Coke, R. Teixeira[2], A. Ribeiro[3], F. Amara[1], F. Corfu[4]

1 Earth Sciences Institute (ICT), Pole of the University of Évora and Dep. Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora (ECTUE), Largo dos Colegiais, 2-Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal; rdias@uevora.pt
2 Geosciences Centre, University of Coimbra and Department of Geology, University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal
3 Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Instituto Dom Luiz (IDL), Ed. C1, Piso 1, 1749-016 Campo Grande, Lisboa, Portugal
4 Department of Geosciences, University of Oslo, PB 1047 Blindern,N-0316 Oslo, Norway

Abstract: *In the northern sectors of the Central-Iberian Zone the transition of the Lower Ordovician over the underlying sequences always shows evidence of the Toledanian phase. The effects of this pre-Armorican Quartzites deformation are highly heterogeneous. In most of the cases it is only shown by an important erosive level giving rise to a disconformity, while in other situations it corresponds to a strong angular unconformity where the older sequences could even present a reversal polarity. Such geometrical relations, that are common in the Central-Iberian Zone, could not be explained by the rotation of the layers in the vicinity of normal faults related to an extensional regime. This suggests that the Toledanian phase was a transient inversion in the general extensive regime that predominates in the northern margin of Iberia during most of the Lower Paleozoic.*

Keywords: Toledanian phase, Central-Iberian Zone, Transient inversion.

Resumen: En los sectores del norte de la Zona Centro-Ibérica, la transición del Ordovícico inferior sobre las secuencias subyacentes siempre muestra evidencia de la fase Toledana. Los efectos de esta deformación pre-Cuarcitas Armoricanas son altamente heterogéneos. En la mayoría de los casos, solo se muestra por un nivel erosivo importante que da lugar a una disconformidad, mientras que en otras situaciones corresponde a una fuerte discordancia angular donde las secuencias más antiguas frecuentemente presentan inversión de polaridad. Estas relaciones geométricas, que son comunes en la Zona Centro-Ibérica, no podrían explicarse por la rotación de las capas próximo de fallas normales relacionadas con un régimen extensional. Esto sugiere que la fase Toledana fue una inversión transitoria en el régimen general extensivo que predominó en el margen norte de Iberia durante la mayor parte del Paleozoico Inferior.

Palabras clave: Fase Toledana, Zona Centro Ibérica, Inversión transitoria

INTRODUCTION

One of the main features of the Central-Iberian Zone (CIZ) is the so-called Toledanian unconformity of the basal Ordovician over the Cambrian or Upper Proterozoic rocks (Gutiérrez-Marco et al., 2002). The nature of this unconformity is important to understand, because it is related to a crucial moment in the northern Gondwana geodynamics, when a generalized stretching occurs (Ribeiro et al., 2007). Nevertheless the pre-Ordovician deformation is poorly known, not only due to the strong Variscan overprint, but also to the absence of related metamorphic foliations. This led to the coexistence of two opposed interpretations for this pre-Variscan event that try to explain the unconformity by:

– *an Upper Cambrian extension along the northern Gondwana continental margin, leading to the rotation of the pre-Ordovician formations in the vicinity of normal faults (Dias da Silva, 2014);*

– *a transient inversion in the northern Gondwana margin probably related to the migration of the depocenter (Romão et al, 2005).*

This work tries to contribute to the discussion of the nature of the Toledanian unconformity based on detailed structural mapping of chosen northern sectors of the CIZ enhancing its geometry and kinematics.

THE GEOMETRY OF THE TOLEDANIAN UNCONFORMITY

The pre-Ordovician deformation in the northern sectors of the CIZ (Fig. 1A) is highly heterogeneous (Ribeiro et al., 1990). Such diversity is well expressed in the pattern of the Toledanian unconformity, which range from a disconformity to an angular unconformity, either of low or high angle (Coke et al., 2000). Thus, any model trying to

understand such complexity should be based in data from different key-sectors. Three main areas have been chosen due to their structural behaviour and well outcropping conditions: Marão (Fig. 1B), Southern Poiares (Fig. 2C) and Northwest Freixo de Espada-à-Cinta (Fig. 1D).

In the Marão Mountain it is possible to emphasize the coexistence of two main geometrical relations between the pre-Ordovician and the Ordovician formations:

– *A disconformity relation, as in the Freitas sector (figure 1B1), with sub parallelism between both formations. Nevertheless the similar geometries of the layers, the transition between both periods is marked by an important erosional surface related with a strong temporal gap, as proven by the presence in the Lower Ordovician basal conglomerates of pebbles of the Cambrian formation.*

– *A strong angular unconformity where the Cambrian layers have already been inverted by the Toledanian event before the deposition of the Ordovician basal layers, as happen in the Póvoas sector (figure 1B2).*

In the southern limb of the Poiares syncline the situation is similar to the Marão one, with the angular inconformity restricted to localized domains (figure 1C). Also here the pre-Ordovician layers are usually reversed by the Toledanian deformation event.

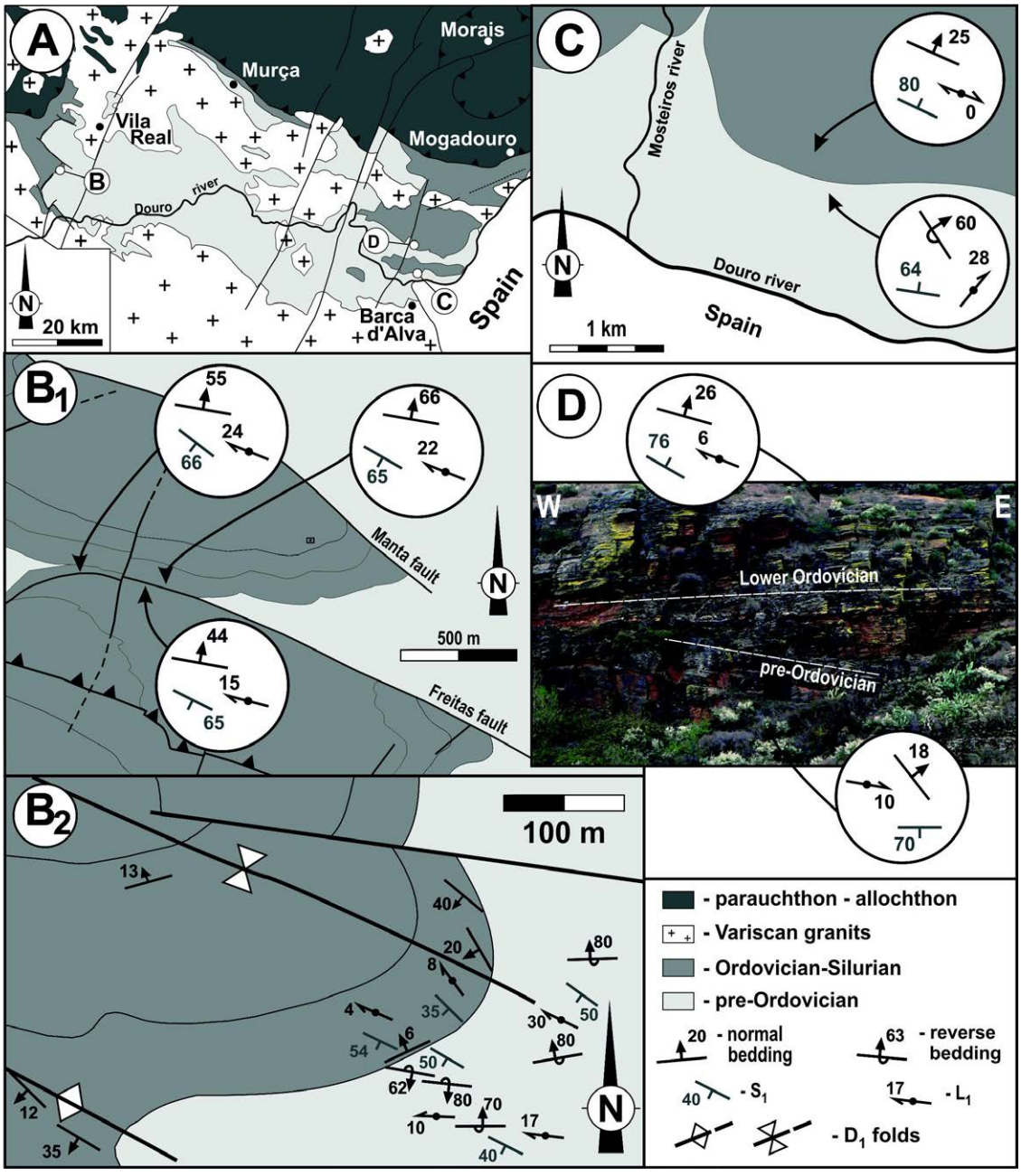


FIGURE 1- Toledanian unconformity in northern sectors of the Central-Iberian Zone: A- Simplified geological map with location of the studied domains; B- The Marão sectors of Freitas disconformity (B1) and Póvoa angular unconformity (B2); C- The southern Poiares syncline sector; D- The Toledanian unconformity in the southern limb of Moncorvo syncline.

W of Freixo de Espada-à-Cinta, in the Southern limb of the Moncorvo syncline (Dias et al., 2013), the Toledanian unconformity is well expressed as a very low angle unconformity (Fig. 1D), indicating a weak pre-Ordovician deformation. Such structural pattern make difficult to emphasize the Toledanian unconformity in situations of poor outcrop conditions.

When the observed Toledanian structures of the Douro basin are restored to their pre-Variscan geometry, the combination of the localized reverse limbs, with the flat lying pervasive sectors, indicates a SW vergence of the Toledanian structures. Such kinematics is compatible with the S facing of the major Sr[a] do Viso thrust (Silva and Ribeiro, 1985), which is also been considered a major structure developed during the transient inversion (Romão et al., 2005).

GENETICAL MODELS FOR THE TOLEDANIAN UNCONFORMITY

The geometrical relation between the Pre-Ordovician and the Lower Ordovician formations is very heterogeneous, ranging from parallelism / very low obliquity (<10º) to high angular unconformity. The first situation is widespread in northern CIZ, showing that the Toledanian deformation is very weak in most of the Douro basin. However, it is possible to find narrow NW-SE to NNW-SSE bands where this deformation is very strong. Nevertheless, there was never the development of a coeval cleavage which indicates that the Toledanian deformation was achieved in a high structural level. As the strong deformation seems restricted to these narrow bands, it seems that the Toledanian event mostly results from the activity of faults with this trend. As in the more deformed sectors of Poiares and Marão the pre-Ordovician beds have been often overturned prior to the Lower Ordovician deposition, such strong rotation (>100º) could are difficult to explain by space problems in the vicinity of normal faults (e.g. rollover anticlines). This seems to indicate that the transient inversion has been the main process in the formation of the Toledanian unconformity and the high strain bands of Poiares and Marão are related to Toledanian thrusts with a SW facing.

ACKNOWLEDGEMENTS

Rui Dias acknowledges the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT), under contract with FCT (the Portuguese Science and Technology Foundation; UID/GEO/04683/2013).

REFERENCES

Coke, C., Dias, R., Ribeiro, A. (2000): Evolução Geodinâmica da bacia do Douro durante o Câmbrico e o Ordovícico; um exemplo de sedimentação controlada pela tectónica. *Comum. Inst. Geol. Min.*, 87, 5-12.

Dias da Silva, Í. (2014): Geología de las Zonas Centro Ibérica y Galicia – Trás-os-Montes en la parte oriental del Complejo de Morais, Portugal/España. Nova Terra, Coruña, Instituto Universitario de Geología "Isidro Parga Pondal" - Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, 45, 424 p.

Dias, R., Ribeiro, A., Coke, C., Pereira, E., Rodrigues, J., Castro, P., Moreira, N., Rebelo, J. (2013): Evolução estrutural dos sectores setentrionais do autóctone da Zona Centro-Ibérica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 73-147.

Gutiérrez-Marco, J., Robardet,M., Rábano, I., Sarmiento, G., San José Lancha, M., Herranz Araújo, P., Pieren Pidal, A. (2002): Ordovician. In: W. Gibbons & T. Moreno, (Eds.), *The Geology of Spain*, The Geological Society, London, 31-49.

Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., Pedro, J. (2007): Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics, 26/6, Art. Nº TC6009, doi: 10.1029/2006TC002058, 24 p.

Romão, J., Coke, C., Dias, R., Ribeiro, A. (2005): Transient inversion during the opening stage of the Wilson cycle "Sardic phase" in the Iberian Variscides – stratigraphic and tectonic record. Geodinamica Acta, 18/2, 115-121.

Silva, A., Ribeiro, A. (1985): Thrust tectonics of Sardic Age in tthe Alto Douro Region (Northeastern Portugal). Comun. Serv. Geol. Portugal 71, 151-157.

La influencia de los modelos cinemáticos en el análisis de tectonitas

The influence of the kinematic models on the analysis of tectonites

M. Díaz-Azpiroz[1], C. Fernández[2], D.M. Czeck[3], E. Druguet[4] y J. Carreras[4]

1 Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, 41013 Sevilla. mdiaazp@upo.es
2 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, 21007 Huelva. fcarlos@uhu.es
3 Dpt. of Geosciences, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI 53211, USA. dyanna@uwm.edu
4 Dpt. Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona. elena.druguet@uab.cat

Palabras clave: análisis cinemático, deformación 3D, tectonitas, modelos cinemáticos, zonas de cizalla.

Resumen

El procedimiento más habitual cuando se analizan rocas deformadas dúctilmente (tectonitas y milonitas) es estudiar la sección perpendicular a la foliación milonítica y paralela a la lineación tectónica, asumiendo que contiene a los ejes X (largo) y Z (corto) del elipsoide de la deformación finita. Este método de trabajo se basa en las premisas, derivadas de aplicar el modelo cinemático de cizalla simple para la deformación en zonas de cizalla, de que (1) la deformación es plana y (2) el componente rotacional de la deformación queda restringido al plano XZ, que se considera por tanto como el plano de máxima asimetría (VNS, Vorticity Normal Section). Sin embargo, modelos cinemáticos más recientes que asumen deformaciones 3D y múltiples ejemplos naturales sugieren que la orientación de la VNS es independiente de la fábrica tectónica definida por foliación y lineación (Díaz-Azpiroz *et al.*, 2019). En efecto, ambos elementos dependen de la cinemática de la deformación que deriva de las condiciones de contorno (esencialmente, la relación angular entre las paredes de la zona de cizalla y el vector que describe el movimiento relativo entre ambos bloques) pero, si asumimos deformación estacionaria, la orientación de la VNS se mantiene constante en el tiempo con respecto a un sistema de referencia fijo en el borde de la zona de cizalla, mientras que la orientación del elipsoide de la deformación finita (con sus ejes XYZ y la fábrica tectónica resultante) rota a medida que se acumula la deformación. Por tanto, si se tiene la sospecha de que la deformación que se estudia podría no ser plana, la aproximación al estudio de las tectonitas asociadas debería huir del estudio rutinario de únicamente la sección XZ. En esos casos, determinar previamente la orientación de la VNS mediante métodos independientes debería ser, en sí mismo, parte del análisis cinemático en cuestión.

Abstract

The most common procedure when analyzing ductilely deformed rocks (tectonites and mylonites) is to study the section normal to the tectonic foliation and parallel to the tectonic lineation, which is generally assumed to contain the X (long) and Z (short) axes of the finite strain ellipsoid. This method relies on the assumptions, arisen from the application of the simple shear kinematic model, that (1) deformation is plane strain and (2) the rotational component of deformation is restricted to the XZ plane, which is thus considered as the section with maximum asymmetry (VNS, Vorticity Normal Section). However, more recent kinematic models assuming 3D deformation and several natural examples suggest that the orientation of the VNS and that of the finite strain ellipsoid are independent (Díaz-Azpiroz et al., 2019). Both are controlled by the kinematics of deformation derived from the boundary conditions (essentially, the angular relationship between the shear zone boundaries and the vector describing the relative movement between blocks) but, assuming steady-state deformation, the orientation of the VNS remains constant with time in relation to a fixed reference frame at the boundaries of the shear zone, whereas the finite strain ellipsoid (the XYZ axes and thus the resulting tectonic fabric) rotates its orientation with strain accumulation. Therefore, if we suspect that the deformation under analysis could be nonplanar, we should avoid the routine analysis of only the XZ section. Instead, in these cases, finding the orientation of the VNS via independent methods should be itself part of the kinematic analysis.

Referencias

Díaz-Azpiroz, M., Fernández, C. y Czeck, D.M. (2019) *Journal of Structural Geology* 125, 218-225.

Local embrittlement related to hydrothermal activity in the Cap de Creus ductile fold-and-shear belt

Fragilización local por actividad hidrotermal en el cinturón de plegamiento y cizallamiento dúctil de Cap de Creus

E. Druguet[1], D.M. Czeck[2] y J. Carreras[3]

1 Dpt. Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona. elena.druguet@uab.cat
2 Dpt. of Geosciences, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI 53211, USA. dyanna@uwm.edu
3 Sa Tórtora 8, 17488 Cadaqués, Girona. jordicarreras@me.com

Abstract: *The northern Cap de Creus mylonitic belt (Eastern Pyrenees) is characterized by the partitioning of an overall ductile transpression into coeval folding, ductile shearing and localized embrittlement. A particular situation exists where a complex fracture pattern develops in association with ductile folding and shearing. We demonstrate that local partitioning between fracture and ductile flow can eventually be related to syntectonic infiltration of hydrothermal fluids. The results are damage zones of localized fractures, veins, and associated hydrothermal alteration. Such fracture zones systematically formed at a low angle to the axial surfaces of contemporaneous folds, even at low degrees of shortening.*

Keywords: *fluid-rock interaction, fold, fracture, shear zone, vein*

Resumen: El cinturón milonítico septentrional de Cap de Creus (Pirineos orientales) se caracteriza por la partición de una transpresión globalmente dúctil en plegamiento y cizallamiento dúctiles y estructuras frágiles localizadas. Existe un caso particular en el que se desarrolla un patrón de fractura complejo asociado al plegamiento y cizallamiento dúctil. El presente estudio demuestra que la partición local entre fractura y flujo dúctil puede estar relacionada con la infiltración sintectónica de fluidos hidrotermales, dando como resultado zonas de fracturas localizadas, venas y alteración hidrotermal asociada. Dichas zonas de fractura se formaron sistemáticamente a un ángulo bajo con respecto a las superficies axiales de los pliegues contemporáneos, incluso a grados bajos de acortamiento.

Palabras clave: fractura, interacción roca-fluido, pliegue, vena, zona de cizalla

INTRODUCTION

The northern Cap de Creus peninsula (Eastern Pyrenees) is a worldwide reference area for the study of mid-crustal shear zones developed in previously foliated rocks (Carreras, 2001). This mylonitic belt is characterized by the partitioning of an overall ductile transpression into coeval folding, ductile shearing and localized embrittlement. The present work aims to decipher the possible role played by syntectonic fluids on the localization of brittle structures.

Fusseis et al. (2006) interpreted coeval brittle and ductile shears at Cap de Creus as due to crustal strength decrease with time and strain at the brittle-to-viscous transition. Druguet et al. (2009) accounted for a local extreme partitioning between ductile and brittle deformation due to local strong lithological contrasts. However, none of these studies are able to explain the case where a complex fracture pattern develops in association with ductile folding and shearing.

STRUCTURAL SETTING

In the Cap de Creus peninsula, two NW-SE trending mylonite belts exist. The Northern shear belt cuts across medium to high grade schists (Fig. 1) and the Southern shear belt cuts across Variscan granitoids. Both belts are separated by folded low grade metasedimentary rocks.

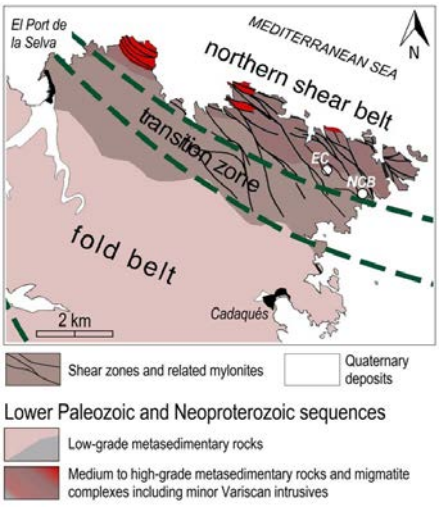


FIGURE 1. Schematic map of the study area in the northern Cap de Creus peninsula. NCB: North Cala Bona area; EC: Es Camell area.

These structures are related to the late Variscan D3 event, which developed at greenschists facies retrograding metamorphic conditions (Carreras, 2001).

A fold-and-shear domain of coeval folds and shear zones (transition zone of Carreras and Casas, 1987) is located in the zone of mid-grade metasedimentary rocks (Fig. 1). Folds are developed in metapsammites, metagreywackes, plagioclase-amphibole rocks and early quartz veins, while crenulations are common in metapelites. There are no signs of embrittlement associated to folding in most of the transition zone. A remarkable feature of folds is the progressive increase in fold tightening and asymmetry and the continuous reorientation of axial surfaces and hinges towards parallelism with the mylonitic foliation and stretching lineation associated to shear zones, inferring that D3 folds and shear zones formed by progressive deformation in a transpressional regime under overall ductile conditions.

A particular feature which has been observed in some areas, but so far not addressed, is the association of D3 shear zones and folds to axial-planar damage zones of localized fractures, veins, and associated hydrothermal alteration. The presence of veins and alteration bands makes one assume that fluid circulation was responsible for local embrittlement. Two localities have been selected for detail structural analysis: North Cala Bona and Es Camell areas.

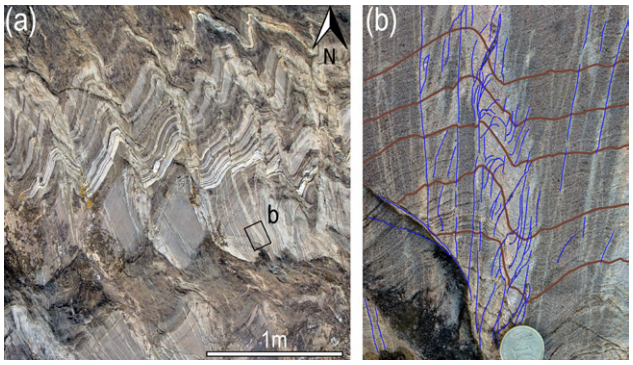


FIGURE 2. D_3 structures from North Cala Bona area. (a) Photograph of the central part of the outcrop where the metasedimentary sequence is affected by alteration and damage zones sub-parallel to fold axial planes. (b) Detail of the structures formed within a metapsammitic layer. Brown traces represent bedding/S_1 and blue traces are Riedel-type shears.

NORTH CALA BONA AREA

The presence of alteration bands and damage zones of discrete, brittle shears localized close to fold axial surfaces is a striking feature particular of North Cala Bona area (Fig. 2). Alteration haloes have a lighter color and correspond to a mineral compositional change (retrogression of biotite to chlorite-muscovite aggregates and sericitization of feldspar). The altered schists are also quartz-depleted. These bands are best developed across metapsammitic layers and along NW-SE trending stretched fold limbs with evidence of dissolution seal cleavage. Most of these alteration bands are associated with sub-parallel axial planar crenulation cleavage, predominant in the metapelites, and to fractures in the most competent rocks such as the metapsammites. Fractures patterns in metapsammites are predominantly made of small en-echelon Riedel-type dextral shears, slightly oblique to the alteration haloes and sheared fold limbs (Fig. 2b).

ES CAMELL AREA

In this area, located ≈1.5 km NW of North Cala Bona (Fig. 1), brittle structures and bleached alteration haloes also appear associated with asymmetric D_3 folds. Damage zones are also NNW-SSE trending with a predominant dextral shear sense, although some sinistral shears are also present at a low angle to the dextral ones (Fig. 3).

As in North Cala Bona, the described damage zones and alteration bands from Es Camell appear systematically along the NW-SE trending stretched fold limbs. A novelty here is that syn-D_3 quartz-feldspathic veins and joints are developed in association with shear fractures (Fig. 3). These quartz-feldspathic veins are compositionally similar to the larger pegmatite bodies which configure the pegmatite dyke swarm, intruded at the latest stages of D_2 deformation and previous to D_3 (Druguet, 2001).

Thus, the damage zones from Es Camell are structurally more complex than those at North Cala Bona, consisting of arrays of multiple discrete stepped shear fractures (mostly dextral) with associated joints and dilatant jogs filled with quartz-feldspathic veins.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The observed damage zones of localized fractures, alteration bands and, in some areas, associated quartz-feldspathic veins, are all clearly associated with the dominant D_3 folding and ductile shearing which characterizes the Cap de Creus fold-and-shear belt. All these brittle structures are preferentially developed along stretched fold limbs and sub-parallel to fold axial surfaces, even at low degrees of shortening. There is no clear cross-cutting relationship between folds and fracture zones, a fact which points towards localized and transient embrittlement during progressive folding and shearing (Fig. 4).

A preliminary microstructural analysis shows evidence of fluid flow and dissolution processes acting along the damage zones during D_3 deformation, which would have likely enhanced brittle fracturing. Thus, syntectonic infiltration of hydrothermal fluids caused localized embrittlement under overall ductile dextral transpression. Fluids could be residual from the magmatic-metasomatic event represented by the earlier intruded pegmatites and would have been infiltrated along sites of relative high strain such as the stretched fold limbs.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partly funded to E.D. by the Spanish Research Agency (Project PGC2018-100914-B-I00).

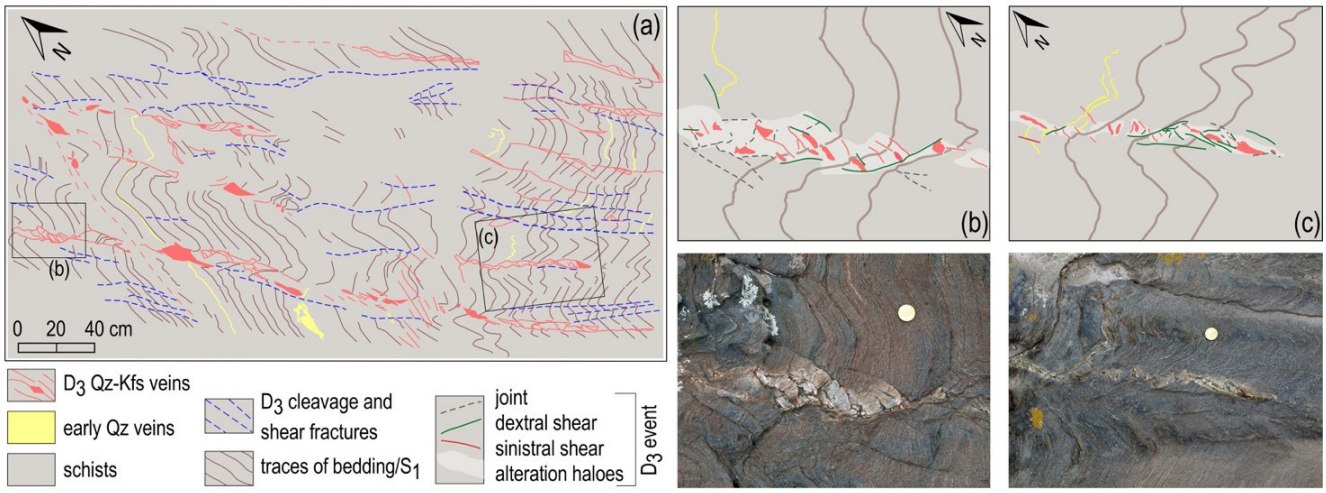


FIGURE 3. (a) Detail structural map of a domain of D3 folds and axial planar damage zones with syntectonic veins from Es Camell area. (b) and (c) Drawings and photographs of the axial planar damage zones indicated in (a).

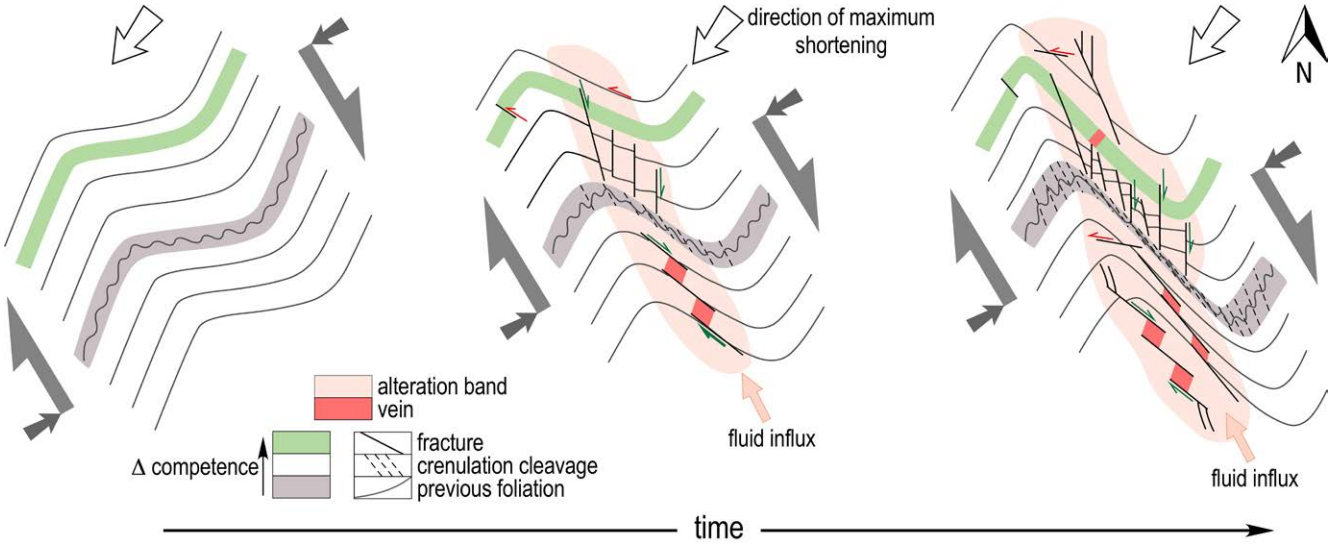


FIGURE 4. Model (not to scale) for the progressive folding and localization of a brittle damage zone and alteration halo along a sheared fold limb.

REFERENCES

Carreras, J. (2001): Zooming on Northern Cap de Creus shear zones. *Journal of Structural Geology*, 23: 1457-1486.

Carreras, J. and Casas, J.M. (1987): On folding and shear zone development: a mesoscale structural study on the transition between two different tectonic styles. *Tectonophysics*, 135: 87-98.

Druguet, E. (2001): Development of high thermal gradients by coeval transpression and magmatism during the Variscan orogeny: insights from the Cap de Creus (Eastern Pyrenees). *Tectonophysics*, 332: 275-293.

Druguet, E., Alsop, I.G. and Carreras, J. (2009): Coeval brittle and ductile structures associated with extreme deformation partitioning in a multilayer sequence. *Journal of Structural Geology*, 31: 498-511.

Fusseis, F., Handy, M.R. and Schrank, C. (2006): Networking of shear zones at the brittle-to-viscous transition (Cap de Creus, NE Spain). *Journal of Structural Geology*, 28, 1228-1243.

Recent tectonic activity and relief rejuvenation in the Betics foreland (Sierra Morena of Córdoba)

Actividad tectónica reciente y rejuvenecimiento del relieve en el antepaís de las Béticas (Sierra Morena de Córdoba)

I. Expósito, A. Jiménez-Bonilla, J.C. Balanyá, F. Moral and M. Rodríguez-Rodríguez.

Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, Cra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, iexpram@upo.es, ajimbon@upo.es, jcbalrou@upo.es, fmormar@upo.es, mrodrod@upo.es

Abstract: *We explore the relief rejuvenation recorded in a segment of the Betics foreland (Sierra Morena of Córdoba) by means of geomorphic and structural tools. Our results indicate that the overall WSW-ENE orientation displayed by the abrupt southern escarpment of the Sierra Morena is controlled by steep dipping faults with dominant slip-dip component, most of them uplifting the NW block, though right lateral slip is frequent. Our geomorphic analysis, including geomorphic indexes, indicates a quaternary tectonic activity of these faults. Faulting would be also responsible for both N-S relief segmentation and local NW-ward tilting of the foreland paleosurface, as well as for the uplifting of marine Neogene deposits of the Guadalquivir foreland basin. The kinematic features of faults point to the superposition of forebulge flexural bending and intraplate deformation associated to the Betics deformation front.*

Keywords; *recent tectonics, Betics forebulge, geomorphic indexes.*

Resumen: Este trabajo explora el rejuvenecimiento del relieve en un sector del antepaís de las Béticas (Sierra de Córdoba) mediante herramientas geomorfológicas y estructurales. Nuestros resultados indican que la orientación general OSO-ENE del abrupto escarpe topográfico que limita Sierra Morena por el sur está controlado por fallas de alto buzamiento, la mayoría de las cuales levanta el bloque NO, aunque una componte de salto lateral derecho está presente con frecuencia. Nuestro análisis geomorfológico, que incluye la aplicación de índices geomorfológicos, sugiere que estas fallas han sido activas durante el Cuaternario. Esta actividad reciente sería responsable de la segmentación N-S del foreland en este sector, del basculamiento local hacia el NO de la paleosuperficie del foreland y del levantamiento de sedimentos marinos neógenos de la cuenca de antepaís del Guadalquivir. Estas características cinemáticas podrían responder a la superposición de flexion del "forebulge" y la deformación intraplaca asociada a las propagación del frente de deformación de las Béticas.

Palabras clave: tectónica reciente, "forebulge" bético, índices geomorfológicos

INTRODUCTION

A forebulge is a flexure relief that develops in peripheric foreland areas, paired with foreland basins subsidence, due to orogenic overloading. Such lithospheric flexure leads to extension in the orogenic basement, often accommodated by normal faulting (e.g. Bradley and Kidd, 1991).

The Sierra Morena (Southern Spain) is a WSW-ENE relief that limits the Guadalquivir basin (i.e. the Betic foreland basin) to the north (Fig.1), interpreted to have been formed as a response to the Betics orogenic accretion (i.e. the Betics forebulge), mainly occurred during the Miocene. Nevertheless, additional causes must be invoked to explain the current Sierra Morena mean elevation (García- Castellanos et al., 2002).

This work explores the features and the causes of the recent relief rejuvenation that seems to have taken place in a sector of the betic forebulge located north of the city of Córdoba (Fig.1 and 2.A). In order to constrain the time spam of such rejuvenation, geomorphologic tools, including geomorphic indexes, have been applied.

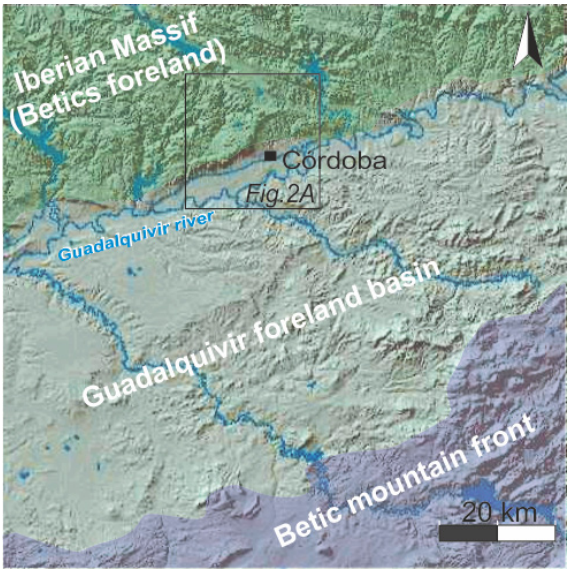


FIGURE 1. Localization of the study area (Fig.2) in the Betics foreland.

GEOLOGICAL SETTING AND MORPHOSTRUCTURAL FEATURES

Our studied area is mostly placed on the Iberian Massif (i.e the Betics foreland), although it also covers a limited portion of the Guadalquivir foreland basin infill (Fig.2 A). The foreland, is mainly composed of lower to middle Cambrian metavolcanics, carbonatics and detritics of the Ossa-Morena Zone as well as Carboniferous plutonic rocks. Scarced outcrops of Triassic detritics are also present. These rocks sink southward under the upper Miocene marine deposits of the Guadalquivir foreland basin, which are in turn overlain by Quaternary colluvial and alluvial deposits.

The relief orientation within the Ossa Morena zone (i.e. Sierra Morena) is mainly conditioned by NW-SE oriented variscan structures (Fig.1). These topographic trend is truncated by an overall sharp topographic WSW-ENE-oriented escarpment, that separates Sierra Morena from the low-lying relief of the Guadalquivir basin.

APPROACH AND METHOD

Qualitative and quantitative geomorphic analyses have been applied (based on field observation and digital elevation model at 1:25000 scale) to determine both the age of the relief rejuvenation and the potential localization of structures controlling it. For the geomorphic qualitative description, we have generated relief and slope maps, topographic profiles, and the longitudinal profile of the Guadiato River, which is the main stream draining Sierra Morena in the study area (Fig. 2A, B and C). The quantitative geomorphic indices calculated to constrain the time span rejuvenation are:

- Valley floor-to-height ratio, Vf (Bull and McFadden, 1977): calculated along the Guadiato River (Fig.2B).
- Catchment hypsometric curve and hypsometric integral, HI (Keller and Pinter, 2002): applied to the Guadiato drainage system (main stream and four left bank tributaries), and to four subbasins of the Guadalquivir River right bank (Fig. 2D).
- Mountain front sinuosity, Smf (Bull and McFadden, 1977): applied to the mountain front (ca. 15 km long) just north of Medina Azahara archaeological site (Fig.2A).

Both qualitative and quantitative results have been carefully examined in order to discard those values controlled by lithological contrasts.

GEOMORPHIC RESULTS

In our study area, the Sierra Morena consists of a WSW-ENE-oriented relief, separated from the Guadalquivir valley by a WSW-ENE abrupt escarpment that turns to SW-NE, West of Córdoba (Fig. 2A). Its topography is characterized by incised valleys alternating with flat summits. The latter are sub-horizontal or gently dipping, mostly to the Guadalquivir valley at the regional scale, although opposite dip sense has been observed in the study area. They frequently represent remnants of an erosional paleosurface, probably Miocene in age (Yanes et al. 2019), although they are locally occupied by patches of Neogene marine sediments belonging to the Gualdalquivir foreland basin (Fig. 2B). Regardless their nature, they frequently exhibit a roughly N-S stepped geometry.

The right bank tributaries of the Guadalquivir River display a rough N-S orientation (Fig.2A) controlled by the overall topographic slope, which dips very gently to the S-SE. Within the northernmost sector, the Guadiato River follows this pattern, but it sharply diverts NW-ward, describing an elbow by river piracy. This deviation of the Guadiato stream is controlled by the local NW-ward dip of the topographic slope in the left bank of its watershed, whose divide coincides in this sector with the upper limit of the Sierra Morena escarpment (Fig.2A). The SW-NE abandoned stream of the Guadiato River can be followed running up and down on a smooth WNW-ESE topographic high, so that it currently displays an upward convex long profile. The Guadiato River long profile also contains features related to relief rejuvenation: incised meanders develop and it shows a typical non-equilibrium convex upwards geometry at its lower course, with several knickpoints (Fig. 2.A and C) These characteristics are shared with most of the streams draining the area.

Regarding quantitative results, the lowest Vf values obtained for the Guadiato River correspond to its lower course, where they mostly remain < 1, associated to V-shaped valleys (Fig.2C). Particularly low are those values related to knickpoints Most of hypsometric curves displays dominant upward convex geometries indicating relief rejuvenation of their whatershed, (Fig 2.D). Nevertheless, curve of the Guadiato River basin is S-shaped indicating that relief rejuvenation is localized in its lower course, where knickpoints also concentrate. Most of IH values are > 0.5, indicating weakly eroded catchments. The value of Smf, applied to the escarpment located north of Medina Azahara site is 1.2, which corresponds to tectonically active mountain front.

STRUCTURES RELATED TO RELIEF REJUVENATION

The observed relief rejuvenation is spatially related to faults, involving from Paleozoic to Miocene rocks that can be grouped into two systems distributed, respectively, around W-E and SW-NE strikes (Fig 2E). The W-E system is composed of steeply dipping faults, whose slickenlines often present a dominant dip-slip component uplifting the northern block, although a subordinate right-lateral slip is frequently present. The SW-NE system is also characterized by steeply dipping faults, though slip-dip (uplifting the NW block) and right-lateral components are equally observed. The W-E system is particularly associated with the abrupt escarpment north of the Medina Azahara archaeological site (Fig.2A), though SW-NE faults are also observed, contributing to the overall WSW-ENE escarpment trend. In this sector, escarpment-derived colluviums of debris facies can be observed, both pre- and post-dating the construction of the ancient city (abandoned and vandalised soon after 1036 A. C., López-Cuervo, 1983). In the northernmost site, the most recent colluvium (ca. 2m thick) seals part of the

ancient buildings and it incorporates scarce fragments of material from Medina Azahara buildings, such as ceramic tiles and wall bricks.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Both qualitative and quantitative geomorphic results point to a Quaternary activity of faults that are responsible for the relief rejuvenation of the Betics foreland in our study area. Indeed, around Córdoba, the foreland escarpment is particularly high and exhibits a large topographic gradient in comparison to other sectors along the whole foreland boundary. The recent activity of these faults has strongly contributed to the N-S relief segmentation of the foreland, also leading to the uplifting of Neogene marine deposits belonging to the Gualdaquivir foreland basin.

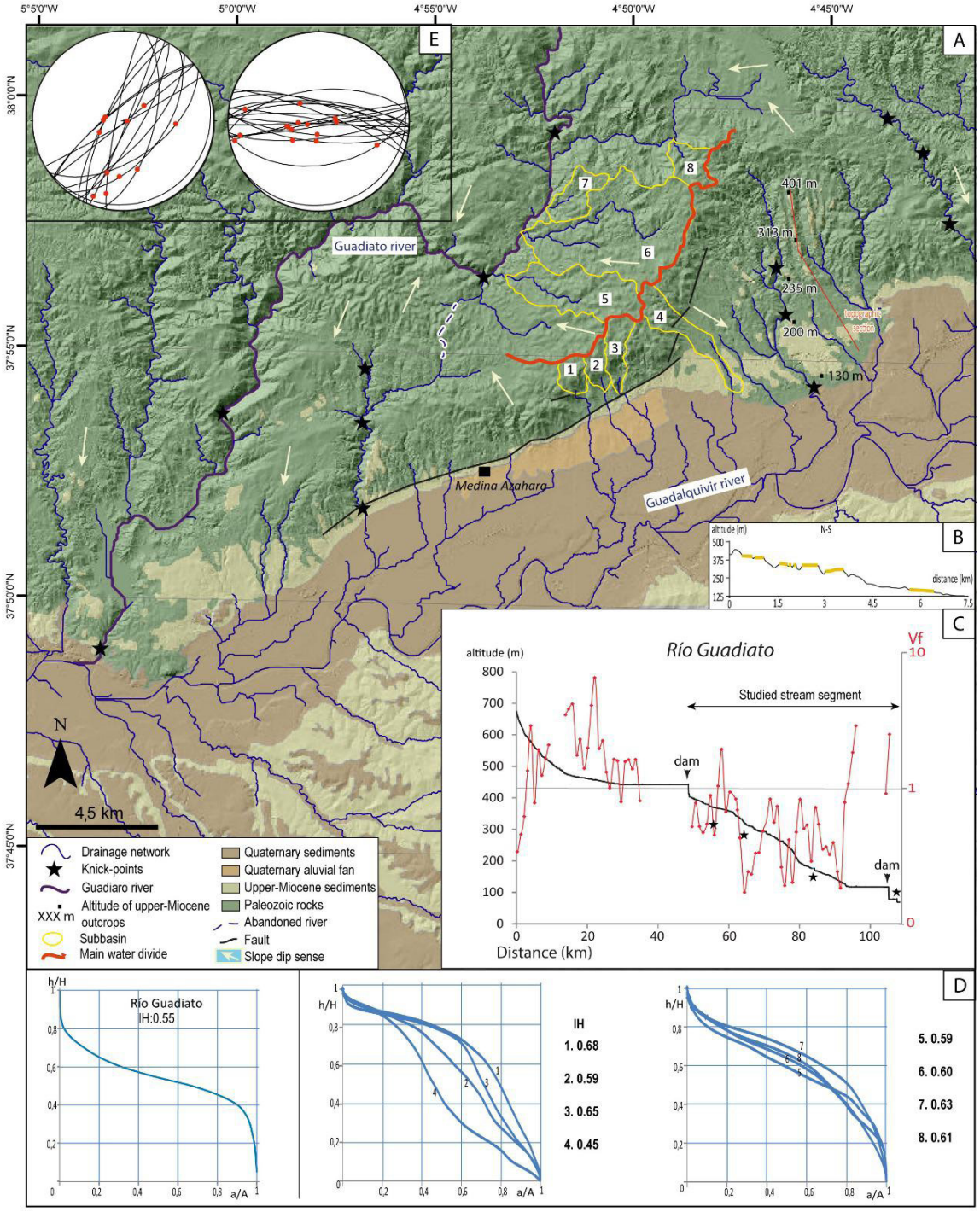


FIGURE 2. A) Relief map of the study area, where the main geological units have been indicated. B) Topographic profile of the foreland Neogene showing the distribution of Neogene sediments (see location on Fig.2A). C) Guadiato River long profile and Vf values. D) Hipsometric curves and HI values (basins are drawn on Fig. 2A). E) Stereographic plots of faults related to relief rejuvenation.

Faulting seems to be also related to the recent NW-ward tilting of the foreland paleosurface in the Guadiato River lower course, assumed to be originally dipping toward the foreland basin. This tilting explains the sharp elbow described by the Guadiato River and is probably related to the up-and-down abandoned trajectory of the stream course.

Additionally, the finding of colluviums, with dominant debris facies (wash facies are missing), post-dating Medina Azahara points to the instability of the escarpment (e.g. Forman et al., 1991) during the last 1000 years. The thickness of such colluvium is similar to those reported for recent, even active, faults (e.g. Koukouvelas et al. 2005). This fact might be related to some historical earthquakes reported from Córdoba at the end of the X century, and that occurred in 2004 close to the Medina Azahara site (www.iagpds.ugr.es: Andalusian Institute of Geophysics and Seismic Disaster Prevention Center).

The faults overall trend is in agreement with those faults expected to accommodate extension by flexural bending in the Betics forebulge. In this regards, normal faults with a dominant dip-slip component are frequent. Nevertheless, many of these structures are vertical or steeply dipping reverse faults suggesting that vertical extrusion prevails over extension. This fact suggests that current compression of the forebulge may occurred coeval with flexural bending, as pointed out by previous works (García-Castellanos et al. 2002 and references therein). The observed right-lateral component suggests that such compression would be oblique, slightly rotated clockwise with respect to the overall SW-NE faulting trend. This orientation of compression is also supported by the left-lateral slip observed in recently reactivated NW-SE-trending, reverse faults located WSW of the study area (Viar Fault system, Yanes et al., 2019). It is also in agreement with the far field vector orientation (between N99ºE and N109ºE) proposed by Barcos et al. (2015), for the recent deformation of the Betics fold and thrust belt. Thus, the relief rejuvenation observed in the Betic foreland could respond to the superposition of the forebulge flexural bending and the intraplate deformation associated with the propagation the Betics deformation front.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by projects PGC-2018-100914-B-100 and UPO-1259543. Antonio Vallejo, the Director of Medina Azahara site, is acknowledged.

REFERENCES

Barcos, L., Balanyá, J.C., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I., Jiménez-Bonilla, A. (2015). Kinematics of the Torcal Shear Zone: transpressional tectonics in a salient-recess transition at the northern Gibraltar Arc. *Tectonophysics*, 663: 62-77.

Bradley, D.C. y Kidd, W.S.F. (1991): Flexural extension of the upper continental crust in collisional foredeeps. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 103, 1416–1438.

Bull, W.B. y McFadden, L.D. (1977): Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault California. En: *Geomorphology in Arid Regions* (D.O. Doehring Eds) Allen y Unwin, Londres, 115-138.

Forman, S.L., Nelson, A.R and McCalpin, J.P. (1991). Thermoluminescence dating of fault-scarp-derived colluvium: Deciphering the timing of paleoearthquakes on the Weber Segment of the Wasatch Fault Zone, north central Utah. *JGR Solid Earth*, 96 (B1): 595-605.

García-Castellanos, D., Fernández, M. and Torne, M. (2002). Modeling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain). *Tectonics*, 21 (3): 9.1-9.17.

Keller, E.A. y Pinter, N. (2002): En: *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, New Jersey, 362pp.

Koukouvelas, I.K., Katsonopoulou, D., Soter, S. and Xypolias, P. (2005). Slip rates on the Helike Fault, Gulf of Corinth, Greece: new evidence from geoarchaeology. *Terra Nova*, 17, 158–164.

López-Cuervo, Serafín (1983). Medina – Az-Zahara. *Ingeniería y formas*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. 169 p.

Yanes, J.L., Expósito, I., Jiménez-Bonilla, A., Moral, F. and García-Navarro, E. (2019). Neo-tectonic reactivation and relief rejuvenation in the western Betics foreland (Viar catchment). *Geogaceta*, 66: 107-110.

Andalusian Institute of Geophysics and Seismic Disaster Prevention Center webpage: https://iagpds.ugr.es/ (date of search: 10/01/2020)

Nuevas cartografías temáticas del sector norte de la Fosa de Teruel

New themed mapping in Northern Teruel Basin

L. Ezquerro[1,2], C.L. Liesa[2], A. Luzón[2], L.E. Arlegui[2] y J.L. Simón[2]

1 GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal. lopezquerro@gmail.com
2 Grupo de Investigación Geotransfer, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. carluis@unizar.es, aluzon@unizar.es, arlegui@unizar.es, jsimon@unizar.es

Palabras clave: semigraben, cuenca continental, Neógeno

Resumen

La Cuenca de Teruel tiene una dirección N-S y es la mayor estructura extensional intracontinental del Mioceno tardío-Cuaternario ubicada dentro de la Cadena Ibérica centro-oriental. A pesar de esto, su estudio ha sido algo desigual a lo largo de los años, lo que también se refleja en las cartografías existentes de la cuenca. Los mapas geológicos anteriores a escala de cuenca muestran una carencia en el reconocimiento de las principales estructuras de borde e intracuencales (*e.g.* Godoy *et al.*, 1983a,b). En este trabajo presentamos un nuevo conjunto de mapas temáticos (geológico, estructural, sedimentario y morfotectónico) del sector norte de la cuenca y su implementación en un espacio de trabajo vectorial, lo que permite un análisis "rápido y fácil" de la fracturación, segmentación estructural, salto *vs.* distancia y evolución del *rifting*. La fracturación a escala cartográfica muestra una red de fracturas NE-SW, E-W a ESE-WNW, N-S y NNW-SSE en las rocas mesozoicas del *pre-rift*, mientras que en los materiales neógenos *synrift* presentan una dirección N-S dominante en el borde de cuenca pero las principales fallas intracuencales tienen una orientación más diversa (NNE-SSW a NE-SW, E-W o NW-SE). La correlación y los desplazamientos verticales de las sucesivas unidades sedimentarias y de varias superficies de aplanamiento erosivo revelan que la deformación se inició en las fallas del margen, mientras que las fallas intracuencales se desarrollaron principalmente en una etapa posterior.

Abstract

The N-S trending Teruel Basin rift is the largest Late Miocene-Quaternary extensional intracontinental structure located within the central-eastern Iberian Chain. Despite this, its study has been somewhat uneven over the years, which is also reflected in the existing maps of the basin. The previous geological maps at a basin-scale do not recognize the main boundary and intrabasinal structures (e.g. Godoy et al., 1983a,b). In this work, we present a new themed map group of the northern sector (geological, structural, sedimentary and morphotectonic) and their implementation in a vectorial workspace, which allows a "quick&easy" analysis of fractures, segmentation structures, throws vs. distance and rifting evolution. Fractures on a map scale show a network of NE-SW, E-W to ESE-WNW, N-S and NNW-SSE fractures in the pre-rift Mesozoic rocks, while Neogene synrift sediments present a dominant N-S strike in the boundary but intrabasinal major faults with diverse orientation (NNE-SSW to NE-SW, E-W, or NW-SE). The correlation and offsets of the successive sedimentary units and several planation surfaces reveal that tectonic slip initiated at the border faults under an E-W extension, while intrabasinal ones mainly developed in a later stage.

Referencias

Godoy, A., Ramírez, J.I., Olivé, A., Moissenet, E., Aznar, J.M., Aragonés, E., Aguilar, M.J., Ramírez del Pozo, J., Leal, M.C., Jerez-Mir, L., Adrover, R., Goy, A., Comas, M.J., Alberdi, M.T., Giner, J., Gutiérrez-Elorza, M., Portero, J.M., Gabaldón, V., 1983a. Hoja geológica núm. 567 (Teruel). *Mapa Geológico de España E. 1:50.000*. IGME, Madrid.

Godoy, A., Olivé, A., Moissenet, E., 1983b. Hoja geológica núm. 542 (Alfambra). *Mapa Geológico de España E. 1:50.000*. IGME, Madrid.

Nuevos datos litoestratigráficos y tectónicos en el borde sur de la Zona Centro Ibérica (Serra de S. Mamede Portugal)

New lithostratigraphic and tectonic data on the southern border of the Central-Iberian Zone (Portugal)

P. Ferreira[1], J. Romão[2], R. Dias[3] y A. Ribeiro[4]

1 UGHGC, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Rua da Amieira, 4465 – 965 S. Mamede de Infesta, Portugal. paulo.ferreira@lneg.pt

2 UGHGC, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apartado 7586 Alfragide, Portugal. manuel.romao@lneg.pt

3 Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, nº 59, 7000-671 Évora, Portugal.rdias@uevora.pt

4 Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (UL), Dep. Geologia da Faculdade de Ciências da UL, Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Edifício C6, Piso 4; Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. aribeiro@ulisboa.pt

Resumen: La revisión de la cartografía geológica en la región de Portalegre-Serra de S. Mamede reconoció una sucesión litoestratigráfica desde el Neoproterozoico hasta el Carbonífero inferior con características muy similares a aquellas ya identificadas en la sinforme Amêndoa-Carvoeiro. Las diferencias entre las dos sucesiones ocurren en las partes superior e inferior; se identificaron unidades del carbonífero inferior (Viseense) y la ausencia del Grupo Vale do Grou (Cámbrico superior?) en el sinforme de S. Mamede.

El trabajo realizado mostró una transición tectónica de régimen de aplastamiento por cizalla pura, en la zona axial de la ZOM y en el límite de la ZOM/ZCI, pasando a cizallamiento oblicuo, marcado por cabalgamiento con techo hacia NE y cizallamiento izquierdo, en la ZCI (Portalegre). En el interior de la ZCI el régimen se caracteriza por aplastamiento puro (v.g. de S. Mamede). En la parte central del sinforme de S. Mamede se identificaron cabalgamientos, denominados Soverete y Montarecos, ambos caracterizados por el transporte de metasedimentos hacia NE y generados en los primeros episodios de la fase varisca D_1. El primero coloca metasedimentos, localmente con fósiles, del Ordovícico superior sobre estratos de cuarcita del devónico inferior, mientras que el otro es responsable del transporte de litologías silúricas esquistosas, a veces carbonosas, sobre las mismas cuarcitas.

Los datos estructurales obtenidos son parte de eventos de deformación durante la orogenia varisca, teniendo en cuenta el modelo de estructura en flor ya descrita en esta región.

Palabras clave: Cartografía geológica, litoestatigrafía, zona de cizallamiento Tomar-Badajoz-Córdoba, estructura, corrimientos

Abstract: *The geological cartography review of the Portalegre-Serra de S. Mamede region recognized a lithostratigraphic succession from the neoproterozoic to lower carbonic, with similar characteristics to the Amêndoa-Carvoeiro synform. The differences between the two successions occur at the top and near the bottom; lower Carboniferous units (Visean) and in the absence of the Vale do Grou Group (Upper Cambrian?) were identified in the S. Mamede synform.*

The works carried out showed tectonic transition from flattening regime by pure shear in the axial zone of the ZOM and in the ZOM / ZCI limit to pass an oblique shear marked by thrust with top to NE associated with left movement already in the ZCI (Portalegre). Further into the ZCI the flattening regime is pure (S. Mamede). In the central part of the S. Mamede synform was identified by thrust-sheet, designated by Soverete and Montarecos, both characterized by the transport of metasediments to NE and generated in the early episodes of the D_1 varican phase. The first, it places meta-sediments, locally with Upper Ordovician fossils, on quartzites strata of the lower Devonian, while another is responsible for the transport of Siluric schist lithologies, sometimes carbonaceous, in the quartzites.

The structural data obtained resulted of the deformation events in the Variscan orogenic phase, taking into account the flower structure model already pointed out for this region.

Keywords: *Geological cartography, lithostratigraphie, shear zone of Tomar-Badajoz-Córdoba, structure, thrust-sheet*

INTRODUCCIÓN

El borde sur de la Zona Centro Ibérica (ZCI) se inserta en contacto con otra unidad geotectónica, la Zona de Osa Morena (ZOM), ambas integrando el Terreno Ibérico. El límite se materializa a través de la zona de cizallamiento izquierdo Tomar-Badajoz-Córdoba (ZCTBC), con orientación WNW-ESE. Corresponde a un accidente tectónico de 1º orden, profundo, transpressivo y activo durante los ciclos cadomiense y varisco (Ribeiro *et al.,* 2007; Ribeiro *et al.*, 2013).

En el sector de Sardoal la ZCI se superpone a la ZOM a lo largo del cabalgamiento Ortiga-Ferreira do Zêzere, cuyo movimiento tiene vergencia hacia NE a lo largo de la ZCTBC, estando condicionada por el efecto barrera de la zona de cizallamiento derecho Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (ZCPTFA), con orientación N-S (Romão, 2000; Ribeiro *et al.,* 2013). En la región de Portalegre, el límite entre las dos unidades geotectónicas ya mencionadas se produce a través de la ZCTBC, por movimiento de salto en dirección izquierdo puro, entre los metasedimentos de la Serie Negra y las unidades neoproterozoicas y paleozoicas típicas da ZCI.

Como parte de la revisión de la cartografía geológica de las regiones de la Serra de S. Mamede y de Portalegre, de los mapas geológicos publicados a E 1:50. 000, en los años setenta del siglo XX (hojas 28-D; 29-C; 32-B; 33-A), por la Dirección General de Minas e Servicios Geológicos de Portugal, se han realizado campañas de mapeo geológico (figura 1) que mostraron una litoestratigrafia muy similar a la de la región del sinforme Amêndoa-Carvoeiro y una importante tectónica tangencial. Se pretende detallar la antedicha sucesión y el régimen tectónico que va desde el salto en dirección puro, en la ZOM, hasta cabalgamiento puro, en la parte sur da ZCI. Se discute también la tectónica tangencial responsable de colocar metasedimentos más antiguos (Ordovícico y Silúrico) encima de las unidades litoestratigráficas más recientes, de edad devónica.

LITOESTRATIGRAFÍA

La sucesión de unidades litoestratigráficas reconocidas en el sinclinal de la Serra de S. Mamede tiene características muy similares a las identificadas y cartografiadas en la sinforma Amêndoa-Carvoeiro (Romão 2000, 2006). En general, los metasedimentos de la sucesión de la Serra de S. Mamede están considerablemente más deformados y su contenido fosilífero es mucho menor, cuando se compara con la secuencia Amêndoa Carvoeiro.

Desde la base hacia el techo, las dos sucesiones citadas comienzan con el Neoproterozoico Grupo de Beiras, seguido, en discordancia, por las unidades del Paleozoico. Sin embargo, la secuencia en el sinforme Amêndoa-Carvoeiro termina con el Devónico inferior (Romão, 2006), mientras que la secuencia de la Serra de S. Mamede termina en el Carbonífero inferior, Viseense (Lopes *et al.,* 2020). Por otro lado, la sucesión Amêndoa-Carvoeiro contiene el Grupo Vale do Grou (Câmbrico superior?; Romão *et al.,* 2010), que esta formado, en general, por conglomerados con matriz arcósica y arcosas, que no fueron reconocidos en la secuencia en estudio. Es, también, digno de mención que las unidades ordovícico-silúricas de la Serra de S. Mamede presentan una expresión cartográfica reducida, consecuencia de la superposición tectónica sufrida, mientras la Formación Bando dos Santos (DBS), formada mayoritaritatiamente por cuarcitas y datada como Siegeniense?-Emesiense (Schemm-Gregory & Piçarra, 2013), produce un relieve significativo en la Serra de S. Mamede.

En el centro de la estructura hay una secuencia de unidades constituida, de la base hasta el techo, por esquistos laminados con aproximadamente 250m de espesor (Formación de la Rabaça) y aproximadamente 80m de calizas dolomitizadas de Escusa, datadas como Viseense (Lopes *et al.,* 2020). Esta secuencia se extiende cartográficamente a España, en la sinforma de Codosera-Puebla de Obando, donde se ha denominado Formación Gévora, que ha sido datada como Mississipiense (González *et al.,* 2007).

TECTÓNICA: DATOS ESTRUCTURALES

La cartografía detallada del área en estudio ha permitido el reconocimiento de un régimen de aplastamiento tectónico, por cizallamiento puro, en el contacto entre las litologías de la "Serie Negra" (ZOM) con los metasedimentos del Grupo de Beiras y con las milonitas de Urra, que se integran en la ZCI. Este contacto, con orientación WNW-ESE, está estructurado en duplexes, donde se pueden observar lineaciones de estiramiento siguiendo el eje cinemático ***b***. Hacia el NE, en la ZCI, se pasa gradualmente a cabalgamiento con techo al norte, inicialmente con deslizamiento oblicuo, y cizallamiento izquierdo (cabalgamiento de Portalegre), seguido por un cabalgamiento casi puro en las regiones más alejadas de ese contacto (v.g. S. Mamede y Portagem).

El cabalgamiento de Portalegre se extiende hacia NW, ramificándose en estructuras dúplex, con desarrollo entre el macizo de Carrascal, de edad 472 ± 2 Ma y 486 ± 9 Ma y el plutón de Portalegre, de 493 ± 3 Ma (Sola *et al.,* 2010). Las características de estos dos macizos ígneos sugieren que el primero se originó a una mayor profundidad, pero la disposición geométrica, alineados en la misma sección NE-SW, presupone una génesis en anomalía térmica común, apenas desplazada debido a un cabalgamiento con techo hace NE.

La estructura compleja de la Serra de S. Mamede constituye, en general, un sinforme D_3 varisco, con orientación NW-SE, con cabalgamientos de vergencia al NNE y esquistosidad de plano axial sub-vertical (S_3), bien marcada en su núcleo central y visible en los metasedimentos y en los carbonatos Viseenses.

El flanco SW del sinforme esta deformado por pliegues NW-SE y cabalgamientos de vergencia al NE, asociados con la fase D_1 varisca, la cual se prolonga en el tiempo. El flanco NE está afectado por un intenso termometamorfismo, inducido por el macizo granítico de Nisa, considerado tardi a pós-tectónico en relación con D_3 (Solá *et al.,* 2008). En la Serra de S. Mamede, entre Alegrete y Monte de la Ribeira, se ven cabalgamientos

de metasedimentos ordovícico-silúricos sobre cuarcitas del DBS del Devónico inferior.

La sucesión, de muro a techo, incluye las F. Cabeço do Peão, Ribeira de Laje, Casal Carvalhal. En la base de la Formación Cabeço do Peão, cerca del pueblo de Teixinha, se identificó un horizonte fosilífero rico en briozoos, moluscos, equinodermos y fragmentos de trilobites, que corresponde a la Capa de Favaçal (Romão, 2000; 2006). Todo ello desplazado 4-5 km al NE por el cabalgamiento de bajo ángulo de Soverete, y plegado por un sinclinal D_1 NW-SE, asimétrico con el flanco W (65º-80º NE) y el E (20º-40º NE). El Silúrico son esquistos y cuarcitas, localmente carbonosas, e incluye las Formaciones de Aboboreira y de Castelo (Romão, 2006). La estructura es el cabalgamiento D_1 precoz de Montarecos al NE, plegado en un sinforme D_1 de eje NW-SE, flanco SW invertido y el NE normal.

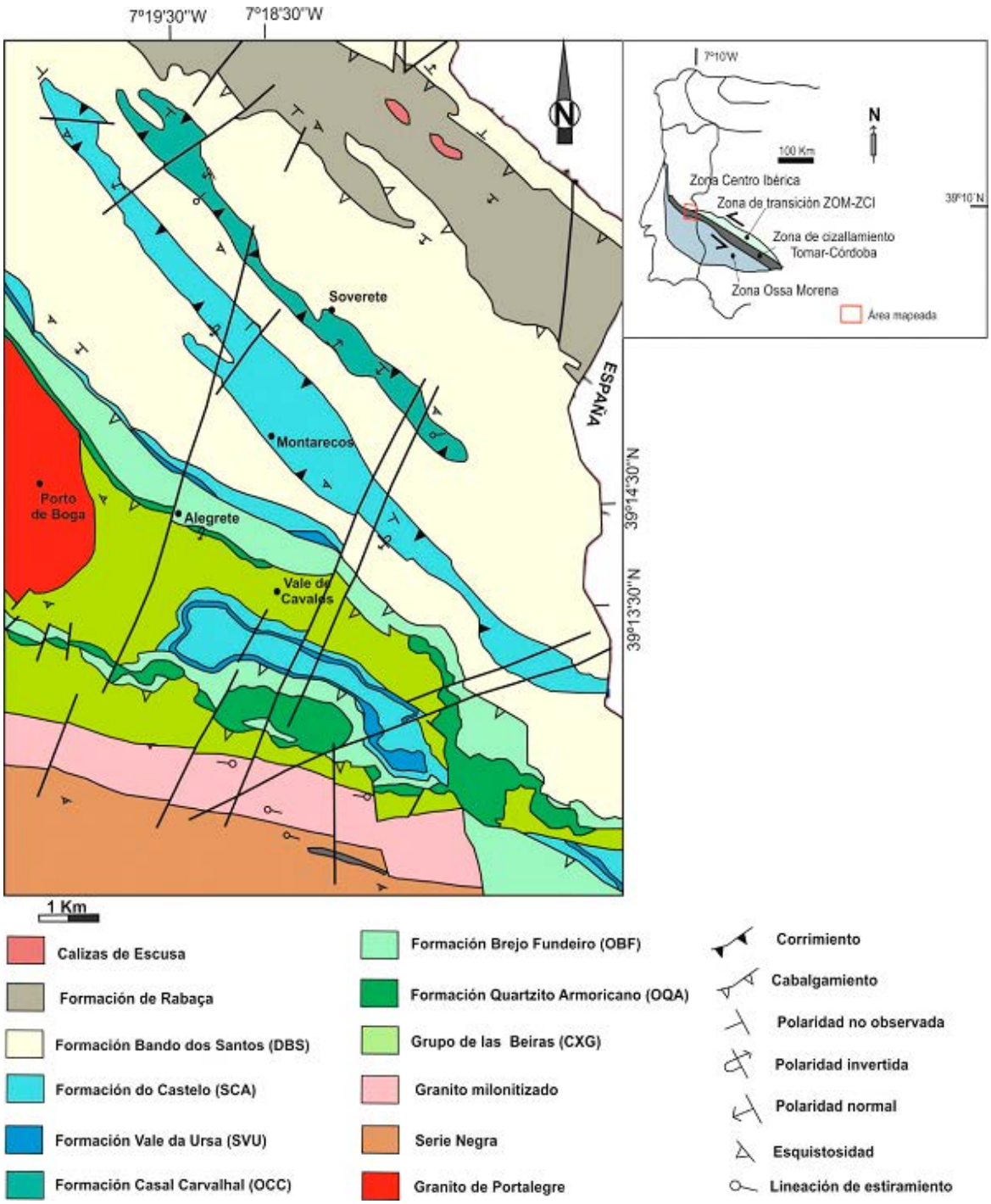


FIGURA 1. Extracto del mapa geológico de Portugal, hoja 6, 1/200 000, y respectivo marco regional, de un sector de la región de la Serra de S. Mamede y de Portalegre, con realce de dos corrimientos (Montarecos e Soverete).

CONSIDERACIONES FINALES

La región de Portalegre-Serra de S. Mamede presenta una sucesión desde el Neoproterozoico al Carbonífero inferior. Se diferencia del sinforme Amêndoa-Carvoeiro por la ausência del Grupo Vale do Grou (Câmbrico?; Romão *et al.*, 2010), que no fue reconocido, y la presencia de la F. Rabaça (esquistos) y las calizas de Escusa, ambas de edad viseense.

Hay una transición tectónica desde la zona axial de la ZOM hasta el borde SW de la ZCI, de un regimén de aplastamiento por cizallamiento puro, a otro oblicuo, marcado por cabalgamiento al NE, más cizallamiento izquierdo, evidente en la falla de Portalegre (Dias *et al.*, 2003), que al NW pasa a cabalgamiento puro. Los cabalgamientos hacia el NE de Soverete y Montarecos, generados en los primeros episodios de la fase D_1 varisca, se plegaron en la fase D_1. Dichos cabalgamientos colocan metasedimentos del Ordovícico sup. y equistos a veces carbonosos, respectivamente sobre las mismas cuarcitas del Devónico inferior. Los datos geométricos y cinemáticos obtenidos se encuadran en las fases Variscas transpresivas asociadas al límite ZOM/ZCI, eje de la estrutura en flor (Ribeiro *et al.*, 2013). Asimismo, debe tenerse en cuenta la presencia de estructuras con rasgos peculiares y variada complejidad y posibles cabalgamientos "*out-of-sequence*", que deben ser estudiados.

REFERENCIAS

Dias, R., Mateus, A., Ribeiro, A. (2003). Strain partitioning in transpressive shear zones in the southern branch of the Variscan Ibero-Armorican Arc. Geodin. Acta 16,119–129.

González, R., Medina, P., González, F., Martín, L.M., Martínez, D., Matas, J. (2007). Microflora y conodontos del Mississippiense en la Fm Gévora (núcleo del Sinforme La Codosera-Puebla de Obando, SO de la Zona Centroibérica). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20 (1-2): 71-88.

Lopes, G., Pereira, Z., Fernandes, P., Piçarra, J. (2020). Biostratigraphic study of the Serra de S. Mamede syncline core successions, Portalegre región – research on the lower Carboniferous successions of the Central Iberian Zone, Portugal. *Comunicações Geológicas* (2018) 105, LNEG. Publicado online 2019.

Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C. & Pedro, J. (2007) - Geodynamic evolution of SW Europe Variscides. *Tectonics*. 26, TC6009.

Ribeiro, A., Romão, J., Munhá, J., Rodrigues, J., Pereira, E., Mateus, A., Araújo, A. (2013). Relações Tectonostratigráficas e fronteiras entre as Zonas Centro-Ibérica e Ossa Morena do Terreno Ibérico e o Terreno Finisterra. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (eds), *Geologia de Portugal*. Escolar Editora, I, 439 – 481.

Romão, J. (2000). Estudo Tectono-Estratigráfico de um segmento do bordo SW da Zona Centro-Ibérica, e as suas relações com a Zona de Ossa-Morena. Tese de Doutoramento Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (não publicada), 323 p.

Romão, J. (2001). O Paleozóico no bordo SW da Zona Centro Ibérica. *Geonovas*, 15, 33-43.

Romão, J. (2006) - Notícia Explicativa da Carta Geológica de Mação (28-A). INETI, Departamento de Geologia, 75pp, 5 fig.

Romão, J., Dunning, G., Marcos, A., Dias, R. & Ribeiro, A. (2010) - O lacólito granítico de Mação-Penhascoso: idade e as suas implicações (SW da Zona Centro-Ibérica). Livro de resumos do VIII Congresso Nacional de Geologia 2010, Universidade de Minho, Braga (Abstract, IX-5).

Shemm-Gregory, M., Piçarra. J. (2013). *Astraelenia saomamedensis N. sp.* – A new Gigantic Rhynchonellid species and its paleobiogeographical implications for the Portalegre syncline (Central Portugal). *Revista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 19, 3, 247-256.

Solá, A.R., Pereira, M.F., Williams, I.S., Ribeiro, M.L., Neiva, A.M.R., Montero, P., Bea, F., Zinger, T. (2008). New insights from U–Pb zircon dating of Early Ordovician magmatism on the northern Gondwana margin: The Urra Formation (SW Iberian Massif, Portugal). Tectonophysics 461 (2008) 114–129. Elsevier.

Solá, A.R., Pereira, Neiva, A., Ribeiro, M. (2010). Geocronolgia, Petrologia e Geoquímica dos granitóides do NE Alentejano (Transição ZCI/ZOM): significado Geodinâmico. *Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História*. V. 1, cap. II, 281-290.

Aproximación experimental a la reactivación contractiva de márgenes pasivos con sal

Experimental approximation to the contractional reactivation of salt-bearing passive margins

O. Ferrer[1], J.A. Muñoz[1], E. Roca[1], J. Ramirez[2]

1 Institut de Recerca Geomodels. Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. joferrer@ub.edu
2 Facultat de Ciències de la Terra. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona

Palabras clave: Márgenes pasivos con sal, Tectónica salina, Modelización analógica, Pirineos Centrales.

Resumen

Cuando un margen pasivo es incorporado a un sistema orogénico, las estructuras heredadas juegan un papel clave durante la deformación contractiva. Si además el margen contiene estructuras y niveles salinos, estos actúan como un nivel de despegue muy eficiente absorbiendo gran parte de la deformación. En este sentido, el margen nor-Ibérico es un buen ejemplo de margen pasivo con sal reactivado contractivamente durante el Santoniense superior e incorporado al orógeno pirenaico. En concreto, el manto del Cotiella (continuación occidental del de Bóixols) ofrece excelentes condiciones de afloramiento para estudiar la reactivación contractiva de cuencas sedimentarias y estructuras salinas asociadas formadas por evacuación de sal durante el colapso gravitacional de un margen pasivo.

Tomando esta zona como análogo natural, y mediante una aproximación experimental basada en modelos analógicos a escala, el presente trabajo pretende caracterizar como se produce la inversión de estas cuencas (minicuencas) y la reactivación de las estructuras salinas asociadas (*rollers* salinos y diapiros). En concreto se han considerado diferentes escenarios en los que el nivel salino varia lateralmente de potencia y que efecto tiene este factor en la deformación contractiva posterior. Los modelos muestran que previamente al transporte de todo el sistema en un manto de corrimiento, durante la inversión se desarrollan paneles sedimentarios subverticales a invertidos y fallas de soldadura salina (*thrust welds*).

Abstract

When a passive margin is incorporated into an orogenic system, the inherited structures play a key role during the contractional deformation. In addition, if the margin also contains structures and salt layers, these act as a very efficient detachment level absorbing the deformation. In this sense, the North-Iberian margin is a good example of passive margin with salt contractionally reactivated during the upper Santonian and incorporated into the Pyrenean orogeny. In particular, the Cotiella thrust sheet (western continuation of the Bóixols thrust sheet) offers excellent outcrop conditions to study the contractional reactivation of sedimentary basins and associated salt structures developed by salt evacuation during the gravitational collapse of a passive margin.

Taking this area as a natural analogue, and through an experimental approach based on scaled analog models, the present work aims to characterize how the inversion of these minibasins and the reactivation of the associated salt rollers and diapirs occurs. Different scenarios in which the thickness of the salt layers changes laterally have been considered in order to test the effect of this factor on the subsequent contractional deformation. The experiments show that prior to the translation of the entire system in a thrust sheet detached on the salt layer, subvertical to inverted sedimentary panels and thrust welds developed during the inversion.

La influencia de la sedimentación sintectónica en la geometría y cinemática de pliegues de despegue contractivos

The influence of syntectonic sedimentation in the geometry and kinematics of contractional detachment folds

O. Ferrer[1], O. Pla[1], E. Roca[1], J. A. Muñoz[1], O. Gratacós[1]

1 Instituto de Investigación UB Geomodels. Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Departament de Dinàmica de la Terra i de l' Oceà, Facultad de Ciències de la Terra. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. joferrer@ub.edu

Palabras clave: Tectónica salina, pliegues de despegue isoclinales, modelización analógica, Pirineos.

Resumen

La deformación contractiva en cinturones de pliegues y cabalgamientos despegados en sal se caracteriza por estrechos anticlinales con núcleo salino separados por anchos sinclinales de fondo plano. Su distribución y geometría está determinada por diferentes factores como la potencia de la cobertera y de la unidad salina, la reología de la sal o las estructuras heredadas. Los pliegues anticlinales, que crecen por rotación de flancos, pueden llegar a ser isoclinales con flancos verticales y desarrollar una extensión crestal considerable que junto con la erosión de la charnela del anticlinal favorece la perforación y extrusión de sal creando diapiros y glaciares salinos.

En los estudios existentes en la literatura, realizados a partir de ejemplos de campo, modelos analógicos o númericos, se ha analizado la sedimentación sintectónica para determinar la cinemática del crecimiento de estos pliegues. Sin embargo, aunque la sedimentación sintectónica varía la potencia de la cobertera y por lo tanto su mecánica, no hay demasiados estudios que analicen su influencia en la geometría y cinemática de los pliegues y menos aún cuando estos pasan a estar perforados por diapiros. Utilizando el Anticlinal de Santo Domingo (Sierras Exteriores, Pirineos Centrales) como ejemplo, y una aproximación experimental basada en modelos de arena, este trabajo busca dar respuestas a esta línea de investigación. Se analiza el papel de la sedimentación sincontractiva en el desarrollo de *megaflaps* que se forman por: 1) rotación de flancos largos hasta que las capas pasan a estar verticales o invertidas y 2) perforación de la cresta del anticlinal (diapiro) y fin de la rotación de flancos.

Abstract

The contractional deformation in fold-&-thrust belts detached on salt is characterized by narrow salt-cored anticlines separated by flat-bottom wide synclines. Their distribution and geometry is determined by different factors such as the thickness of the overburden and salt, the salt rheology or the inherited structures. The anticline folds, which grow by limb rotation, can become isoclinal with vertical limbs and develop a considerable crestal extension that together with the erosion of the anticlinal hinge favors the piercement and extrusion of salt creating diapirs and salt sheets.

Based on field examples, analogue or numerical models, the cases existing in the literature analyze the syntectonic sedimentation to determine the growth of these folds. However, although syntectonic sedimentation modifies the thickness and mechanical properties of the overburden, there are not too many studies that analyze what is its influence in the geometry and kinematics of the folds, and even less when they become pierced by a diapir. Using the Santo Domingo Anticline (External Sierras, Central Pyrenees) as case study, and an experimental approximation based on sandbox models, this work seeks to answer this research line. They analyze the role of syncontractional sedimentation in the development of megaflaps that formed by: 1) rotation of large limbs until they are vertical or overturned; and 2) piercing of the crest of the anticline (diapir) and end of the limbs rotation.

El papel de los depósitos de Zn-Pb en el reconocimiento de estructuras reactivadas en los Picos de Europa (NO de España)

Zn-Pb deposits as a clue for recognizing reactivated structures in the Picos de Europa area (NW Spain)

A. G. Flórez-Rodríguez[1], J. García-Sansegundo[1] y A. Martín-Izard[1]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo.

Palabras clave: Zn-Pb, isótopos de plomo, reactivación.

Resumen

Las mineralizaciones de Zn-Pb son relativamente abundantes en la parte oriental del área de los Picos de Europa, donde se originaron según un modelo Mississippi Valley (Gómez-Fernández *et al.*, 2000). Estos depósitos aparecen en la caliza carbonífera formada en la zona de antepaís del Orógeno Varisco. Aunque su edad fue estimada con base en observaciones de campo y estudios paleomagnéticos (Gómez-Fernández *et al.*, 2000; Symons *et al.*, 2015), las propuestas realizadas hasta la fecha son dispares y abarcan un amplio periodo de tiempo, desde el Pérmico hasta el Cenozoico. Recientemente se ha analizado la composición isotópica del plomo de muestras de galena de varios yacimientos, la cual es comparable a la obtenida para ejemplares de la mina de Troya (Velasco *et al.*, 1996) y, en algún caso, similar a la medida para muestras de Reocín, sugiriendo que las mineralizaciones estudiadas son contemporáneas a éstas otras. Este resultado permite esclarecer la historia de reactivación de algunas estructuras, ya que los yacimientos tienden a presentar una correlación espacial con fallas de escala cartográfica a la par que muestran signos de deformación. Minas como las de Ándara y Argayón están relacionadas espacialmente con fallas subverticales de rumbo NO-SE, mientras que las explotaciones de Tresviso y Lamasón se asocian al Sistema de Fallas de Cabuérniga, de dirección E-O. Entre estos depósitos de Zn-Pb, los de Áliva representan un ejemplo ilustrativo de mineralizaciones que aparecen brechificadas, evidenciando es su caso la reactivación de un cabalgamiento varisco durante la Orogenia Alpina.

Abstract

Zn-Pb ores are relatively common in the eastern portion of the Picos de Europa area, where they formed as Mississippi Valley-type deposits (Gómez-Fernández et al., 2000). Age estimations resulted from field observations and paleomagnetic studies (Gómez-Fernández et al., 2000; Symons et al., 2015). However, to date, the proposals are varied and comprise a broad span between Permian and Cenozoic times. New lead isotopic data from galena samples are comparable to those obtained for the Troya mine (Velasco et al., 1996) or, exceptionally, to those measured for Reocín samples, suggesting that some deposits formed contemporaneously. These results provide insight into the reactivation history of several mineralized structures, as the ores often show a spatial correlation with cartographic-scale structures and appear brecciated. Mining districts such as Ándara and Argayón are spatially related to NW-SE subvertical faults, whereas the Tresviso and Lamasón exploitations are associated with the E-W Cabuérniga Fault System. Among them, the Zn-Pb deposits in the Áliva mine represent an illustrative example of brecciated ores, in this case evidencing reactivation of a Variscan thrust during the Alpine Orogeny.

Referencias

Gómez-Fernández, F., Both, R. A., Mangas, J. y Arribas, A. (2000). *Economic Geology* 95, 19-40.

Symons, D. T., Tornos, F., Kawasaki, K., Velasco, F., y Rosales, I. (2015). *Mineralium Deposita* 50, 953- 966.

Velasco, F., Pesquera, A., y Herrero, J. M. (1996). *Mineralium Deposita* 31, 84-92.

Caracterización de sistemas de fracturas con láser escáner terrestre: Ejemplo del anticlinal de Añisclo Pirineos Centrales.

Fracture system characterization with terrestrial laser scanner: Case study of Añisclo anticline, Central Pyrenees.

D. García-Sellés, O. Gratacós, P. Cabello, O. Ferrer, J.A. Muñoz

Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona dgarcia@ub.edu, ogrataco@ub.edu, pcabello@ub.edu, joferrer@ub.edu, jamunoz@ub.edu

Palabras clave: Láser scanner, fracturas naturales, caracterización.

Resumen

Los sistemas de fracturas naturales son los responsables de las anisotropías principales observadas en los macizos rocosos. Consecuentemente, su caracterización es fundamental para entender fenómenos como la estabilidad de laderas y la circulación y almacenamiento de fluidos en reservorios. Su caracterización no es sencilla debido principalmente a la propia complejidad del sistema de fracturas, a la accesibilidad y dimensiones de los afloramientos fracturados o al tiempo requerido para la medición de las propiedades y su procesamiento. En esta contribución se muestran una serie de algoritmos que utilizando nubes de puntos obtenidas mediante la técnica de laser escáner terrestre caracterizan los sistemas de fracturas, permitiendo extraer las principales propiedades geométricas de las fracturas. Así mismo, la metodología aplicada permite identificar unidades mecánico-estratigráficas según su comportamiento mecánico a partir de la distribución de las propiedades medidas para las distintas familias de fracturas. La metodología desarrollada se ha aplicado a las calizas fracturadas del Eoceno que afloran en el núcleo del anticlinal de Añisclo (Pirineo central, NE Iberia) caracterizando el sistemas a partir de la reconstrucción de cuatro mil fracturas. Se han identificado catorce unidades mecánico-estratigráficas con una intensidad de fracturación cercana a dos fracturas por metro y una porosidad de fractura inferior al 1%.

Abstract

Natural fracture systems are geological features that produce the main anisotropies in rock massifs. As a consequence, their characterization is crucial for the proper understanding of issues such as the slope stability or the fluid flow and storage in reservoirs. Their characterization is not a simple task mainly due to fracture system complexity, accessibility and dimension of the fractured outcrops or the time required for measures the properties and its processing. In this contribution is presented a set of algorithms that using point clouds obtained with terrestrial laser scanner characterize system fractures allowing the extraction of the main geometrical features of the fracture systems. Thereby, the applied methodology allows to identify mechanic-stratigraphic units according to its mechanical behavior from the distribution of the fractures features measured for each fracture set. The methodology developed has been applied to the fractured Eocene limestones crop out at the core of the Añisclo anticline (Central Pyrenees, NE Iberia) charactering the system against four thousand reconstructed fractures. Fourteen fracture stratigraphic units has been identified with a fracture intensity of around to two fractures per meter and a fracture porosity of less than 1%,

Formación y sellado de fracturas en un cuerpo salino del subsuelo: el anticlinal de Súria (Pirineos sudorientales).

Fracturing and sealing in a subsurface salt body: the Súria anticline (SE Pyrenees).

E. Gomez-Rivas[1], A. Griera[2], D. Gómez-Gras [2], E. Playà[1], A. Travé[1] y M.G. Llorens[5]

1 Dept de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona. e.gomez-rivas@ub.edu, eplaya@ub.edu, atrave@ub.edu
2 Dept de Geologia, Univ. Autònoma de Barcelona, 08193 Cerdanyola del Vallès. albert.griera@uab.cat, david.gomez@uab.cat
3 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (CSIC), 08028 Barcelona. mgllorens@ictja.csic.es

Palabras clave: halita, venas, salmuera, fracturación, bromo.

Resumen

Las rocas de sal normalmente se deforman principalmente de forma dúctil e impiden la circulación de fluidos. Sin embargo, los cuerpos salinos a veces se pueden fracturar y presentar permeabilidad. Esta contribución presenta ejemplos de fracturación y sellado en halita en el anticlinal de Súria, un cuerpo salino de los pirineos Sudorientales altamente deformado. El análisis de afloramientos en galerías de la mina de potasa de Cabanasses muestra que hay redes densas de venas formadas por cristales de calcita grandes y limpios que cortan a una roca encajante compuesta principalmente de halita. En este trabajo se ha realizado un análisis estructural de orientaciones de venas, junto con el estudio de láminas delgadas y contenido de bromo (Br) en las venas y sus rocas de caja.

Las rocas encajantes de la unidad de halita-silvinita sufrieron recristalización dinámica y presentan una orientación preferente de bordes de grano (SPO), pliegues isoclinales, zonas de cizalla y niveles de despegue. Por otro lado, las rocas encajantes de la unidad de halita inferior, que se encuentra por debajo de la halita-silvinita, son más competentes que estas y sufrieron recristalización y disolución.

El contenido en Br de las rocas encajantes se incrementa hacia arriba, reflejando el cierre de la cuenca evaporítica marina y un aumento de la concentración de la salmuera marina por evaporación. La fuerte deformación por presión-disolución, *creep* de dislocaciones y recristalización produjo disolución de cristales y transferencia de Br de la roca encajante a la salmuera El contenido en Br de las venas es similar al de su roca de caja en la unidad de halita inferior, pero las venas de la unidad de halita-silvinita contienen menos Br que su roca encajante, mostrando que el fluido mineralizante fluyó de abajo hacia arriba. La unidad de potasa, que se sitúa sobre las unidades de halita inferior y halita-silvinita, es más dúctil que estas y por lo tanto no se fracturó, ejerciendo de sello para las salmueras que formaron las venas.

Abstract

Salt normally undergoes dominant ductile deformation and thus seals fluids. However, salt bodies can also be fractured and leak. This contribution presents examples of halite fracturing and sealing in the Súria anticline, a highly-deformed subsurface salt body of the South-eastern Pyrenees. The analysis of outcrops along galleries of the potash Cabanasses mine reveals that dense networks of halite veins with large and clean crystals cross-cut halite-dominated host rocks. We have carried out structural analysis of vein orientations, together with a study of thin sections and bromine (Br) content in veins and their host rocks.

The host rocks of the halite-sylvinite unit underwent dynamic recrystallisation and present a shape preferred orientation, isoclinal folds, shear zones and detachments. However, host rocks of the lower halite unit, below the halite-sylvinite, are more competent and underwent recrystallisation and dissolution.

The Br content of the host rocks increases upwards, due to the closure of the marine evaporitic basin and the associated marine brine concentration due to evaporation. Strong deformation by pressure-solution, dislocation creep and recrystallisation likely caused crystal dissolution and transfer of Br from host rocks to fluids. The Br content of veins and host rocks in the lower halite unit is similar, but veins of the halite-sylvinite unit are depleted in Br with respect to host rocks, revealing that the mineralising fluid came from below. The potash unit, which is on top of the lower halite and halite-sylvinite units, is more ductile than them and therefore did not fail, acting as a seal for the brines that precipitated halite in the veins.

Vulcanismo mesozoico del margen sudibérico a partir del análisis de anomalías magnéticas

Mesozoic volcanism of the southern Iberia margin by means of magnetic anomaly analysis

L. González-Castillo [1], Jesús Galindo-Zaldívar [1,2], Fernando Bohoyo [3] Cecilia Morales-Ocaña [2]

1 Dpto. Geodinámica, Universidad de Granada 18071 Granada. lgcastillo@ugr.es; jgalindo@ugr.es
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. de Granada) 18071 Granada. cecilia.morales.@iat.csic.es
3 Instituto Geológico y Minero de España. La Calera 1 Tres Cantos 28760 Madrid. f.bohoyo@igme.es

Palabras clave: Anomalías magnéticas, Cuerpos básicos subbéticos, Macizo Ibérico, Tethys, Convergencia del margen sudibérico alpino.

Resumen

Las principales anomalías magnéticas del sureste de la Península Ibérica están relacionadas con las estructuras geológicas de los cinturones Alpino y Varisco. El mapa aeromagnético de la Península Ibérica muestra dos patrones principales de orientación de los dipolos magnéticos. Las anomalías variscas se extienden en dirección NO-SE mientras que los dipolos subbéticos de la Cordillera Bética solapan los anteriores en dirección NE-SO. Los nuevos datos magnéticos adquiridos en superficie determinan la posición y geometría de cuerpos ígneos intermedios intrusivos responsables de las anomalías magnéticas en el Subbético. La modelización simultánea de las anomalías aeromagnéticas y datos magnéticos de campo junto con la integración de medidas de susceptibilidad magnética y datos geológicos permite definir la estructura de los cuerpos básicos subbéticos, así como cuantificar la influencia en las anomalías del basamento Varisco. Las anomalías subbéticas se deben a cuerpos jurásicos discontinuos de rocas volcánicas de geometría lenticular alineados en dirección N70ºE. Estos cuerpos se emplazaron en el estadio inicial de fracturación continental durante la apertura del Tethys. El alineamiento de las estructuras volcánicas se mantiene a pesar de la deformación alpina posterior. No existe evidencia magnética relacionada con una fractura principal en el basamento correspondiente al Macizo Ibérico. Por tanto, la orientación actual de las anomalías magnéticas se debe al despegue y rotación de las unidades subbéticas, incluidas las estructuras volcánicas, durante la convergencia del margen alpino.

Abstract

The main magnetic anomalies in the south eastern Iberian Peninsula are related to both Alpine and Variscan geological structures. The aeromagnetic anomaly map of the Iberian Peninsula shows two orientation patterns for the magnetic dipoles. The Variscan anomalies elongate in NW-SE direction whereas the Subbetic Cordillera dipoles overlap the former with NE-SW trend. New field magnetic surveys carried on to determine the position and geometry of intermediate igneous intrusive bodies responsible for the magnetic anomalies in the Subbetic. Simultaneous modelling of aeromagnetic and field magnetic anomalies together with the integration of magnetic susceptibility measurements and geological data allow defining the basic Subbetic bodies as well as quantifying the influence of the Variscan basement anomalies. The Subbetic anomalies are consequence of lenticular and discontinuous Jurassic basic volcanic bodies aligned in N70ºE direction. They emplaced in the initial stages of the continental crust fracturing, during the opening of the Tethys. This study stands out the remaining of the volcanic structure alignment despite the later alpine deformation. There is no any magnetic evidence of a major fracture in the underlying Iberian Massif basement. Therefore, the present-day orientation may be consequence of the detached Subbetic units' rotation during alpine margin convergence.

Venas de cuarzo gigantes en el Pirineo Oriental: un enfoque macroestructural basado en SIG.

Giant quartz veins in the Eastern Pyrenees: a GIS-based macrostructural approach.

E. González-Esvertit[1], A. Canals[1], E. Gómez-Rivas[1], J. M. Casas[2]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, 08028, Barcelona (Spain).
2 Departament de Dinàmica de la Terra i l'Oceà. Universitat de Barcelona, 08028, Barcelona (Spain).

Palabras clave: Venas de cuarzo; SIG; Pirineo Oriental.

Resumen

La ocurrencia de venas de cuarzo es común en diferentes contextos geológicos y su estudio puede contribuir a conocer la evolución estructural y geoquímica de las rocas donde se encajan. Los mecanismos de formación de las grandes venas de cuarzo son, sin embargo, una cuestión abierta. En el Pirineo Oriental se encuentran venas de espesor milimétrico a hectométrico y longitud centimétrica a kilométrica encajadas en rocas magmáticas, metamórficas y sedimentarias de distinta edad y origen. Las venas que son visibles desde imágenes satelitales y fotogramétricas, aquí definidas como venas "gigantes", se encuentran principalmente a lo largo del basamento pre-Varisco Pirenaico y han sido clásicamente atribuidas a la Orogenia Varisca. Sin embargo, en la vertiente sur del orógeno (Macizo del Roc de Frausa), hay venas encajadas en sucesiones sedimentarias Mesozoicas, cuyo origen es por tanto post-Varisco.

En este trabajo se presenta una primera evaluación global de las grandes venas de cuarzo del Pirineo Oriental, tratando su distribución, orientación y variabilidad de roca encajante desde un punto de vista macroestructural. El tamaño de estas venas y el relieve que infieren en la topografía permiten estudiar sus características mediante una metodología basada en SIG, combinando los mapas geológicos 1:50,000 disponibles con modelos digitales de elevación. Los resultados obtenidos permiten discutir los controles estructurales en el emplazamiento de las venas gigantes, así como las edades y tipos de sistemas de circulación de fluidos que las formaron. La financiación ha sido proporcionada por los proyectos CGL2017- 87631-P y PGC2018-093903-B-C22 del MINECO.

Abstract

Quartz veins are ubiquitous in various geological settings and their study can contribute to improve our understanding of the (micro- to macro-) structural and geochemical evolution of their host rocks. However, there are still many open questions about the formation mechanisms of large quartz veins. In the Eastern Pyrenees veins of millimetric to hectometric width and centimetric to kilometric length are hosted in magmatic, metamorphic and sedimentary rocks of different age and origin. Veins that are visible in satellite and photogrammetric imagery, hereafter "giant" quartz veins, are mostly spread throughout de pre-Variscan basement of the Pyrenees and have been classically attributed to the Variscan Orogeny. However, in the southern slope of the mountain chain (Roc de Frausa massif), some veins are hosted in Mesozoic sedimentary rocks, thus being post-Variscan in age.

Here we present the first overall assessment of the occurrence of giant quartz veins in the Eastern Pyrenees, addressing their distribution, orientation and host-rock variability from a macrostructural point of view. The size and topographic relief that infer the presence of giant veins allow to address these features with a GIS-based workflow, based on the combination of 1:50,000 geological maps and digital elevation models. The results allow discussing the main structural controls on the emplacement of giant quartz veins, their ages and types of fluid circulation systems that formed them. Financial support was provided by CGL2017-87631-P and PGC2018-093903-B-C22 projects from MINECO.

Modelo metodológico para el reconocimiento y representación cartográfica de estructuras variscas y alpinas en la Unidad de Picos de Europa (Cordillera Cantábrica, NO de España).

Methodological model for recognition and mapping of Variscan and Alpine structures in Picos de Europa Unit (Cantabrian Mountains, NW Spain).

B. Gonzalo-Guerra[1*], N. Heredia[2], J. García-Sansegundo[1], P. Farias[1]

1 Universidad de Oviedo, Departamento de Geología, C /Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España. goguebrais@gmail.com
2 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Oviedo, C/ Matemático Pedrayes 25, 33005 Oviedo, España., n.heredia@igme.es

Resumen: En este trabajo se presenta un modelo metodológico de representación cartográfica de estructuras en contextos poliorogénicos, que mejora la visualización y comprensión de las reactivaciones de estructuras y facilita las interpretaciones estructurales. El caso seleccionado es la región de los Picos de Europa (NO de España), donde se han identificado cuatro familias de fallas (cabalgamientos variscos, fallas de desgarre tardi-variscas, fallas extensionales permo-mesozoicas y fallas inversas cenozoicas) y 15 configuraciones cinemáticas-temporales y/o de reactivación entre ellas, a través de la realización de una cartografía detallada y el análisis de datos geométricos, cinemáticos, criterios deformacionales y relaciones de corte/reactivación y de tectónica-sedimentación. El modelo propuesto otorga una importancia similar a estructuras de diferentes eventos tectónicos y su utilización conjunta y unificada podría mejorar las interpretaciones estructurales a escala regional.

Palabras clave: Cartografía Geológica, Orógeno Varisco, Orógeno Alpino Cántabro-Pirenaico, Reactivación de fallas.

Abstract: *This work presents a new methodological structure-mapping model in poly-orogenic settings, allowing a better display and understanding of structure reactivations, so that subsequent structural interpretations become easier to carry out. The selected area for this purpose is the Picos de Europa region (NW Spain), where four fault sets (Variscan thrusts, strike slip Late Variscan faults, extensional Permian-Mesozoic faults and reverse Cenozoic faults) and 15 time-kinematic and/or reactivation configurations of these fault sets have been identified, as a result of detailed geological mapping and analysis of geometrical, kinematic and deformational criteria, in addition to crosscutting/reactivation and tectonic-sedimentation relationships. The proposed model balances the relevance of different-tectonic-event structures and its joint and unified usage could improve regional structural interpretations.*

Keywords: *Geological mapping, Variscan Orogen, Alpine Cantabrian-Pyrenean Orogen, Fault reactivation.*

INTRODUCCIÓN Y ENCUADRE GEOLÓGICO

La región de los Picos de Europa (NO de España) registra una larga y compleja historia geológica, producto de un contexto tectónico poliorogénico. La concurrencia de la Orogenia Varisca (paleozoica), un episodio extensional permo-mesozoico ligado a la rotura de Pangea y la apertura del Golfo de Vizcaya, y la Orogenia Alpina Cántabro-Pirenaica (cenozoica), en esta región, ha dado lugar a una intensa fracturación. Este conjunto variado de fallas de diferentes episodios tectónicos (cabalgamientos variscos imbricados, fallas tardi-variscas y fallas alpinas extensionales e inversas), presenta una historia cinemática compleja y, en ocasiones, difícil de reconstruir para cada estructura, siendo frecuente el funcionamiento de una misma falla en varios eventos. No obstante, en la región de Picos de Europa existen algunos elementos que permiten reconstruir la historia de reactivaciones de estas fallas, tales como: (I) Afloramientos pérmicos y triásicos dispersos y la proximidad de extensos afloramientos mesozoico-terciarios, que permiten determinar la actividad y cinemática de las estructuras durante el Ciclo Alpino. (II) Afloramientos del Carbonífero superior que permiten determinar la actividad y cinemática de las estructuras durante la Orogenia Varisca. (III) Alteraciones (dolomitizaciones, silicificaciones, trituraciones y brechificaciones) y mineralizaciones relacionadas con las fallas, que indican las características deformacionales, reología y flujo hidrotermal de algunos episodios tectónicos, permitiendo asignar edades a las estructuras. (IV) Criterios cinemáticos utilizados en conjunto con los anteriores.

Orógeno Varisco del NO Peninsular

El Orógeno Varisco (Devónico Superior-Pérmico inferior; Pérez-Estaún *et al.*, 1988), dio lugar a una cadena arqueada (Arco Astúrico; Julivert, 1971), en cuyo núcleo se localiza la Zona Cantábrica, *foreland* del orógeno (Farias *et al.*, 1987). En el extremo oriental de la Zona Cantábrica, la unidad tectono-estratigráfica de Picos de

Europa (Julivert, 1971) presenta una sucesión estratigráfica comprendida entre el Cámbrico y el Pérmico inferior (Fig. 1A), que fue afectada por un imbricado de cabalgamientos dirigidos al Sur y emplazados durante el Kasimoviense-Gzheliense superior. La denominada deformación tardi-varisca, de edad Gzheliense superior-Asseliense basal, acomodó los últimos esfuerzos variscos mediante fallas de desgarre NO-SE.

Ciclo Alpino

Extensión Permo-Mesozoica

A escala regional, la extensión Permo-Mesozoica Alpina presenta dos etapas:

(I) Etapa pérmica inferior (Cisuraliense), relacionada con el colapso extensional del Orógeno Varisco, en la que se generaron cuencas estrechas y aisladas, rellenas con depósitos continentales de escaso transporte y potencia, con participación volcánica. Estas cuencas estaban limitadas por estructuras variscas y tardi-variscas reactivadas, las cuales presentan dolomitizaciones y mineralizaciones a lo largo de su trazado (López-Gómez *et al.*, 2019).

(II) Etapa mesozoica de *rifting*, con varios pulsos y etapas de subsidencia termal entre ellos, existiendo: (a) Una etapa de *rifting* Triásico Medio-Superior con cuencas más amplias que en el Pérmico, depósitos continentales (con mayor transporte) y algunos de carácter marino somero. Los límites de las cuencas estaban definidos tanto por fracturas variscas reactivadas como por nuevas fallas alpinas extensionales, con las que se asocian principalmente mineralizaciones de flúor. (b) Una etapa de subsidencia regional Jurásico Inferior. (c) Una etapa de *rifting* Jurásico Medio-Superior a Cretácico Inferior, relacionada con la apertura del Golfo de Vizcaya y responsable de algunas mineralizaciones de Pb-Zn. (d) Una etapa de subsidencia regional Cretácico Superior (García-Espina, 1997; López-Gómez *et al.*, 2019). En el área de estudio, existen afloramientos de rocas que pertenecen a la cobertera permo-mesozoica relacionada con las fases (I) y (II.a) de la extensión alpina (Fig. 1A) (López-Gómez *et al.*, 2019).

Orógeno Alpino Cántabro-Pirenaico

El Orógeno Alpino Cántabro-Pirenaico (Cretácico Superior- Mioceno) forma una cadena rectilínea de dirección E-O y doble vergencia al N y al S, con los Pirineos en su parte oriental y la Cordillera Cantábrica en la occidental (Gallastegui *et al.*, 2002). El área de estudio se localiza en la zona central de la Cordillera Cantábrica, correspondiente a la parte occidental de la Zona Surpirenaica. Dicha región fue levantada durante el Eoceno superior-Mioceno inferior, mediante una tectónica de piel gruesa que implicó la reactivación de estructuras variscas, tardi-variscas, permo-mesozoicas y la formación de nuevas fallas inversas alpinas, enraizadas en un despegue situado en la corteza media (Cabalgamiento Basal Cantábrico) (Martín-González y Heredia, 2011; Pulgar *et al.*, 1999). Esto resultó en la formación de una cuenca de antepaís sinorogénica cenozoica fragmentada y escasez o ausencia de cobertera mesozoica, esencialmente localizada en la Cuenca Mesozoico-Terciaria Asturiana (López-Gómez *et al.*, 2019).

LA ESTRUCTURA DEL VALLE DEL DUJE (NE PICOS DE EUROPA)

Pueden distinguirse cuatro familias de fallas con diferente cinemática, geometría y edad (Fig. 1B-D):

a. Cabalgamientos variscos con buzamientos al N-NE, siendo estos mayores hacia el N, donde llegan a estar invertidos y, en ocasiones, reactivados por las estructuras alpinas. Hacia el S los cabalgamientos poseen menor buzamiento y generalmente aparecen cortados por las estructuras posteriores. El trazado cartográfico de los cabalgamientos es sinuoso debido a su bajo buzamiento o al plegamiento posterior de sus superficies. Los cabalgamientos variscos forman un sistema imbricado con transporte tectónico hacia el S, emplazado en secuencia *forward*, con acortamientos del 70%, asociándose frecuentemente en estructuras tipo dúplex. Los cabalgamientos son sinsedimentarios con las unidades estratigráficas carboníferas más jóvenes (3b de Fig. 1). Las zonas de falla son, en general, superficies netas, con estrechos niveles cataclásticos finos (*fault gouge*). Los pliegues relacionados son escasos a escala cartográfica, siendo más comunes a escala métrica y en las inmediaciones de los cabalgamientos principales.

b. Fallas tardi-variscas de strike-slip dextro. Poseen trazados rectilíneos de dirección NO-SE y ONO-ESE, son verticales o con altos buzamientos al NE y pueden tener componente de salto inverso y normal. Presentan silicificaciones, dolomitizaciones, mineralizaciones, trituración y brechificación en sus proximidades y forman husos que delimitan zonas intensamente brechificadas, deformadas y/o dolomitizadas. Estas fallas no se distribuyen homogéneamente, sino que se agrupan en zonas de falla decamétricas, con espaciados de 2-4 km entre ellas, conectadas por estructuras secundarias oblicuas de escala hectométrica. Las fallas tardi-variscas cortan a los cabalgamientos variscos o los reactivan localmente y, en ocasiones, tienen reactivaciones alpinas. De lo contrario, estas fallas quedan fosilizadas por materiales del Asseliense (Pérmico inferior), lo que permite acotar su actividad al Gzheliense superior-Pérmico basal.

c. Fallas extensionales permo-mesozoicas. Presentan direcciones E-O, ONO-ESE, ENE-OSO y NE-SO, buzamientos al N o S y componente principalmente normal. Estas fallas poseen trazados rectilíneos a curvos, condicionados por las estructuras previas, y están asociadas a brechas extensionales, silicificación, dolomitización y mineralizaciones de Pb-Zn. Las fallas extensionales permo-mesozoicas se encuentran heterogéneamente distribuidas en agrupaciones, donde se concentra la deformación, con espaciados de unos 6 km. Estas fallas cortan y reactivan a todas las estructuras anteriores, aunque a

veces son cortadas por fallas tardi-variscas reactivadas. Las unidades permo-mesozoicas son sintectónicas con estas fallas, evidenciando un régimen extensional en este período, con importante desarrollo de la fracturación y creación de cuencas sedimentarias.

d. Fallas cenozoicas inversas. Poseen trazados E-O, ONO-ESE y ENE-OSO, componentes inversas predominantes, sentido de transporte tectónico hacia el S y producen un acortamiento del 7%. Estas fallas se agrupan en bandas continuas de dirección E-O, con un espaciado de 1,5 km, donde se concentra la deformación. Las fallas cenozoicas inversas presentan imbricados de alto ángulo y numerosas bifurcaciones en su trazado, además de zonas brechificadas y trituradas decamétricas en su entorno. Estas estructuras cortan y/o reactivan todas las fallas anteriores y cobijan sedimentos permo-mesozoicos, lo que evidencia su actividad alpina, siendo las últimas en activarse. Debido a su actividad reciente, las fallas cenozoicas inversas son las que condicionan el relieve actual.

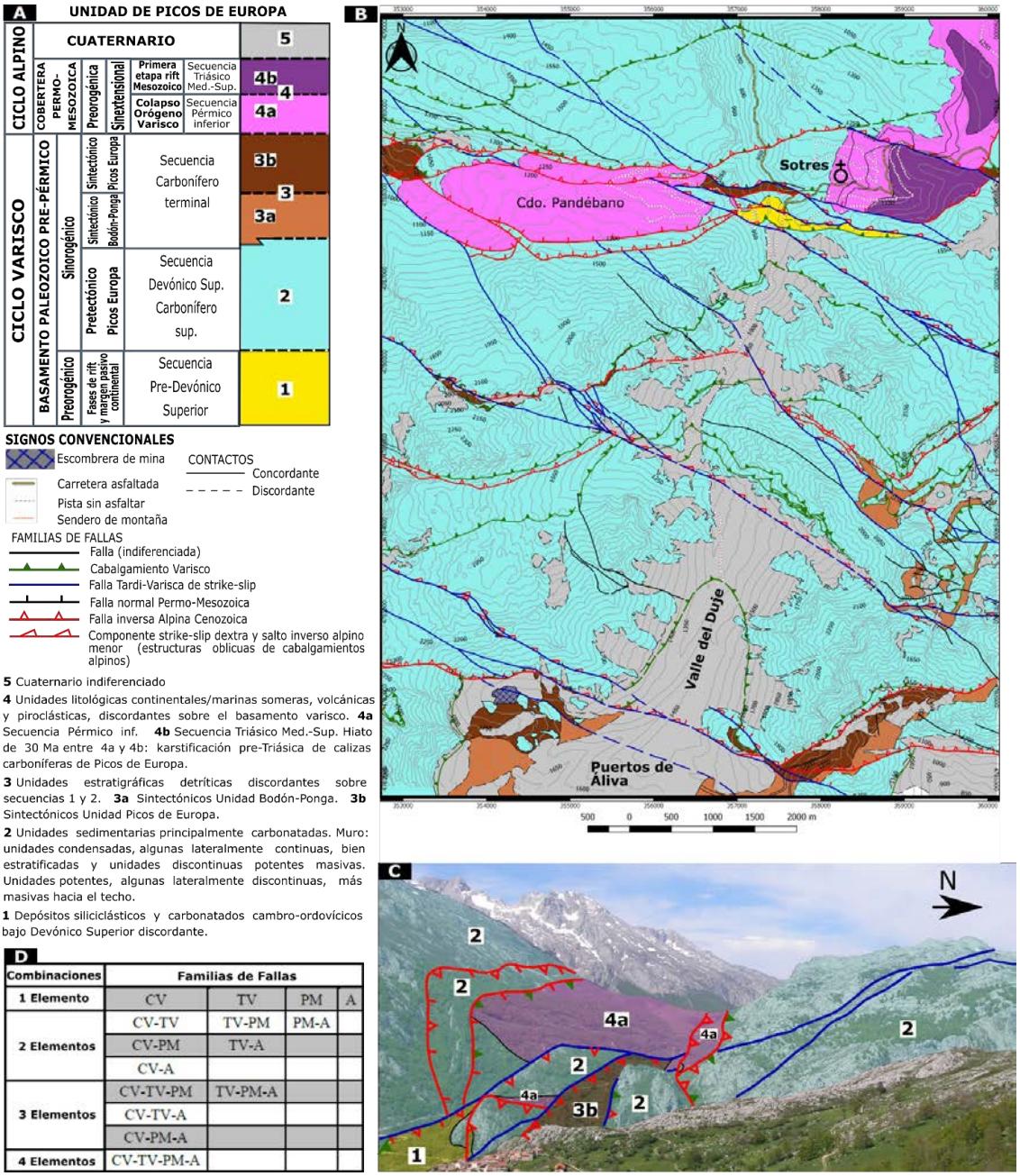


FIGURA 1. A) Leyenda simplificada con las unidades sedimentarias de la Unidad de Picos de Europa (Cordillera Cantábrica, NO España) y la simbología de las familias de fallas distinguidas en este estudio. B) Mapa geológico simplificado del valle del Duje (Picos de Europa, Cordillera Cantábrica, NO España). C) Fotografía interpretada mostrando las diferentes relaciones de las familias de fallas de este estudio en los alrededores de Sotres (Picos de Europa, Codillera Cantábrica, NO España). D) Tabla con las combinaciones (reactivaciones) posibles de las familias de fallas identificadas en este estudio. CV: cabalgamientos variscos, TV: fallas tardi-variscas, PM: fallas normales permo-mesozoicas, A: fallas inversas alpinas cenozoicas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se han identificado 15 posibles tipos de relaciones cinemáticas y temporales entre las familias de fallas anteriormente descritas (Fig. 1D). Para poder comprender la compleja historia de estas estructuras y facilitar el análisis/interpretación estructural a partir del mapa geológico elaborado, es necesario desarrollar un modelo metodológico de representación cartográfica de estructuras con una o más reactivaciones. Ese modelo debe integrar datos como la geometría, cinemática y criterios deformacionales de las fallas, así como sus relaciones de corte-reactivación y de tectónica-sedimentación. Dicho modelo se ha realizado mediante la combinación de:

a. Símbolos que indican la cinemática de las fallas: salto normal, inverso (cabalgamiento/falla inversa) y componente inverso con strike-slip (estructura oblicua/lateral) (Fig. 1B-C).

b. Colores en los símbolos y trazos indicando las edades (Fig. 1B-C).

c. Jerarquía en el uso de colores. Las estructuras con actividad tardi-varisca llevan siempre color azul en su trazo principal, lo que permite identificar los sistemas de fallas de esta edad, relacionarlos con la estructura previa a este evento tectónico y determinar su condicionamiento en la estructuración posterior. Para permitir la identificación de los sistemas de fracturación alpina con facilidad, independientemente de si proceden de reactivaciones de estructuras anteriores o no, el trazo de estructuras con actividad en este período se representa en rojo, excepto si proceden del rejuego de fallas tardi-variscas. De esta forma se identifica la importancia de la tectónica alpina en la región, conociéndose además la influencia de eventos tectónicos anteriores en la posición, geometría y cinemática de estas últimas estructuras.

Por tanto, la utilización de este modelo facilita la realización de observaciones sobre el condicionamiento de las estructuras modernas por las más antiguas. Además, su uso conjunto y unificado ayuda a mejorar la interpretación estructural y tectónica regional, al otorgar una similar visibilidad y relevancia a las estructuras de diferentes episodios tectónicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el proyecto FALPINO (CGL-2015-70970-P).

REFERENCIAS

Farias, P., Gallastegui, G., González Lodeiro, F., Marquínez, J., Martín-Parra, L.M., Martínez Catalán, J.R., Pablo Maciá, J.G.d. y Rodríguez-Fernández, L.R. (1987). Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central. *Memórias Museo e Laboratorio Miner. Geol.* 1: 411-431.

Gallastegui, J., Pulgar, J. y Gallart, J. (2002). Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. Tectonics, 21.

García-Espina, R. (1997). *La estructura y evolución tectonoestratigráfica del borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica (Cordillera Cantábrica, NO de España).* Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 230 p.

Julivert, M. (1971). Décollement tectonics in the Hercynian cordillera of NW Spain. *American Journal of Science* 270: 1-29.

López-Gómez, J., Martín-González, F., Heredia, N., de la Horra, R., Barrenecheaa, J.F., Cadenas, P., Juncal, M., Diez, J.B., Borruel-Abadia, V., Pedreira, D., Garcia-Sansegundo, J., Farias, P., Gale, C., Lago, M., Ubide, T., Fernandez-Viejo, G. y Gand, G. (2019). New lithostratigraphy for the Cantabrian Mountains: A common tectono-stratigraphic evolution for the onset of the Alpine cycle in the W Pyrenean realm, N Spain. *Earth-Science Reviews* 188: 249-271.

Martín-González, F. y Heredia, N. (2011). Geometry, structures and evolution of the western termination of the Alpine-Pyrenean Orogen reliefs (NW Iberian Peninsula). *Journal of Iberian Geology* 37: 103-120.

Pulgar, J.A., Alonso, J.L., Espina, R.G. y Marín, J.A., (1999). La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos de Geología* 21: 283-295.

Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez-Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J.A. (1988). A thin-skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: the Cantabrian Zone (Variscan Ibero-Armorican Arc). *Tectonics* 7: 517-537.

La Fm Cardona como nivel de despegue de las estructuras frontales del SE Pirenaico (zona de Súria - Sallent)

Role of the Cardona salt detachment level on the SE Pyrenean frontal structures (Súria - Sallent area)

O. Gratacós[1], D. García-Sellés[1], J. A. Muñoz[1], E. Roca[1], J. Escuer[2], O. Ferrer[1], A. Sendrós[3]

1 Institut de Recerca Geomodels, GGAC, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, ogratac o@ub.edu, dgarcia@ub.edu, jamunoz@ub.edu, eduardroca@ub.edu, joferrer@ub.edu
2 Geoconsultores Técnicos y Ambientales, S. L., Príncep de Viana, 11, 25004, Lleida, joan@geoconsultores.com
3 ICL Iberia, Afores s/n, 08260 Súria (Barcelona), Alex.Sendros@icl-group.com

Palabras clave: tectónica salina, Pirineos, evaporitas, estructuras de despegue.

Resumen

La presencia de unidades sin-cinemáticas evaporíticas en el relleno sedimentario de las cuencas de antepaís de sistemas orogénicos condiciona el estilo estructural de las estructuras que se desarrollan a medida que la deformación progresa hacia el antepaís. Éstas estructuras pueden ser pliegues de despegue (simétricos o asimétricos) que pueden desarrollar cabalgamientos en sus flancos, y/o pliegues de acomodación o propagación de falla. Una misma estructura puede presentar cambios laterales en el tipo de estructura y en la vergencia, pasando de pliegues de propagación o acomodación en zonas sin sal, a pliegues de despegue en zonas con sal. En esta contribución se presenta la caracterización estructural de la zona de Súria y Sallent (Catalunya Central), al ser un buen ejemplo para comprender las estructuras contractivas asociadas a la terminación de un nivel evaporítico sincontractivo (Fm. Cardona, Priaboniense), caracterizado por variaciones laterales de espesor y una terminación no lineal. Para analizar el papel de estos factores, se han integrado datos de superficie (mapas geológicos y datos de campo) y subsuelo (sísmica y pozos) para obtener un modelo estructural 3D de la zona que permite una mejor caracterización de la geometría y evolución de estas estructuras asociadas al nivel de despegue. Los resultados obtenidos permiten inferir que las estructuras pueden estar controladas por: 1) su distancia respecto a la terminación del nivel evaporítico y 2) por sus variaciones de potencia laterales posiblemente condicionadas por la paleogeografía del margen de la cuenca durante su deposición. Ambos factores controlan el volumen de sal disponible para alimentar el crecimiento de estos pliegues de despegue y condicionar su evolución lateral y el tipo de estructura resultante.

Abstract

In fold-and-thrust systems the presence of syn-kinematic evaporitic layers controls the structural style of the structures that form as the deformation progresses forwards. These structures are generally detachment folds (symmetric or asymmetric) with related break-through thrusts in their limbs that may evolve to fault-bend- or propagation-folds. Lateral changes in the structural style and vergence are common evolving from, e.g., propagation- or fault-bend folds where no salt exists, to detachment folds in those areas with salt. Thus, in this contribution, the structural characterization of the Súria -Sallent area (Central Catalonia) it is presented. This area is a good example for the understanding the structures related to the pinch-out of a syn-kinematic evaporitic layer (the Cardona Fm, Priabonian), characterized by lateral variation of the thickness and a non-linear pinch-out. To study the role of these parameters, surface (field data measurements and geologic maps) and subsurface data (seismic and wells) has been integrated in a 3D structural model allowing a better characterization of the geometry and evolution of these structures. The results shows that the structures can be conditioned by: 1) the distance in relation to the pinch-out; and 2) lateral thickness changes in the salt level due to the paleogeography of the basin during its deposition. As a result, both parameters control the salt availability for the detachment fold growth, its lateral variation, and the resulting structure.

Control mecánico mediante modelización numérica 2D del desarrollo de pliegues recumbentes. Aplicación al macizo de Eaux-Chaudes (Pirineos)

Mechanical controls on recumbent folding from 2D numerical simulations applied to the Eaux-Chaudes massif (Pyrenees)

M. Guardia[1], A. Griera[1], N. Caldera[1], B. Kaus[2], A. Piccolo[2], A. Teixell[1]

1 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona). marc.guardia@uab.cat
2 Institute for Geosiences, Johannes-Guttemberg University of Mainz, 55099 Mainz, Germany.

Palabras clave: pliegue recumbente, modelización numérica, LaMEM, tectónica alpina, Pirineos

Resumen

Los mantos tectónicos son estructuras reconocidas en un gran número de cinturones orogénicos e incluyen dos geometrías extremas conocidas como manto de cabalgamiento y manto de plegamiento. Estudios recientes de modelización numérica aplicados a los mantos Helvéticos de los Alpes indican que la estratigrafía mecánica es un factor clave en el desarrollo de uno u otro tipo de manto. Con el objetivo de estudiar los parámetros mecánicos que determinan cambios en el estilo de deformación entre manto de cabalgamiento (deformación altamente localizada, comportamiento dominante frágil/plástico) y manto de plegamiento (deformación distribuida, comportamiento dúctil/viscoso), se han realizado simulaciones numéricas en 2D usando el código de diferencias finitas LaMEM. Los resultados obtenidos se han aplicado al manto de plegamiento alpino de Eaux-Chaudes (Pirineos centro-occidentales). Las simulaciones han sido desarrolladas utilizando una reología lineal visco-elastoplástica y el criterio de Drucker-Prager para simular la plasticidad. La sistemática de parámetros investigados ha consistido en la variación del ángulo de fricción interno (φ) y cohesión (C) de una capa rígida rodeada de capas más blandas. Los resultados preliminares sugieren que para valores bajos de ambos parámetros se produce una deformación dominantemente plástica, localizada y con el desarrollo de flancos inversos reducidos en longitud que acaban fracturándose por cizallamiento. Por otro lado, a medida que aumentan ambos valores la deformación se muestra dominantemente viscosa, con la formación de pliegues recumbentes mediante un mecanismo de rotación de la charnela. En estos casos, los flancos inversos son largos, sub-horizontales y se ven extremadamente adelgazados a medida que avanza la deformación hasta su boudinage y cesión final. Se están llevando a cabo más simulaciones para confirmar y concretar estos resultados preliminares.

Abstract

Tectonic nappes are typical structural features in orogenic belts worldwide and include two end members, namely thrust nappes and fold nappes. Previous studies have been carried out with application to the Helvetic nappes of the Alps, highlighting the relevance of the mechanical stratigraphy involved in the deformation. Here, we use the thermomechanical staggered finite difference code LaMEM to perform 2D parametric simulations in order to study changes in deformation style between thrust nappes (localized deformation, dominantly plastic/brittle behaviour) and recumbent fold nappes (distributed deformation, viscous/ductile behaviour). We apply the results obtained to the alpine Eaux-Chaudes fold nappe (west- central Pyrenees). The simulations are performed using a linear viscoelastoplastic rheology with the Drucker-Prager criterion for plasticity. The systematic parametrization consists of varying the friction angle (φ) and the cohesion (C) of a stiff layer surrounded by weaker layers. For simulations with low φ and C values the resulting deformation style is dominantly plastic, leading to the development of a recumbent fold with short and thrust-faulted reverse limb. As we increase both C and φ values, the deformation style turns to viscous dominated and the development of recumbent fold nappes with large, subhorizontal and extremely thinned overturned limb is favoured. In these cases, the fold development is accomplished by hinge rotation mechanism. Further simulations are in progress to test these preliminary results.

Large scale structure of an Intraplate Fold-and-Thrust Belt: The Iberian Chain.

Estructura a gran escala de un cinturón de pliegues y cabalgamientos intraplaca: La Cadena Ibérica.

Joan Guimerà

Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB). Martí i Franqués s.n., 08028 Barcelona. joan.guimera@ub.edu

Keywords: *Thrust belt. Intraplate deformation. Cross-section model. Iberia.*

Abstract: *The Iberian Chain is an intraplate fold-and-thrust belt developed during the late Eocene to Miocene because of the contractional inversion of the Iberian Mesozoic Basins. Its dominant trend is NW-SE, but E-W-, NE-SW- and N-S-trending structures are also present inside it. Its NE and SW boundaries are major thrusts: The North Iberian Thrust and the Serranía de Cuenca Thrust. The thrust-sheet on top of these thrusts, display two big anticlinoriums, separated by the big Almazán Synclinorium. They are interpreted as major fold-bend folds developed over the ramp and flat geometry of the two major thrusts. The level of erosion is low in most of its extent, so there is a small difference between the tectonic and the topographic reliefs. Hence, a low dip is needed for the major thrusts. A model section is presented which fits a cross-section thru the chain. A total displacement of 60km of the thrust-sheet is needed to fit the cross-section geometry, and the sole thrust is located at a depth of 10km.*

Resumen: La Cadena Ibérica es un cinturón de pliegues y cabalgamientos desarrollado durante el Eoceno Superior y el Mioceno por la inversión contractiva de las Cuencas Mesozoicas Ibéricas. Su dirección dominante es NW-SE, aunque también contiene estructuras de direcciones E-W-, NE-SW- y N-S. Sus límites NE y SW son cabalgamientos mayores: el Cabalgamiento Nord-ibérico y el Cabalgamiento de la Serranía de Cuenca. La lámina de cabalgamiento sobre estos dos cabalgamientos contiene dos grandes anticlinorios, separados por el gran Sinclinorio de Almazán, que se interpretan como grandes pliegues de acomodación a la geometría en rampas y rellanos de los cabalgamientos. El nivel de erosión es bajo en su mayor parte; por tanto, la diferencia entre los relieves tectónico y el topográfico es pequeña. De ello se deduce un buzamiento bajo para los cabalgamientos mayores. Se presenta un modelo de corte geológico que reproduce la geometría de un corte geológico a través de la cadena. Para obtener una buena coincidencia entre ambos cortes, el desplazamiento total necesario en los dos cabalgamientos es de 60 km, y el cabalgamiento basal se sitúa a 10 km. de profundidad.

INTRODUCTION

The Iberian Chain (Fig. 1A) encompasses the contractional structures generated during the Cenozoic inversion of the Iberian Mesozoic basins. All these structures developed within the Iberian Plate, during the Mesozoic, in a dominant extensional regime governed by the evolution of the Tethys and the opening of the Atlantic. By the end of the Cretaceous, palustrine sediments with marine incursions were deposited (Canérot et al., 1982) indicating they were near sea-level, 200 to 300m above the present one. A thinning of the post-Variscan crust is deduced from this evolution. During the Cenozoic, the Mesozoic basins were contractively inverted because of the convergence of the Eurasian and African plates, which also generated the Pyrenean-Cantabrian Chain and the Betic-Balearic Chain at the North and South borders of the Iberian Plate.

The Iberian Chain is surrounded by the Ebro, Duero, and Tajo Cenozoic foreland basins to the North, North-West and West, the Ebro and Duero basins separating it from the Pyrenean-Cantabrian Chain and being their common foreland basins. The Iberian Chain has a length of 400km along a NW-SE direction (between the Duero Basin and the Mediterranean) and its width is between 125km and 280km in a NE-SW direction (between the Tajo and Ebro basins).

Cenozoic contractional structure

The boundaries of the chain with its surrounding foreland basins are always thrusts. Two major thrusts can be recognized (Fig. 1 A and B): i) the North-Iberian Thrust, separating the chain from the Ebro and Duero basins and ii) the Serranía de Cuenca Thrust which separates it from the Tajo Basin and the flat-lying area of La Mancha. Between these two thrusts, the thrust-system is basement involved. In most of its extension, the Serranía de Cuenca Thrust branches to the foreland to the Altomira Thrust, which involves only the Mesozoic and Cenozoic cover and includes the Loranca piggy-back basin in its overlying thrust-sheet.

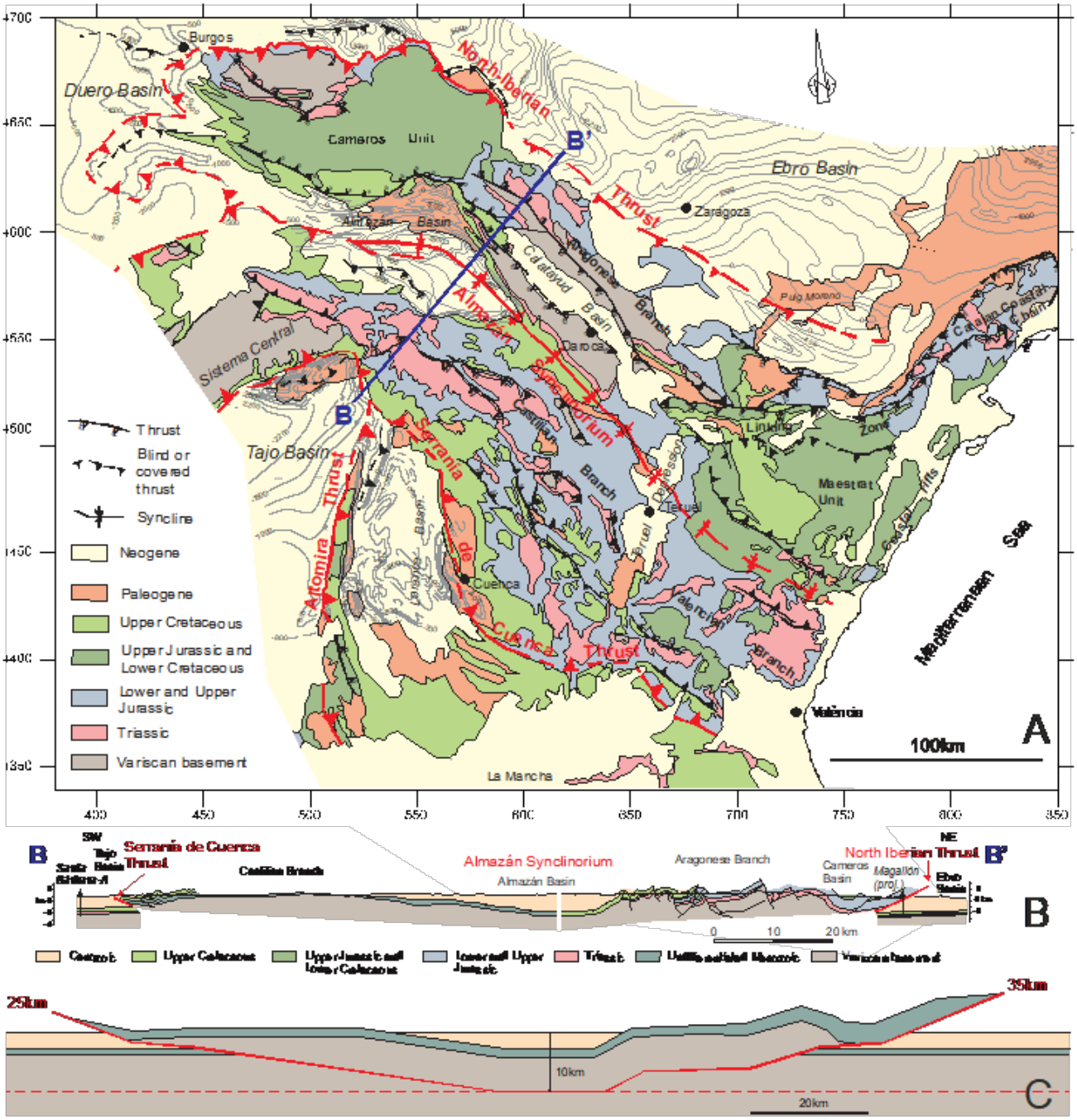


Fig 1. A) Simplified geological map of the Iberian Chain and surrounding Cenozoic basins. Contour lines of the carbonatic Upper Cretaceous top (Duero and Almazán), the Cenozoic base (Ebro) and of the base of the Upper Albian Utrillas Formation (Tajo) are shown in the syn-orogenic basins. Contour lines of the Ebro, Duero and Tajo basins are from Instituto Teconológico Geominero de España (1990). Contour lines of the Almazán Basin are from Casas-Sainz *et al.* (2000). Location of the geological cross-section (B-B') and the UTM coordinates in km (30T, ED50) are also shown. B) Geological cross-section across the Iberian Chain (modified from Guimerà *et al.*, 2004, and Guimerà, 2018). C) Model section of B-B' performed with Move®. Displacements in the northern and southern thrusts are indicated.

Reflection seismic profiles going thru the major thrusts of the chain are only found in the Cameros unit. After them, 25-30km of horizontal and up to 4 km of vertical displacements have been deduced (Casas-Sainz, 1993; Guimerà et al., 1995) for the North Iberian Thrust in that area. Isobaths of the base of the Cenozoic in the Ebro basin show how the vertical displacement of this fault is diminishing to the SE. In a section thru the Serranía de Cuenca Thrust, Muñoz-Martín and de Vicente (1998) have deduced up to 18.5km of displacement to this thrust. To these values, the internal deformation of the thrust sheets should be added.

Considering the major structures over the North-Iberian and Serranía de Cuenca thrusts, two parts can be differentiated, which depict two anticlinoriums, separated by the Almazán Synclinorium, all of them oriented NW-SE. The northern one contains the Cameros Unit, the Aragonese Branch, and the Maestrat Unit and the southern one is

constituted by the Castilian-Valencian Branch. The dominant vergence is N to NE in the northeastern part while in the southwestern part the dominant vergence is to the SW.

Level of erosion: topographic and tectonic relief.

When comparing the topography of the Iberian Chain with its structure a good match is obtained. This supports the generation of this relief as a result of the Cenozoic contraction. More than half the surface of the Iberian Chain is above 1000m, while several areas having a surface higher than several hundreds of kilometers are above 1500m.

The areas with higher relief are coincident with the two big anticlinoriums previously described. These anticlinoriums are clearly depicted by the Upper Cretaceous rocks (Fig. 1 A and B) which, being the younger rocks before the Cenozoic contraction, are good markers of the overall deformation. The Upper Cretaceous rocks are found progressively at higher elevations through the inner parts of the chain, being over 1800m at the core of the Castilian Branch and West and South of Teruel.

The preservation of Upper Cretaceous rocks, even at many of the high elevated areas, indicates a low erosion of the orogenic building of the Iberian Chain in most of its extent: in the Castilian-Valencian Branch, the SE part of the Aragonese Branch and the Maestrat Unit.

In the Cameros Unit and extensive areas of the Aragonese Branch erosion has been deeper, although Mesozoic cover have been preserved in many areas. Here there is a bigger difference between the topographic relief and the tectonic relief, although, in the areas of the Aragonese Branch lacking the Mesozoic cover, it was thin, 1500m at most.

Large-scale geometry of the contractional system

The deep geometry of the Iberian Chain thrust-system can be established after the major structures at surface. These are the North Iberian and Serranía de Cuenca thrusts and the anticlinoriums above them, separated by the Almazán Synclinorium. The last three structures are interpreted as major fold-bend folds developed inside the thrust-sheets, over the two major thrusts. The low tectonic relief in the anticlinoriums needs for a low dip of the two bounding thrusts.

A model section was performed after a cross section made from field data, oil boreholes and, in the Almazán basin, reflection seismic profiles (Fig. 1 B). This section displays the two bounding thrusts of the chain, and the Almazán Synclinorium separating the N and S anticlinoriums. A significant feature of this section is the coincidence of the depth of the Cenozoic rocks in the Ebro and the Almazán basins, while this depth is slightly less in the Tajo basin.

The section was performed using the software Move® and assuming the formation of fault-bend folds over thrusts with ramp-flat geometry (Fig. 1 C). Dips about 8º are obtained for the deep ramps, and about 20º for the frontal ramps. The sole-thrust depth obtained is 10km. No crustal thickening is generated beneath the foreland basins and the Almazán Basin. The displacement was 35km for the North-Iberian Thrust and 25km for the Serranía de Cuenca Thrust. With these parameters, a good match of the geometry of the anticlinoriums and the Almazán Synclinorium, and of the relative depth of the foreland basins and the Almazán Basin was obtained between the cross-section and the model section. The tectonic relief generated in the model also matched that of the cross-section. The internal deformation of the thrust-sheets should be added to the total 60 km of the thrusts' displacements.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by research projects "Tectónica Salina en Cinturones Contractivos" (SALTCONBELT-CGL2017-85532-P), funded by Agencia Estatal de Investigación (AEI) and Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); BIOGEOEVENTS (CGL2015- 69805-P) of the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (MINECO) and the European Fund for Regional Development (EFRD); and by GEOMODELS Research Institute and the Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques (2014SGR-467). The author also thanks PETEX for the academic license of Move®.

REFERENCES

Canérot, J., Cugny, P., Pardo, G., Salas, R. and Villena, J. (1982). In: García, A. (ed.). El Cretácico de España. Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 273-344.

Casas-Sainz, A.-M. (1993). Geodinamica Acta, 6(3), 202-216.

Casas-Sainz, A.-M., Cortés Gracia, A.L. and Maestro-González, A. (2000). Tectonics, 19(2), 258-289.

Guimerà, J. (2018): Geologica Acta, 16(4), 427-438. doi: 10.1344/GeologicaActa2018.16.4.6.

Guimerà, J., Alonso, A. and Mas, R. (1995). In: Buchanan, J.G., Buchanan, P.G. (eds.). Basin Inversion. The Geological Society of London, 88 (Special Publications), 433-453.

Guimerà, J., Mas, R. and Alonso, A. (2004). Journal of the Geological Society of London, 161(2), 291-303.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1990). Documentos sobre la Geología del subsuelo de España. Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerior de Industria y Energía, 13vols.

Muñoz Martín, A. and de Vicente, G. (1998). Revista de la Sociedad Geológica de España, 11(3-4), 233-252.

Cartografía geológica y estudio estructural del Sistema de Fallas Alpinas de Cabuérniga (Norte de Iberia)

Geological map and structural study of the Cabuérniga Alpine Fault System (North of Iberia)

N. Heredia[1], F. Martín-González[2], P. Farias[3], J. García-Sansegundo[3], B. Gonzalo-Guerra[1], D. Pedreira[3], G. García-Davia[3], G. Mateos-Herrero[3], A. G. Flórez[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Unidad de Oviedo, C/ Matemático Pedrayes 25, 33005 Oviedo. n.heredia@igme.es
2 Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid.
3 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo.

Palabras clave: Sistema de fallas de Cabuérniga, Región Vasco-Cantábrica, Zona Cantábrica, orogenia Alpina, reactivación de estructuras

Resumen

El Sistema de Fallas Alpinas de Cabuérniga discurre a lo largo de aproximadamente 150 km con dirección predominante E-O entre las localidades de Arriondas (Asturias) y Ramales de la Victoria (Cantabria), muy cerca de la costa cantábrica. En su parte oriental, estas fallas afectan a rocas mesozoicas de la Región Vasco-Cantábrica y han jugado en muchos casos como fallas ligadas a la extensión permo-mesozoica, posteriormente reactivadas como fallas inversas asociadas al levantamiento alpino de la Cordillera Cantábrica. En la parte occidental, las fallas atraviesan el zócalo paleozoico de la rama N del arco Ibero-Armoricano en la Zona Cantábrica, afectada por un gran número de cabalgamientos variscos de dirección predominante E-O y por fallas tardivariscas de trazado NO-SE. Algunas de estas estructuras han sufrido a su vez reactivaciones durante la extensión permo-mesozoica y/o durante el acortamiento alpino. Con el fin de avanzar en el conocimiento de la compleja historia temporal y cinemática de estas fallas y su relación con la sedimentación permo-mesozoica y con diferentes eventos de generación de yacimientos minerales, se ha realizado una nueva cartografía a E:1:25.000 como base para un estudio estructural de detalle. Dicha cartografía se apoya en Mapa Geológico Digital Continuo (GEODE) de la Cordillera Cantábrica, complementándose con la realización de cartografías de detalle en diferentes sectores. En este trabajo se presenta una síntesis de dicha cartografía con seis cortes geológicos seriados en dirección N-S que ilustran la compleja historia de reactivaciones de este sistema de fallas.

Abstract

The Cabuérniga Alpine Fault System runs along approximately 150 km with a predominantly E-O direction between the towns of Arriondas (Asturias) and Ramales de la Victoria (Cantabria), very close to the Cantabrian coast. In its eastern part, these faults affect Mesozoic rocks of the Basque-Cantabrian Region and have played in many cases as faults linked to the Permo-Mesozoic extension, subsequently reactivated as reverse faults during the Alpine uplift of the Cantabrian Mountains. In the western part, the faults cut the Paleozoic basement of the northern branch of the Ibero-Armorican Arch in the Cantabrian Zone, affected by a large number of Variscan thrusts with predominant E-W trends and by NW-SE late-Variscan faults. Some of these structures have been reactivated as normal faults during the Permo-Mesozoic and/or as reverse faults during the alpine shortening. In order to advance in the knowledge of the complex temporal and kinematic history of these faults and their relationship with the Permo-Mesozoic sedimentation and with the generation of mineral deposits, we conducted a new geological mapping at 1:25,000 scale as the basis for a detailed structural study. This mapping is based on the Continuous Digital Geological Map (GEODE) of the Cantabrian Mountains, complemented with detailed maps in different sectors. This contribution presents a synthesis of that cartography and six serial geological sections in N-S direction that illustrate the complex history of reactivations of this fault system.

The role of the Ronda basin on the accommodation of different transport directions along the western Gibraltar Arc (last 10 my)

El papel de la cuenca de Ronda en la acomodación de direcciones de transporte diferentes a lo largo del arco de Gibraltar occidental (últimos 10 ma)

A. Jiménez-Bonilla, J.C. Balanyá, I. Expósito y M. Díaz-Azpiroz

Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, Cra. Utrera km 1, 41013 Sevilla ajimbon@upo.es, jcbalrou@upo.es, iexpram@upo.es y mdiaazp@upo.es

Abstract: *Structures that give rise intermontane basins within fold-and-thrust belts may act as transference zones. In this work, we study the S Ronda basin boundary, apex part of the Gibraltar arc, to discuss its role as a transfer zone in the fold-and-thrust belt evolution during the last 10 My. This S boundary is characterized by the continuation of the Upper Miocene-Recent normal fault zone of the NE boundary (BNFZ). This array of fault together with those of the SW boundary do not penetrate farther S, locating the S tip of the Ronda basin at its S boundary. The presence of this tip would imply counter clockwise vertical axis rotations of the W margin respect to the E margin. These rotations are congruent with variations of slip directions in normal faults and the radial tectonic transport of upper Miocene-Recent shortening structures within this fold-and-thrust belt segment located at the apex of the Gibraltar arc. This strain partitioning mode and basin inception are similar to those expected by analogue models of progressive arcs.*

Keywords: *normal fault, rotation, Upper Miocene-Recent, slip direction*

Resumen: Las estructuras que dan lugar a cuencas intramontañosas dentro de cinturones de pliegues y cabalgamientos pueden actuar como zonas de transferencia. En este trabajo, estudiamos el borde S de la cuenca de Ronda, parte apical del arco de Gibraltar, para discutir su papel como zona de transferencia en la evolución del cinturón de pliegues y cabalgamientos durante los últimos 10 Ma. Este borde S está caracterizado por la continuación de la zona de falla normal Mioceno Superior-Reciente del borde NE (BNFZ). Estas fallas junto con las del borde SO no penetran más al S, localizando la terminación S de la cuenca de Ronda en su borde S. La presencia de esta terminación implicaría rotaciones en el eje vertical en sentido antihorario del margen O respecto al margen E. Estas rotaciones son congruentes con las variaciones de las direcciones de desplazamiento de las fallas normales y las direcciones de transporte radiales de las estructuras de acortamiento Mioceno Superior-Reciente en este segmento del cinturón de pliegues y cabalgamientos en la zona apical del arco de Gibraltar. Este reparto de la deformación y nucleación de cuencas son similares a los esperados en modelos analógicos de arcos progresivos.

Palabras clave: falla normal, rotación, Mioceno Superior-Reciente, dirección de slip

INTRODUCTION

Although all intermontane basins are characterized as depressed areas within the heart of actively growing mountain ranges, the tectonic setting that controls their inception and development is very wide. In extreme cases: contractional (e.g. piggy-back basins), extensional (e.g. rift-related basins) and strike-slip settings (e.g. pull-apart basins). When these basins are located in the external zones of orogens, the structures involved in basin inception can act as transfer zones accommodating differences in displacement and slip directions between fold-and-thrust belt segments (e.g. Salar de Atacama Basin; Kuhn, 2002).

The Ronda basin, which is an intermontane basin located in the western Betics, interrupts along-strike the Betics fold-and-thrust belt. This basin formed as an embayment of the Guadalquivir foreland basin due to the Tortonian activity of normal faults. These NW-SE faults are clustered at the NE and SW boundaries of the Ronda basin (Fig. 1; Jiménez-Bonilla et al., 2011; 2012; 2015). It was later disconnected due to the tectonic uplift of the NW boundary of the Ronda basin, which behaved as a SW-NE dextral transpressive band (Jiménez-Bonilla et al., 2015; Fig. 1).

The tectonic control on the Ronda basin inception and isolation is well-constrained (Jiménez-Bonilla et al., 2015). Nevertheless, overall basin kinematics and its role as a possible transfer zone along-strike this fold-and-thrust belt segment are scarcely known. This work focuses on the study of the upper Miocene to Recent structure and kinematics of the S boundary of the Ronda basin, considered as a passive boundary, to improve the knowledge of the basin kinematics and to discuss the role of the basin within the western Betics fold-and-thrust belt evolution during in the last 10 My.

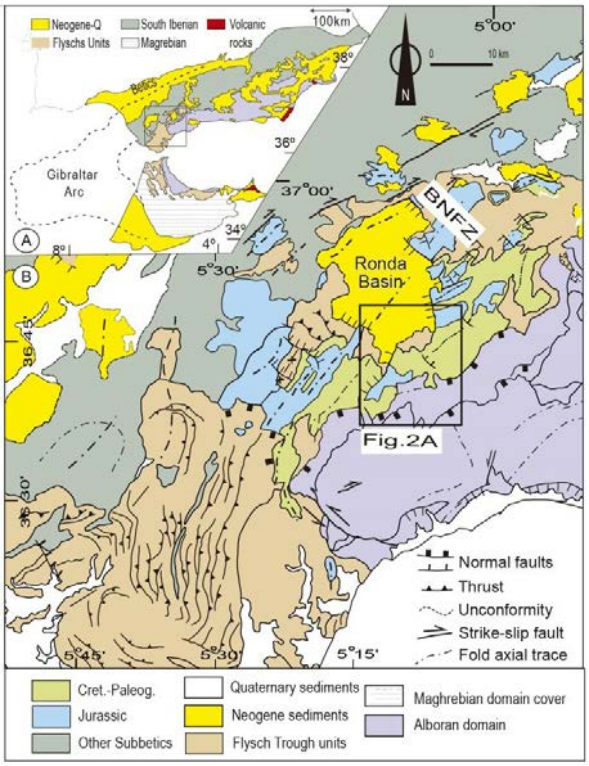


FIGURE 1. Geological map of the Gibraltar Arc and geological map of the western Betics.

TECTONIC SETTING

The Betics, the northern branch of the Gibraltar Arc, was built by the Neogene collision between the Alborán domain (internal zones) and the South Iberian paleomargin. Flysch Trough units were sandwiched between both domains (Fig. 1).

The fold-and-thrust belt in the western Betics is characterized by a Neogene strain partitioning between arc-perpendicular shortening and arc-parallel stretching (Balanyá et al., 2007; Crespo-Blanc et al., 2016). During the main deformation event (lower to middle Miocene), Flychs Trough units were thrusted over paleomargin-derived units. During the late deformation event (upper Miocene to Recent), arc-parallel, kilometric scale folds developed coetaneous to arc-perpendicular normal faults. This tectonic setting conditioned the Ronda basin inception and development (Jiménez-Bonilla et al., 2015).

In the southern boundary of the Ronda basin, paleomargin derived units are represented by the Penibetic sequence composed of Middle Triassic dark dolostones, Upper Triassic clays and evaporites, Jurassic dolostones and limestones and Cretaceous to Paleogene marly-limestones (Martín-Algarra, 1987). Flyschs Trough units crop out as klippen composed of Oligocene to lower Miocene turbiditic greywackes (Martín-Algarra, 1987). The Tortonian to Messinian infill of the Ronda basin, smoothly deformed, overlies both Penibetic and Flyschs Trough units.

RESULTS

The S boundary of the Ronda basin corresponds to the inner fold-and-thrust belt segment of the western Betics, at the apex of the Gibraltar Arc. In this work, we study the structures that belong to the late deformation, upper Miocene-Recent, event.

Late shortening structures

In the S boundary of the Ronda basin, late shortening is accommodated by ENE-WSW folds whose axes run more than 15 km. These folds must be detached in the Lower Triassic given that Middle Triassic dolostones crop out in folds core (Fig. 2A). Folds continuity is interrupted along-trike due to their doubly-plunging axes and the activity of arc-perpendicular normal faults.

Their post-Serravallian age is well constrained because these folds affect lower-middle Miocene structures such as the main detachment between the Flyschs Trough units and the Penibetic (Figs. 1 and 2). These folds also affect the Tortonian to Messinian Ronda basin infill. When geomorphic analyses are applied, they indicate that some of these folds would have tightened during the Quaternary (Jiménez-Bonilla et al., 2015).

In the Ronda basin S boundary, some reverse faults associated with fold limbs show that slip directions (N154ºE-N167ºE) are nearly perpendicular to fold traces. Along-strike the inner fold-and-thrust belt, previous works show that slip directions for post-Serravallian shortening in the SW Ronda basin boundary ranges between N106ºE and N125ºE whilst in the NE boundary ranges between N130ºE and N178ºE (Fig. 3; Jiménez-Bonilla et al., 2015).

Late stretching structures

Within the S boundary of the Ronda Basin, late stretching structures are represented by NW-SE to NE-SW normal fault segments with lengths between some meters and up to 10 km long. Most of them dip steeply towards the W.

These stepped faults in plan view are grouped into two normal fault zones. To the E, the fault zone is ca. 5 km wide and it is constituted by curvilinear fault segments oriented from NW-SE to NE-SW (Fig. 2A, B and C). Normal fault segments are relieved by non-faulted transfer zones. These faults are dip-slip dominated and mostly dipping towards the W, descending the W block (Figs. 2A, 2B and 2C). Vertical slip related to these faults is not higher than 250 m and it seems to decrease to the S given that they do not penetrate in the Alborán domain. These faults can be considered as the S tip of the Borbollón Normal Fault Zone (BNFZ) because they are in continuity to the N with this normal fault zone located at the NE boundary of the Ronda basin (Jiménez-Bonilla et al., 2012; Fig. 1). However, the strike changes progressively from ca. N160ºE at the northern segment to N15ºE at the S (Fig. 1). These normal faults affect the Tortonian to Messinian infill (Fig. 2D) and play frequently the role of border faults.

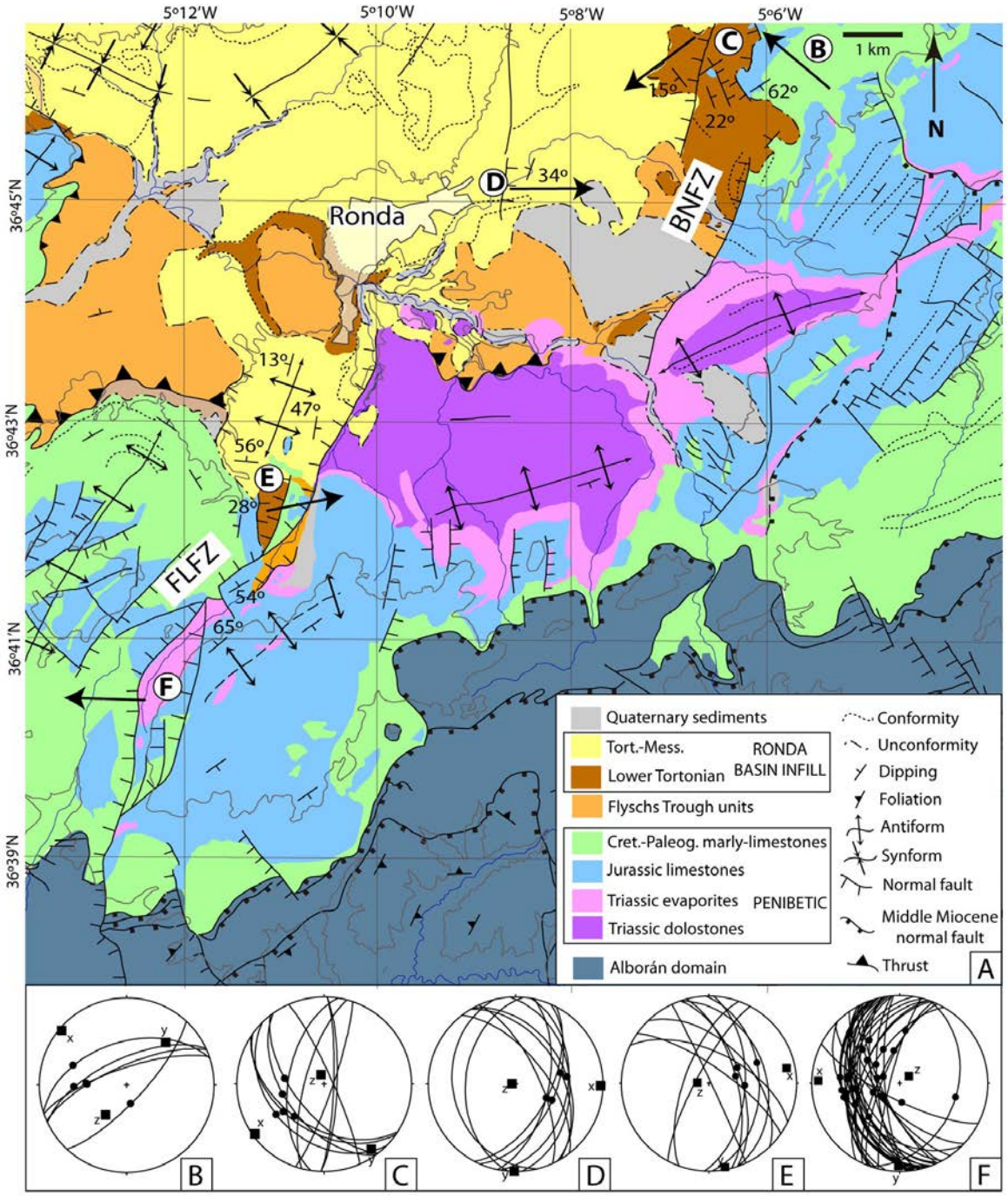


FIGURE 2. (A) Geological map of the S boundary of the Ronda Basin. (B), (C), (D), (E) and (F) Lower hemisphere, equal area plots of upper Miocene to Recent normal faults. See Fig. 2A for location.

To the W, normal faults are grouped into a narrower normal fault zone more than 15 km long, hereafter called as Fray Leopoldo fault zone (FLFZ). Although it is overall N20ºE, it has a sinouous fault trace, even generating double-tip breaching fault segments. Faults dip between 60º and 85º to the W (Figs. 2E and F). Slickenlines together with kinematic criteria show that these faults are dip slip dominated, descending the W block. Vertical slip associated with this fault must be higher than 1 km. At its N tip, this fault behaves as a border fault of the Ronda Basin. Associated with fault activity, a NNE-SSW rollover developed in the basin infill (Fig. 2A). Due to brittle conditions, some E dipping normal faults formed at the W limb of the rollover. Vertical slip decreases to the S, but it affects the Penibetic-Alborán domain contact.

The BNFZ and FLFZ are relieved by an unbreched relay ramp dominated by smooth dip angles to the N.

DISCUSSION

Previous works defined the geometry of the Ronda basin as an asymmetric graben controlled by a SW boundary with kilometric accumulated vertical slip and a NE boundary with a hectometric accumulated vertical slip, later closed

to the NW by a dextral transpressional fault zone (Jiménez-Bonilla et al., 2015). New data allow us to better define the 3D geometry of the basin. The BNFZ in the NE basin boundary may extend to the S changing its overall trend from NW-SE to NNE-SSW. The BNFZ relieves to the W with the NNE-SSW FLFZ. This array of faults depicts in plan view a concave geometry towards the NW (Fig. 3). The tip of the normal fault system of the SW basin boundary also seems to locate close to the S tip of this array of faults. Thus, this point could have played the role of the S tip of the Ronda basin during upper-Miocene onwards. The mere fact of the presence of this tip would imply counter clockwise vertical axis rotations of a W block (SW Ronda basin boundary) respect to the E block (S and NE Ronda basin boundaries) of the basin (Fig. 3).

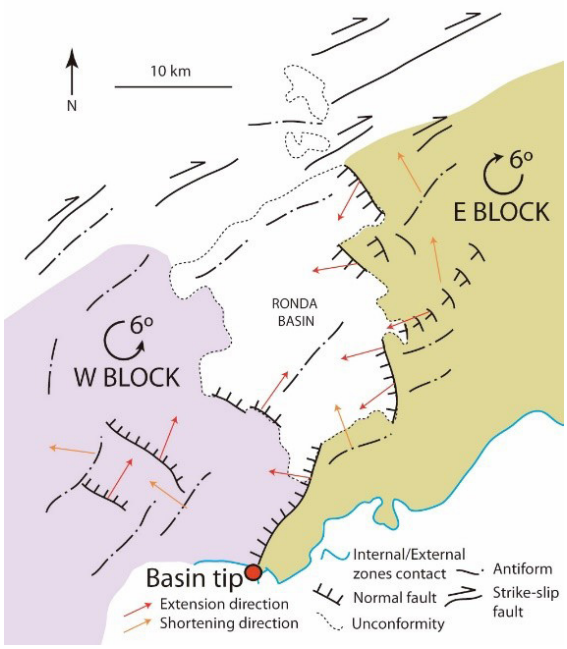


FIGURE 3. Structural map of the Ronda basin area showing extension and shortening directions

Slip directions show at least 5° of counterclockwise rotations of the W block respect to E block (Fig. 3). Slip directions draw a radial outward tectonic transport in this fold-and-thrust belt segment (Fig. 3). Slip directions in normal faults also show a counter clockwise rotation of at least 10° in the W block respect to the E block (Fig. 3). Taking into account this amount of vertical axis rotation, the horizontal extensional displacement generated would be ca. 2-3 km, but normal faulting is distributed, thus generating a more than 12 km wide basin. Different vertical axis rotations are found along-strike the Betics fold-and-thrust belt (Crespo-Blanc et al., 2016).

It should be noted the importance of the Ronda basin as a transfer zone between two fold-and-thrust segments in the Western Betics, not only to accommodate differential displacements, but also to accommodate differences in block rotations. This outward radial slip directions and the along-strike inception of intermontane basins in fold-and-thrust belts are common features expected in fold-and-thrust segments located at the apex part of progressive arcs as it is observed in analogue models (Jiménez-Bonilla et al., 2020).

ACKNOWLEDGES

This study was supported by projects PGC- 2018-100914-B-100 and UPO-1259543.

REFERENCIAS

Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz Azpiroz, M., Expósito, I. y Luján, M. (2007):Structural trend line pattern and strain partitioning around the Gibraltar Arcaccretionary wedge: insights as to the mode of orogenic arc building. *Tectonics*, 26: 1-19.

Crespo-Blanc, A., Comas, M. y Balanyá, J.C. (2016): Clues for a Tortonian reconstruction of the Gibraltar Arc: Structural pattern, deformation diachronism and block rotations. *Tectonophysics*, 683: 308-324.

Kuhn (2002): Fold and thrust belt structures and strike-slip faulting at the SE margin of the Salar de Atacama basin, Chilean Andes. *Tectonics*, 21: 1026-1043.

Jiménez-Bonilla, A., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Díaz-Azpiroz (2011): Superposición de estructuras y controles tectónicos en el desarrollo del límite SW de la depression de Ronda (Subbético y Complejo de Flyschs, Béticas). *Geogaceta*, 50: 23-36.

Jiménez-Bonilla, A., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Díaz-Azpiroz, M. (2012): Control tectónico de las diferencias de relieve estructural y topográfico en el margen NE de la depresión de Ronda (Béticas Occidentales). *Geo-Temas* , 13: 499- 503.

Jiménez-Bonilla, A., Expósito, I., Balanyá, J.C., Díaz-Azpiroz., M., Barcos, L., (2015): The role of strain partitioning on intermontane basin inception and isolation, External Western Gibraltar Arc. Journal of Geodynamics, 92: 1-17.

Jiménez-Bonilla, Crespo-Blanc, A., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Díaz-Azpiroz, M. (2020). Analogue models of fold-and-thrust wedges in progressive arcs. Comparison with the Gibraltar Arc external wedge. *Frontiers in geology*. Accepted.

Martín-Algarra, A. (1987). Evolución geológica alpina del contacto entre las zonas internas y externas de la Cordillera Bética. Unpublished Ph.D. Thesis, Univ. Granada, 1171p.

Complex structure in the apical part of the western Gibraltar Arc (Tesorillo permit, Cádiz)

Estructura compleja en la parte apical del Arco de Gibraltar occidental (permiso de Tesorillo, Cádiz)

A. Jiménez-Bonilla[1,2], C. Venturini[2] y A. Stavrou[2]

1 Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Facultad Ciencias Experimentales, Universidad Pablo de Olavide 41013, Sevilla.
2 TARBA energía, Cuesta Sancti Spiritus, 14. Entreplanta, Puerta 1. 3700, Salamanca

Keywords *thrust, vergence, mountain range and fold.*

Resumen

Tarba energía, una compañía española fundada en 2008 para la exploración de gas, trabaja actualmente en el Proyecto de Tesorillo. Para mejorar la comprensión del potencial de exploración de gas de esta área, se ha llevado a cabo una nueva interpretación estructural. Presentamos por tanto un nuevo mapa estructural del permiso de "Tesorillo", Cádiz. En esta área, las rocas aflorantes son: (1) arcillas Senonienses (U. Almarchal) y arcillas Paleógenas (Aljibe U.) que actúan como despegues y (2) areniscas cuarzosas Aquitanienses-Burdigalienses (Aljibe U.).

Al S del permiso, hay dos sierras NNO-SSE compuestas de la U. Aljibe. La sierra oriental constituye una lámina que buza suavemente al O, bajo la U. Almarchal. La sierra occidental forma otra lámina que cabalga sobre la U. Almarchal. Así, esta área está caracterizada por una estructura en sándwich vergente al E. Ambas sierras están deformadas internamente en sistemas imbricados vergentes al ENE. Al N del permiso, las directrices cambian drásticamente y las sierras de U. Aljibe que cabalgan sobre la U. Almarchal tienen una vergencia SSO. Este cabalgamiento está localmente invertido. La U. Almarchal está también deformada por pliegues en-echelon y de escala kilométrica. Estos pliegues están orientados ONO-ESE, rotados en sentido antihorario respecto al cabalgamiento principal de la U.Aljibe sobre la U. de Almarchal. Estos pliegues afectan a sedimentos Pliocenos.

Este contexto tectónico complejo, probablemente debido a una superposición de episodios de acortamiento, es típico en zonas apicales de sistemas orogénicos curvos, como se observa en modelos analógicos. Este trabajo también constituye una contribución al conocimiento de este margen de placa en el S de Europa aún nunca estudiado en detalle, teniendo una importancia crítica en el desarrollo de la prospección de gas.

Abstract

Tarba energía, which is a spanish Company founded in 2008 for gas exploration, currently works on the Tesorillo Project. To better understand the exploration potential of this area, a new structural interpretation has been undertaken. We therefore present a new structural map of the "Tesorillo" pemit, Cádiz province. In this area, the rocks that crop out are: (1) Santonian clays (Almarchal U.) and Palaeogene clays (Aljibe U.) that act as detachment levels and (2) Aquitanian-Burdigalian quartzitic sandstones (Aljibe U.).

To the S of the permit, there are two NNW-SSE mountain ranges, composed of the Alijbe U. The eastern mountain range constitutes a sheet that dips smoothly to the W, under the Almarchal unit. The western Aljibe U. mountain range forms another sheet that thrusts onto the Almarchal Unit. Thus, a ENE vergent sandwiched structure characterizes this zone. Both mountain ranges are also internally deformed into ENE-vergent imbricate systems. To the N of the permit, the tectonic grain drastically changes, Aljibe U. mountain range thrust over the Almarchal U. with a SSW vergence. This thrust is locally inverted. Almarchal U. is also deformed by en-echelon, kilometric-scale folds. These folds are WNW-ESE, thus they are counter clockwise rotated respect to the main thrust of the Aljibe unit over the Almarchal unit. These folds also affect Pliocene sediments.

This complex tectonic setting, probably aided by superposition of shortening episodes, is typical of apical parts of curved orogenic systems as it is predicted by analogue models. Thus, this work constitutes a significant contribution to the knowledge of this plate margin in the S Europe yet never studied in detail, and can have critical importance in gas prospect development.

Inversión tectónica negativa y estructuración de la zona de relevo entre las fallas normales plio-cuaternarias de Calamocha y Daroca

Negative inversion tectonics and structuring of the relay zone between the Plio-Quaternary normal faults of Calamocha and Daroca

C. Liesa[1], M.B. Corral[2], L. Arlegui[1], A. Peiro[1] y J.L. Simón[1]

1 Grupo de Investigación *Geotransfer*, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. carluis@unizar.es, arlegui@unizar.es, apeiro@unizar.es, jsimon@unizar.es

2 Avda. Diputación Provincial 31, 50440 Mozota (Zaragoza), Spain. riveraesvida@gmail.com

Palabras clave: inversión tectónica, relevo de fallas, fracturación longitudinal.

Resumen

Las fallas normales plio-cuaternarias NNW-SSE de Calamocha y Daroca forman un relevo diestro con una anchura de 1,9 km. En la zona de relevo, estas fallas normales están situadas en los bloques superiores de cabalgamientos alpinos del margen oeste de la Cuenca de Calatayud, siendo resultado de su inversión tectónica negativa (Colomer y Santanach, 1988; Casas *et al.*, 2018). Este estudio ha permitido caracterizar que la zona deformada es más amplia, reconociéndose: i) un cabalgamiento de dirección N170ºE que tiene asociado, en su bloque superior occidental, una falla normal (cabalgamiento y falla de Lechago, respectivamente), y ii) otras fallas normales subparalelas a las principales que afectan a la serie neógena. Interpretamos que la estructura compresiva alpina era más compleja, con varios cabalgamientos vergentes al este, y que durante la extensión plio-cuaternaria tuvo lugar la inversión tectónica negativa de gran parte de ellos. Se generaron fracturas longitudinales, un suave basculamiento (<10º) hacia el este de los bloques de falla y, en general, una deformación mucho más distribuida en la región, siguiendo el modelo de zonas de relevo de fallas descrito por Peiro *et al.* (2020).

Abstract

The NNW-SSE-striking and west-dipping Plio-Quaternary Calamocha and Daroca normal faults form a 1.9 km wide right relay zone. In the relay zone, these faults are located within the hanging-wall blocks of Alpine thrusts of the western margin of the Calatayud Basin, being the result of their negative tectonic inversion (Colomer and Santanach, 1988; Casas et al., 2018). This study has allowed us to characterize that the deformed zone is wider, recognizing: i) a N170ºE striking thrust that has associated, in its western hanging-wall block, a normal fault (Lechago thrust and fault, respectively) and ii) other normal faults sub-parallel to the main ones affecting the Neogene series. We interpret that the compressive structure was more complex, with different east-verging thrusts, and that during the Plio-Quaternary extension, the ne-gative tectonic inversion of great part of them occurred. The consequences of the inversion are longitu-dinal fractures, gentle tilt (<10º) to the east of all the fault blocks and, in general, a much more distribu-ted deformation in the region, following the model of fault relay zones described by Peiro et al. (2020).

Referencias

Casas, A.M., Gil, A., Simón, J.L., Izquierdo, E., Aldega, I., Román, T., Osácar, C., Pueyo, O., Ansón, M., García, C., Corrado, S., Invernizzi, C. y Carizzi, C. (2018). *Tectonophysics* 730, 29-47.

Colomer, M. y Santanach, P. (1988). *Geogaceta* 4, 29-31.

Peiro, A., Simón, J.L. y Román-Berdiel, T. (2020). *Journal of Structural Geology* 131, https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103942

Propiedades mecánicas de las litologías más resistentes de la sucesión pre-orogénica de la Zona Cantábrica (Orógeno Varisco en Iberia)

Mechanical properties of the stronger lithologies in the pre-orogenic rock sequence of the Cantabrian Zone (Variscan orogen in Iberia)

S. Llana Fúnez[1], V. G. Ruiz de Argandoña[1], J. Olona[1,2], L. Pando[1], L. Rey[1], A. Zaragoza[1], J. Mari[1] y M. Álvarez[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo, s/n, 33005, Oviedo, llanasergio@uniovi.es
2 TerraDat Geophysics, Avenida Cristo de las Cadenas, 113, 33006, Oviedo, España.

Palabras clave: mecánica de rocas, Zona Cantábrica, cabalgamientos, velocidades sísmicas, propiedades elásticas.

Resumen

La Zona Cantábrica (ZC) constituye el cinturón de pliegues y mantos dentro de las zonas externas del Orógeno Varisco en la península ibérica. La sucesión estratigráfica pre-orogénica se deformó en el prisma de acreción del orógeno durante la colisión por cabalgamientos y plegamiento asociado a los mismos. Los cabalgamientos se propagan en la mayor parte de las ocasiones paralelamente a las capas y, en otros casos, en rampa cortando la sucesión. Si bien en el estudio del movimiento de los mantos el énfasis se ha puesto en las superficies basales de los mantos, se ha dedicado menos atención a las propiedades mecánicas de las formaciones situadas inmediatamente por encima que, sin embargo, son clave en la acumulación de esfuerzos y en la transmisión de los mismos cuando se produce el movimiento de los mantos. Presentamos un estudio preliminar del comportamiento mecánico de la secuencia pre-orogénica en la Zona Cantábrica, examinando aquellos litotipos con alta resistencia mecánica más característicos de la sucesión pre- orogénica en la ZC. Analizamos tres propiedades físico-mecánicas: la densidad, la velocidad de propagación de ondas P y S, y la resistencia mecánica a la compresión uniaxial. Se determinan, entre otros parámetros elásticos, el módulo de elasticidad en ensayos de carga uniaxial y a partir de las velocidades de propagación de ondas sísmicas en las mismas probetas. Las litologías estudiadas incluyen dolomías, cuarzoarenitas y arenitas feldespáticas de las formaciones Láncara, Barrios y Herrería. Los datos mecánicos de laboratorio indican que la litología mecánicamente más resistente son las dolomías de la Fm. Láncara, muy frecuente en la base de los mantos cantábricos.

Abstract

The Cantabrian Zone (CZ) constitutes the foreland fold and thrust belt in the external parts of the Variscan Orogen in the Iberian peninsula. The pre-orogenic rock sequence was deformed in the accrecionary prism of the orogen by thrusting and folding. Thrusts propagate mostly parallel to bedding in flats and cutting through the sequence in ramps. So far, the mechanics of thrust movements has focused on the properties of the slip surfaces at the base of thrust sheets, but lesser attention has been put in the properties of hanging wall rocks, whose elastic properties would determine the amount of energy stored and transmitted during displacement. We present preliminary results on the mechanic stratigraphy of the most resistant lithotypes in the pre-orogenic sequence of the CZ. We based our study in three physico-mechanical properties: density, propagation of P and S waves and mechanical strength. One of the key parameters to determine rigidity and the capability of energy storage are the elastic properties. We calculate the elasticity modulus in the same samples in uniaxial experiments and from seismic velocity measurements, and we use it as a proxy for the capability of rocks to store energy during shortening, released during thrust movement. The lithotypes studied are dolostones, quartz arenites and feldspathic arenites from the Fms Láncara, Barrios and Herrería. Our mechanical data point to the dolostones as the strongest rocks in the pre-orogenic sequence, very often found at the base of thrust sheets in the CZ.

Ablandamiento geométrico de una capa competente durante el plegamiento

Geometrical softening of a competent layer during folding

M. G. Llorens[1], A. Griera[2], P. D. Bons[3], D. García-Castellanos[1] y I. Jimenez-Munt[1]

1 Geociencias Barcelona (GEO3BCN-CSIC), 08028 Barcelona. mgllorens@geo3bcn.csic.es
2 Dept de Geologia, Univ. Autònoma de Barcelona, 08193 Cerdanyola del Vallès.
3 Departament of Geosciences, Eberhard Karls University Tübingen, Wilhemstr. 56, 72074 Tübingen, Germany

Palabras clave: cizalla simple, cizalla pura, plegamiento, vorticidad, ablandamiento geométrico

Resumen

El estudio de los patrones de plegamiento es utilizado en geología para obtener información sobre la reología de las rocas y cinemática de la deformación. El análisis sistemático de los parámetros mecánicos durante el plegamiento, nos proporciona una información relevante sobre el comportamiento mecánico del plegamiento. En esta contribución estudiamos la evolución del estrés y la deformación del plegamiento de rocas, a través de un método de elementos finitos (FEM), en dos dimensiones, que simula la deformación viscosa no lineal de una capa competente. Las simulaciones se realizan variando la vorticidad (cizalla pura o simple), el contraste de competencia entre la capa y la matriz (m) y el exponente de estrés (n). En las simulaciones la amplificación del plegamiento comienza cuando el segundo invariante del tensor de tasa de deformación se desvía de la curva teórica para un material homogéneo (m=1). Cuando el contraste de viscosidad es mayor, la reología es no lineal y las capas están orientadas a un alto ángulo respecto al plano de cizalla, la amplificación del plegamiento comienza antes. En condiciones de cizalla pura, el ablandamiento de la capa competente producido por la geometría del plegamiento (i.e. geometrical softening) es seguido por una fase de endurecimiento. Mientras que en cizalla simple, éste es seguido por una fase de mayor ablandamiento. Estos resultados sugieren que la causa del ablandamiento de las capas litosféricas en el límite corteza-manto puede ser debido a la tectónica sin necesidad de un cambio en las propiedades de las rocas por reacciones metamórficas o microestructurales (reducción de tamaño de grano u orientación cristalina) (Llorens, 2019).

Abstract

The study of fold patterns gives us information about rock rheology and kinematics of deformation. The systematic analysis of the evolution of mechanical parameters during rock folding can provide additional key information on the mechanical behaviour of rocks. In order to investigate the stress and strain evolution of rocks during fold development, a series of two-dimensional FEM simulations of non-linear single-layer folding are presented. The kinematics of deformation, the competence contrast between the folding layer and matrix (m) as well as the stress exponent of the power-law viscous material (n) are systematically varied. These parameters determine when the fold amplification starts, which in all simulations occurs when the second invariant of the strain rate tensor in the competent layer deviates from the theoretical strain rate curve for a homogeneous material (m=1). The folding process is more effective in cases with high viscosity contrast, non-linear rheology and layers oriented at a low angle with respect to the shear plane. The geometrical softening experienced by the competent layer due to fold development is followed by a hardening stage in pure shear and by a major softening in simple shear. These results suggest that the behaviour of a lithospheric layer around the crust-mantle boundary may experience geometrical softening depending on the tectonic settings rather than material softening due metamorphic reactions or microstructural changes (grain size or crystal preferred orientation) (Llorens, 2019).

Referencias

Llorens, M.-G. (2019). *Journal of Structural Geology* 126, 245-257.

La Falla de Granada en el contexto de fallas activas normales de alto y bajo buzamiento de la Cuenca de Granada (Sur de Iberia)

The Granada Fault in the framework of active high- and low-angle normal faults in the Granada Basin (South Iberia)

A. Madarieta-Txurruka[1], J. Galindo-Zaldívar[1,2], L. González-Castillo[1], J. A. Peláez[3], A. M. Ruiz-Armenteros[4,5], J. Henares[6], M. S. Garrido-Carretero[4,5], M. Avilés[4], A. J. Gil[4,5] y C. Sanz de Galdeano[2]

1 Dpto. de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. (amadatxu@ugr.es, jgalindo@ugr.es, lgcastillo@ugr.es)
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), 18071 Granada, Spain. (csanz@ugr.es)
3 Departamento de Física, Universidad de Jaén, Campus de Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain. (japelaez@ujaen.es)
4 Dpto. Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, Campus de Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain. (amruiz@ujaen.es, mgarrido@jaen.es, maviles@ujaen.es, ajgil@ujaen.es)
5 Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente (CEACTEMA), Universidad de Jaén, Campus de Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain.
6 Universidad Internacional de La Rioja, Avenida de la Paz, 137, 26006 Logroño, La Rioja, Spain. (jesus.henares@unir.net)

Palabras clave: Cordillera Bética, Extensión, Sismicidad, Nivelación de alta precisión, Prospección geofísica

Resumen

La Cordillera Bética Central, es una zona sísmica activa afectada por la convergencia NO-SE Eurasia-Nubia y una extensión ortogonal responsable de la formación de la Cuenca de Granada. Los estudios de geología de campo y geofísica (gravimetría, tomografía eléctrica y sismicidad) muestran que el límite nororiental de la cuenca está definido por un conjunto de fallas normales de alto y bajo buzamiento enraizadas a unos 10 km de profundidad hacia el SO. A su vez, el estudio de la sismicidad indica que los terremotos de mayor magnitud se asocian con las fallas profundas de bajo buzamiento. En este sistema de fallas destaca la Falla de Granada, cuya actividad también ha sido estudiada en superficie mediante dos perfiles de nivelación de alta precisión. La falla muestra diferentes comportamientos dependiendo del lugar. En el norte alcanza la superficie y genera un escarpe, mientras que en el sur se trata un conjunto de pequeñas fallas ciegas. En ambos casos una gran parte de la deformación de la falla en superficie se da por reptación, y contrasta con el carácter sísmico que adquiere en profundidad.

La combinación de técnicas geológicas, geofísicas y geodésicas ha permitido una adecuada caracterización de las estructuras activas en el NE de la Cuenca de Granada. Este estudio multidisciplinar es de gran importancia en el análisis de la peligrosidad sísmica de la región.

Abstract

The Central Betic Cordillera is an active seismic zone affected by the NW-SE Eurasia-Nubia convergence and the orthogonal extension responsible for the development of the Granada Basin. Field geological and geophysical (gravity, electrical-resistivity tomography and seismicity) research reveal that the northeastern boundary of the basin is defined by a set of high- and low-angle normal faults. These faults are rooted about 10 km deep to the southwest. The earthquakes of greater magnitude are related to low-angle faults instead of outcropping high-angle ones. The Granada Fault is the most active one of the system. Its activity has also been studied on the surface, by means of two high precision leveling profiles. The fault shows different behaviors depending on its location. Northward it reaches the surface and generates an escarpment, whereas southward it is related to a set of small blind faults. Both cases suggest a shallow dominant creep fault behavior that changes to seismic one in depth.

The combination of geological, geophysical and geodetic techniques allows an accurate characterization of the active structures in the NE of the Granada Basin. This interdisciplinary study has a great interest in the analysis of the seismic hazard of the region.

El campo de esfuerzos mesozoico-cenozoico en Tasmania a partir del análisis poblacional de fallas

Mesozoic-Cenozoic stress field in Tasmania from fault population analysis

A. Maestro[1], F. Bohoyo[1], J. Galindo-Zaldívar[2] y R.F. Berry[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Tres Cantos, Madrid. a.maestro@igme.es; f.bohoyo@igme.es
2 Universidad de Granada, Granada. jgalindo@ugr.es
3 University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia. Ron.Berry@utas.edu.au

Palabras clave: análisis poblacional de fallas, campo de esfuerzos, Cenozoico, Mesozoico, Tasmania.

Resumen

Con el propósito de contribuir en el conocimiento de la evolución tectónica del Paso de Tasmania se han medido aproximadamente 1000 fallas distribuidas en 44 estaciones localizadas en rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edades comprendidas entre el Cámbrico y el Cuaternario en Tasmania. El análisis poblacional de las fallas se ha realizado mediante el uso de los métodos de Etchecopar, y-R, Diedros Rectos e Inversión de Esfuerzos. El análisis de la orientación de las fallas muestra una orientación predominante ESE-ONO y direcciones secundarias NE-SO, NO-SE y N-S. Los buzamientos de los planos de falla en su conjunto son subverticales. Atendiendo al sentido de movimiento de las fallas se han identificado 313 fallas dextrales, 194 fallas sinestrales, 422 fallas normales y 62 fallas inversas. Las fallas dextrales presentan una orientación ESE-ONO con buzamiento subvertical. Las fallas sinestrales presentan una orientación predominante N-S y buzamiento también subvertical. Las fallas normales presentan una orientación principal NO-SE y una secundaria NE-SO con un valor modal del buzamiento de 65°. Las fallas inversas presentan una dirección predominante NE-SO con valores modales del buzamiento de 35° y 70°. La orientación de σ_1 muestra una dirección dominante NO-SE. La orientación de σ_3 (con disposición vertical de σ_1) es dominantemente NE-SO. La dirección de σ_y es dominantemente NO-SE, aunque muestra una moda secundaria de orientación NE-SO.

Abstract

With the aim to contribute to the knowledge of the tectonic evolution of the Tasmanian Passage, approximately 1000 faults distributed in 44 sites located in metamorphic, igneous and sedimentary rocks of ages between the Cambrian and the Quaternary have been measured in Tasmania. The fault population analysis has been carried out using the methods of Etchecopar, y-R, Right Dihedral and Stress Inversion. The fault orientation analysis shows a predominant orientation ESE-WNW and secondary directions NE-SW, NW-SE and N-S. In general, the most of the fault planes dips are subvertical. Considering the faults movement sense, 313 dextral faults, 194 sinistral faults, 422 normal faults and 62 reverse faults have been identified. Dextral faults show an ESE-WNW orientation with subvertical dip. Sinistral faults have a predominant orientation N-S and dip also subvertical. Normal faults have a main NW-SE orientation and a NE-SW secondary direction with a modal dip value of 65°. Reverse faults have a predominant NE-SW direction with two modal dip values of 35° and 70° respectively. The σ_1 orientation shows a dominant NW-SE direction. Moreover, another common stress regime is characterized by a preferentially NE-SW σ_3 orientation (with σ_1 vertical). The σ_y direction is dominantly NW-SE, although it shows a secondary mode with NE-SW orientation.

Fortalezas y limitaciones de MOVE™ para la restitución de cortes en zonas de deformación compleja: un ejemplo en Andorra (Pirineo axial)

Strengths and limitations of MOVE™ software for cross-section restoration in complex deformation zones: an example from Andorra (Axial Pyrenees)

A. Margalef[1], N. Carrera[2], J.M. Casas[2]

1 Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA – IEA). Av. Rocafort 21-23, 3ª planta; Sant Julià de Lòria (Andorra). amargalef@iea.ad

2 Dpt. de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà - Institut de Recerca Geomodels, Universitat de Barcelona, Barcelona. nuriacarrera@ub.edu; casas@ub.edu

Palabras clave: Pirineos, deformación polifásica, partición de la deformación, restitución de cortes.

Resumen

A partir de la cartografía geológica a escala 1:25.000 del sur de Andorra (Pirineo central) (Margalef, 2015) se ha restituido un corte con el programa MOVE. Las rocas que afloran en la zona de estudio comprenden edades entre Cámbrico y Devónico medio y tienen grado metamórfico bajo. Estas rocas están afectadas por una deformación hercínica polifásica que da lugar a cabalgamientos y pliegues sinfoliares con una partición de la deformación a nivel de las pizarras silúricas. Actualmente se está discutiendo el papel de la deformación alpina en esta zona. La utilización de dicho programa ha facilitado la extracción del buzamiento de algunos contactos a partir de sus trazas en superficie, tanto tectónicos como estratigráficos, modificando la interpretación anterior de algunos cabalgamientos (Margalef y Casas, 2017). Este análisis de trazas ha resaltado la importancia de la cartografía 1:5.000 cuando se dispone de pocos datos de estratificación. Además, la construcción del corte deformado a partir de los algoritmos del programa permite obtener una morfología más realista de las estructuras. Por el contrario, la principal limitación es la dificultad de restituir la deformación interna. Además, las limitaciones intrínsecas del programa no permiten restituir correctamente geometrías de pliegues apretados e isoclinales o de capas sucesivas con distinto comportamiento mecánico. Las restituciones manuales por área han sido utilizadas para resolver algunas de estas limitaciones.

Abstract

MOVE software has been used to restore a cross-section from a 1:25.000 geological map (Margalef, 2015) in south Andorra (Central Pyrenees). The study area is made up by low grade metasediments ranging from Cambrian to Middle Devonian in age. They were affected by a Variscan polyphasic deformation that gave rise to thrusts and synfoliar folds, as well as a strain partitioning through the Silurian slates. Nowadays, the role of the Alpine deformation in this area is being discussed. The use of this software has helped dip extraction from surface traces of some tectonic and stratigraphic contacts, thus modifying previous interpretations of some thrusts (Margalef y Casas, 2017). This traces analysis highlights the role of 1:5000 mapping when stratigraphic data are scarce. Moreover, MOVE algorithms allowed a more realistic construction of the structures in the deformed state. On the contrary, the main limitation is due to the difficulty in restoring internal deformation. Furthermore, the restoration of tight and isoclinal folds, as well as that of folded layers with different mechanical behavior, is not always feasible due to intrinsic software limitations. Manual areal restitutions have been used in order to solve some of these limitations.

Referencias

Margalef, A. (2015). *Estudi estructural i estratigràfic del sud d'Andorra*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, 172 p.

Margalef, A. y Casas, J.M. (2017). En: Deformation mechanisms, *Rheology and Tectonics* 2017. Abstract book, 93.

Inicio del régimen transpresivo en la Falla de Alhama de Murcia, algunas evidencias cartográficas y de campo.

Onset of the transpressional regime in the Alhama de Murcia Fault, mapping and field evidence.

J.J. Martínez Díaz[1], J. Alonso-Henar[1], J. A. Álvarez-Gómez[1], C. Canora[2], P. Herrero-Barbero[1], J.M. Insua-Arévalo[1], R. Pérez-López[3], E. Rodríguez-Escudero[1] , M. Tsige[1] y J.L. Sánchez-Roldán[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040, jmdiaz@ucm.es
2 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco, Madrid 28049
3 Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23, Madrid 28003.

Palabras clave: Falla de Alhama de Murcia, Cartografía Geológica.

Resumen

Desde que Montenat (1973) en su tesis doctoral definiera por primera vez la falla de Alhama de Murcia (FAM) como una falla de desgarre, con una mayor o menor componente transpresiva, originada a partir de un proceso de inversión tectónica, asociado a un cambio en el régimen tectónico regional, han sido numerosos los estudios en los que se han propuesto distintos marcos temporales para la implantación de ese cambio. Conocer desde cuando la FAM presenta esa cinemática transpresiva que puede observarse en la actualidad a partir de datos sísmicos (mecanimos focales) y geodésicos, y también evidenciada durante el Cuaternario a partir de observaciones geomofológicas y paleosísmicas es de gran interés, no solo para entender la evolución tectónica de las Béticas Orientales durante el Mioceno y el Plio-Cuaternario, sino también para poder estimar con mayor precisión las tasas de movimiento a largo plazo e interpretar correctamente la evolución cinemática y reológica de las fábricas de deformación observadas en las rocas de falla a lo largo de la FAM implicando materiales de muy diversas edades. Se presenta una actualización de la cartografía de detalle de varios tramos del segmento Lorca-Totana en el flanco SE de la sierra de La Tercia cuya interpretación tectónica ha variado en las últimas décadas, con especial interés en la transversal de la Rambla de Lébor y en el dúplex de desgarre compresivo de Matalahuga. Las evidencias analizadas apuntan a un inicio del régimen transpresivo en este sector de la FAM más antiguo que el propuesto en trabajos previos pudiendo llegar a tiempos pre-Tortonienses, así como a una componente de salto neto en dirección similar a la componente de salto neto inverso.

Abstract

Montenat (1973) defined for the first time the Alhama de Murcia fault (AMF) as a strike-slip fault with some transpressive component, originated from a tectonic inversion, associated with a change in the regional tectonic regime. During the last decades there have been a few studies in which different time frames have been proposed for the initiation of this kinematics. Knowing when started that transpressive kinematics in the FAM that can be observed at present from seismic (focal mechanisms) and geodesic data, and also evidenced during the Quaternary from geomophological and palaeoseismic observations is of great interest to: -1) to understand the tectonic evolution of the Eastern Betics during the Miocene and Plio- Quaternary, -2) to obtain more precise estimates of long-term slip rate and -3) to understand the kinematic and rheological evolution of the deformation fabric observed in the fault rocks of the FAM involving materials of very different ages. We present an update of the detailed mapping of several sections of the Lorca-Totana segment on the SE flank of the La Tercia range, whose tectonic interpretation has varied in last decades. Special interest was focused in the cross section along the Rambla de Lébor and in the Matalahuga compressional strike-slip duplex. The evidence supports a pre-Tortonian onset of the transpressive regime in this sector of the FAM and a net strike-slip component similar to the reverse-slip component since Late Tortonian.

Referencias

Montenat, C. (1973). *Les Formations Néogènes du Levant Espagnol*. Ph.D. Thesis, Orsay, France, University of Paris. 950 p.

Los Pirineos Vasco - Cantábricos: laboratorio natural para el estudio de la reactivación de sistemas hiperextendidos

The Basque-Cantabrian Basin: a natural laboratory to study the reactivation of a hyperextended system

J. Miró [1,2], P. Cadenas[1], R. Lescoutre[1], J.A. Muñoz[2], G. Manatschal[1]

1 Université de Strasbourg, CNRS, EOST – IPGS UMR 7516, F-67000 Strasbourg, France (jmiropadrisa@unistra.fr)
2 Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain.

Palabras clave: herencia de rift, Pirineos, Cuenca Vasco – Cantábrica, hiperextensión

Resumen

La Cuenca Vasco – Cantábrica (CVC) corresponde a una cuenca Mesozoica hiperextendida que fue reactivada durante el Cretácico tardío y Cenozoico y actualmente forma parte del Orógeno Pirinaico.

La CVC ha experimentado varios episodios de rift con diferente evolución polifásica: fase de rift Permo-Triásica, una segunda fase extensiva del Jurásico Superior al Barremiense y una fase Aptiense – Cenomaniense Medio de hiperextensión. Esta evolución tuvo un impacto importante en la posterior reactivación y puede explicar parte de la variabilidad observada en el sistema a través de las secciones transversales. Hacia el este, la CVC fue totalmente reactivada y transportada hacia el sur usando el nivel de despegue evaporítico Triásico. En la sección central observamos similar comportamiento en el sector sur, pero asimismo en el sector norte observamos una serie de estructuras afectando el basamento vergentes hacia el norte de modo que vemos el margen completo reactivado e involucrado en un sistema orogénico de doble cuña. Por el contrario, en la sección oeste, mientras hacia el sur la estructura es parecida a las anteriores hacia el norte las estructuras heredadas del rift son parcialmente reactivadas induciendo como serían los estadios iniciales de reactivación. Así pues, las observaciones muestran cómo los niveles de despegue durante los estadios iniciales de rift estarían localizados en los dominios hiperextendidos usando el manto serpentinizado, mientras que en estadios mas avanzados de colisión migran a zonas más externas usando niveles de despegue intra-basamento como la corteza media dúctil o las unidades evaporíticas.

Keywords: *rift inheritance, Pyrenees, Basque – Cantabrian Basin, hyperextension*

Abstract

The Basque – Cantabrian Basin (BCB) corresponds to a Mesozoic hyperextended rift basin that was subsequently reactivated from Late Cretaceous to Cenozoic and is at present part of the Pyrenean Orogen.

The BCB is affected by a multistage and polyphase rift evolution including a first, Permo – Triassic rift phase, a second Late Jurassic to Barremian extensional phase and an Aptian to Middle Cenomanian hyperextension phase. This complex rift template had a major impact on the subsequent reactivation and can explain some of the along strike variabilities observed within the three regional cross sections. To the east, the BCB was completely reactivated and transported to the south over the Late Triassic salt, which acted as a decoupling level. On the central section the displacement to the south is also observable but a set of north directed structures affecting the basement is also described having the complete margin in a double wedge orogenic system. On the contrary, the westernmost section to the north, preserves the rift-related structures only weakly reactivated, providing direct insights on the early stages of reactivation. Our observations show that decollement levels during early stages are located in the former rift distal domains and use serpentinized mantle rocks, while during collision they migrate to more external parts and use intra-basement decoupling levels such as the ductile middle crust and/or salt horizons.

Acknowledgements

This work has been developed within the Orogen Project (TOTAL-CNRS-BRGM). We also thank the support of the project CGL2017-85532-P funded by AEI and FEDER and Petroleum Experts Ltd. for Move.

La deformación varisca en el sector oriental del Sistema Central.

Variscan deformation in the eastern sector of the Central System.

D. Moreno-Martín[1] y R. Díez Fernández[2]

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n, 37008 Salamanca, España. dianamoreno@usal.es

2 Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero. Calle de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, España. r.diez@igme.es

Palabras clave: Gondwana, Orogenia Varisca, Zona Centroibérica, Zona de cizalla, Colapso extensional.

Resumen

En la actualidad aún no están claros cuales son los procesos que condujeron a la construcción, transformación y desmantelamiento de la corteza orogénica en cada uno de los sectores del Orógeno Varisco. El basamento metamórfico del sector occidental de la península Ibérica se configuró durante la Orogenia Varisca. En este trabajo se describe el conjunto de estructuras variscas y una estimación cualitativa de sus condiciones metamórficas de desarrollo en el sector oriental del Sistema Central (Hiendelaencina) con el fin de reconstruir la evolución tectonotermal de dicho sector e identificar los procesos que afectaron a esta parte del *hinterland* del orógeno. La primera fase de deformación (D_1) desarrolló pliegues vergentes al E y una foliación de plano axial (S_1) en condiciones progradas, desde la zona de la clorita (secciones superiores) hasta probablemente la de la distena (secciones inferiores). Estas estructuras se preservan casi íntegramente en los niveles estructurales superiores y como relictos minerales en los inferiores. D_1 representa el engrosamiento cortical en los comienzos de la colisión continental. La segunda fase (D_2) formó una foliación principal subhorizontal en los niveles estructurales inferiores de la zona (S_2), en condiciones que varían desde la zona de la clorita en las partes superiores hasta fusión parcial en las inferiores. S_2 es un clivaje de crenulación en los niveles estructurales superiores (estructuras D_1 mejor preservadas), y una esquistosidad y bandeado gnéisico formados dentro de una zona de cizalla dúctil con movimiento de techo hacia el SSE en los niveles inferiores. La geometría primaria subhorizontal inferida para S_2 y dicha zona de cizalla combinada con su impronta termal (condensación normal de isogradas y litoestratigrafía) sugiere un carácter extensional para la zona de cizalla, es decir, D_2 atenúa el sobreengrosamiento cortical previo y favorece el reequilibrado térmico en la vertical. La tercera fase de deformación (D_3) produce pliegues erguidos en todas las estructuras previas y un clivaje de crenulación subvertical por toda la región (S_3). D_3 representa una nueva etapa de engrosamiento mientras la colisión continental prosigue.

Abstract

At present, it is still not clear what are the processes that led to the construction, transformation and dismantling of the orogenic crust in each of the sectors of the Variscan Orogen. The metamorphic basement of the western sector of the Iberian Peninsula was configured during the Variscan Orogeny. In this work we describe the set of Variscan structures and provide a qualitative estimate of their development metamorphic conditions in the eastern sector of the Central System (Hiendelaencina) in order to reconstruct the tectonothermal evolution of said sector and identify the processes that affected this part of the orogen hinterland. The first phase of deformation (D_1) developed E-verging folds and an axial plane foliation (S_1) under prograde metamorphic conditions, from the chlorite zone (upper sections) to probably that of the kyanite (lower sections). D_1 structures are well preserved in the upper structural levels but occur as mineral relicts in the lower levels. D_1 represents crustal thickening at the beginning of Variscan continental collision. The second phase (D_2) formed a sub-horizontal main foliation in the lower structural levels of the region (S_2), under conditions that vary from the chlorite zone in the upper parts to partial melting in the lower parts. S_2 is a crenulation cleavage in the upper structural levels (better preserved D_1 structures), and a schistosity and gneissic banding formed within a top-to-the-SSE ductile shear zone in the lower levels. The inferred flat-lying primary geometry for S_2 and said shear zone combined with its thermal imprint (normal telescoping of isograde and lithostratigraphy) suggests an extensional character for the shear zone, that is, D_2 attenuates the previous crustal over-thickening and favors vertical thermal reequilibrium. The third phase of deformation (D_3) produces upright folds in all previous structures and a subvertical crenulation cleavage throughout the region (S_3). D_3 represents a new phase of thickening as continental collision proceeds.

Reactivación alpina en el basamento varisco: Sistema Central oriental.

Alpine reactivation in the Variscan basement: eastern Central System.

D. Moreno-Martín[1], R. Díez Fernández[2] y G. de Vicente[3]

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n, 37008 Salamanca, España. dianamoreno@usal.es

2 Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero. Calle de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, España. r.diez@igme.es

3 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. Calle de José Antonio Novais, 12. Instituto de Geociencias IGEO CSIC-UCM. 28040 Madrid, España. gdv@geo.ucm.es

Palabras clave: Cretácico Superior, Eurasia, Microplaca Ibérica, Orogenia Alpina, Reactivación.

Resumen

La superposición de ciclos orogénicos es una característica definitoria de la litosfera Ibérica. La identificación de la influencia de las estructuras de ciclos más antiguos (*e.g.* varisco) sobre aquellas ligadas a los más modernos (*e.g.* alpino) es un tema pendiente en varios sectores. La estructura del basamento del sector occidental de Iberia, inicialmente establecida durante la Orogenia Varisca, fue modificada por una tectónica transtensiva pérmica, extensional triásica y por la Orogenia Alpina. Sucesivos ciclos de *rifting*, asociados a la propagación del Tethys y a la apertura del Atlántico Norte, produjeron un sistema de fallas normales y el desmantelamiento del Orógeno Varisco. La Orogenia Alpina comienza en el Cretácico Superior, debida a la colisión entre la microplaca Ibérica y Eurasia, produciendo una inversión tectónica, también en el interior de Iberia. Así, una parte importante de la geometría de las estructuras ligadas a esta orogenia parece estar más condicionada por la geometría de estructuras previas que por la propia orientación regional de esfuerzos intraplaca. El sector oriental del Sistema Central Hispano-Portugués incluye un registro que abarca desde la Orogenia Varisca hasta la Alpina. Presentamos un análisis estructural orientado a la identificación del posible control reológico que han podido ejercer las principales estructuras ligadas a cada ciclo orogénico sobre las subsiguientes, con especial énfasis en la fracturación. Algunas fallas normales y direccionales pérmicas, que afectaron al basamento varisco, fueron reactivadas durante la Orogenia Alpina. La reactivación, si se produjo, fue de dos tipos. Las fallas con direcciones NE-SO se reactivaron preferentemente como cabalgamientos, mientras que las fallas N-S a NO-SE lo hicieron como fallas de desgarre laterales derechas y permitieron un acortamiento diferencial (*tear faults*). En contraste, pocas estructuras penetrativas del basamento (*e.g.* estratificaciones, foliaciones o pliegues) ejercieron un control reológico en la tectónica alpina de la zona.

Abstract

The superposition of orogenic cycles is a defining characteristic of the Iberian lithosphere. Identifying the influence of structures formed during older cycles (e.g. Variscan) on those related to younger cycles (e.g. Alpine) is a pending issue in several sectors of Iberia. The basement structure of the western sector of Iberia, initially established during the Variscan Orogeny, was modified by Permian transtenssive tectonics, Triassic extensional tectonics and by the Alpine Orogeny. Successive rifting cycles, associated with the spread of the Tethys and the opening of the North Atlantic, produced a system of normal faults and the dismantling of the Variscan Orogen. The Alpine Orogeny began in the Upper Cretaceous due to the collision between the Iberian microplate and Eurasia, and produced tectonic inversion, also in the interior of Iberia. Thus, an important part of the geometry of the structures formed during the Alpine Orogeny seems to be conditioned by the geometry of previous structures rather than by the regional stress orientation alone. The eastern sector of the Spanish-Portuguese Central System includes a record that ranges from the Variscan to the Alpine orogenies. We present a structural analysis aimed at identifying the possible rheological control that the main structures related to each orogenic cycle could have exerted on the subsequent ones, with emphasis on fracturing. Normal and strike-slip Permian faults that affected the Variscan basement were reactivated during the Alpine Orogeny. Reactivation, if existed, was of two types. NE-SW trending faults reactivated as thrusts, while N-S to NW-SE trending faults reactivated as dextral strike-slip faults and allowed differential shortening (tear faults). No penetrative structure of the basement (e.g. bedding, foliations or folds) exerted a rheological control on the Alpine tectonics of the area.

Fluid flow during compressional and subsequent extensional regimes in the Estamariu thrust (Pyrenean Axial Zone).

Flujo de fluidos durante la deformación compresiva y extensiva en el cabalgamiento de Estamariu (Zona Axial de los Pirineos).

D. Muñoz-López[1], G. Alías[1], D. Cruset[2], I. Cantarero[1], A. Travé[1]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. munoz-lopez@ub.edu; galias@ub.edu; i_cantarero@ub.edu; atrave@ub.edu.

2 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Lluís Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, Spain. dcruset@ictja.csic.es.

Abstract: *Calcite veins precipitated in the Estamariu thrust during two tectonic events have been investigated in order to decipher the relationships between deformation and fluid migration in Paleozoic basement rocks. Structural observations constrain the timing of vein formation and fluid migration, whilst geochemical analyses ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ and elemental composition) of the related calcite cements indicate the fluid origin, pathways and extent of fluid-rock interaction. The first tectonic event, related to the Alpine reactivation of the Estamariu Variscan thrust, is characterized by the upward migration of fluids derived from the crystalline basement, giving rise to the precipitation of calcite cements Cc1 and Cc2. The second tectonic event, developed during the Neogene extension, was responsible of the reactivation of the Estamariu thrust and the development of normal faults and shear fractures in which calcite cements Cc3, Cc4 and Cc5 precipitated. Cc3 and Cc4 precipitated from meteoric fluids that interacted at depth with basement rocks before upflowing through fault zones and related structures. Cc5 precipitated from meteoric fluids percolating from the surface through small fractures.*

Keywords: *Fluids, Pyrenean basement, Estamariu thrust, calcite veins, geochemistry.*

Resumen: Las venas de calcita precipitadas en el cabalgamiento de Estamariu durante dos eventos tectónicos han sido estudiadas con el fin de conocer la relación entre deformación y migración de fluidos en rocas del basamento Paleozoico. Las observaciones estructurales permiten definir el momento relativo de formación de las venas y de migración de los fluidos, mientras que la geoquímica de los respectivos cementos ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ y la composición elemental) indican el origen y el grado de interacción fluido-roca. El primer evento tectónico, relacionado con la reactivación Alpina del cabalgamiento Varisco de Estamariu, está caracterizado por la migración de fluidos provenientes del basamento que dieron origen a las calcitas Cc1 y Cc2. El segundo evento tectónico, desarrollado durante la extensión Neógena, fue responsable de la reactivación del cabalgamiento de Estamariu y la generación de fallas normales y fracturas en las que precipitaron los cementos Cc3, Cc4 y Cc5. Cc3 y Cc4 precipitaron a partir de aguas meteóricas interaccionadas en profundidad con las rocas del basamento antes de su migración a través de las zonas de falla. Cc5 precipitó a partir de fluidos meteóricos que percolaron desde la superficie a través de fracturas de menor dimensión.

Palabras clave: Fluidos, basamento Pirenaico, cabalgamiento de Estamariu, venas de calcita, geoquímica.

INTRODUCTION

Deformation related to crustal shortening is mainly accommodated by thrust faulting and related fault zone structures. Successive faulting may occur and favorably oriented structures may undergo reactivation during different tectonic events. Fault zones constitute potential pathways for fluid migration, which plays a key role in heat and mass transport, leading to diagenetic processes and formation of ore deposits (Oliver, 1986). Fluid circulation during faulting is evidenced in the form of veins within fault zones and therefore, the isotopic and elemental composition of the vein cements and related host rocks provide information on the source and changes in fluid pathways during deformation. In this contribution, we report the temporal and spatial relationships between deformation and fluid migration in a long-lived thrust deforming basement rocks in the Pyrenean Axial Zone. For this purpose, we combine structural, petrological and geochemical analyses of calcite veins precipitated in the Estamariu thrust during two episodes of regional tectonic activity (Pyrenean compression and Neogene extension). Structural and petrological observations allow us to unravel the timing of vein formation and fluid migration in relation to the involved tectonic events. The geochemistry of the vein cements and related host rocks provides information on the fluid origin and extent of fluid-rock interaction during deformation. The integration of these data is essential to better understand the current architecture of the Estamariu thrust, its evolution through time and the mobilization of different sourced fluids related to different tectonic events. Previous studies have already tackled this topic in structures from the

Mesozoic and Cenozoic cover (Travé et al., 1997, 1998, 2000; Cruset et al., 2018; Nardini et al., 2019), involving carbonate and detrital units, but the Paleozoic basement has been documented to a lesser extent (McCaig et al., 1995).

The Estamariu thrust, located in the Axial Zone of the Pyrenees (Fig. 1), developed in Variscan times and was later reactivated during the Pyrenean contraction (Saura, 2004), which lasted from late Cretaceous to Oligocene (Muñoz, 1992).

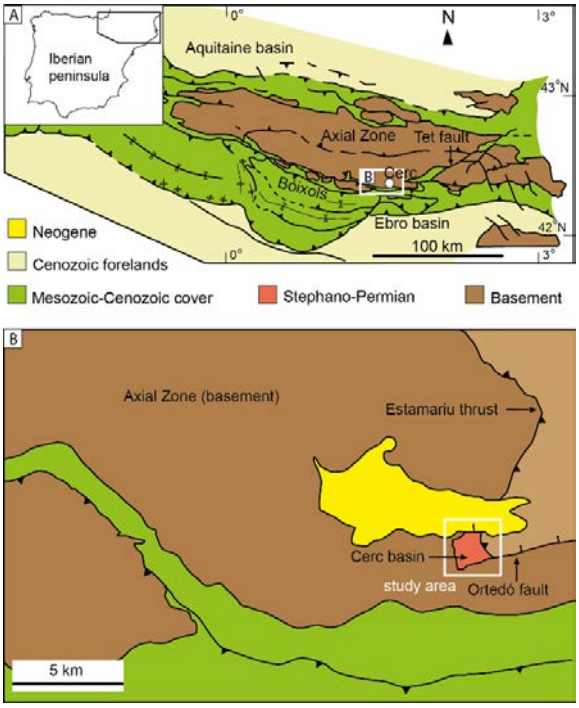


FIGURE 1. (A) Geological map of the Pyrenees and (B) detail of the study area. Modified from (Muñoz, 2017).

THRUST ZONE DESCRIPCION

The Estamariu thrust strikes NNW-SSE and dips 40 - 70º towards the NE. It juxtaposes Devonian limestones and shales from the hanging wall against Stephano-Permian andesites from the footwall. The thrust zone is 2 – 3 m thick, characterized by a strongly developed foliation affecting mainly the hanging wall. Centimeter-thick calcite veins are commonly present along the foliation surfaces (calcite cement Cc1) and increase in density towards the thrust plane, which is in turn mineralized with calcite Cc2. In the footwall, calcite veins filled with Cc3 also trend subparallel but locally crosscut the thrust zone foliation.

Meter-scale normal faults striking mainly E-W and abruptly dipping towards the north are also present in the footwall outside the fault zone. These faults are cemented by calcite cement Cc4. Locally, less abundant N-S shear veins, filled with calcite Cc5 and showing a normal displacement, crosscut the alpine deformation structures developed in the fault zone of the Estamariu thrust.

GEOCHEMISTRY OF CALCITE CEMENTS

Representative samples of the two involved host rocks and the five calcite cements identified in the studied area were analyzed for $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ and elemental composition. The results of these analyses are represented in Fig. 2.

DISCUSSION

Calcite cements Cc1 and Cc2 exclusively occur within the Estamariu thrust zone and therefore, they are considered contemporaneous with the thrust activity.

Cements Cc1 and Cc2 are characterized by δ18O-depleted values and high $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios (from 0.713 to 0.714 for Cc1 and 0.7146 for Cc2), significantly more radiogenic than values of Phanerozoic seawater (between 0.7070 and 0.7090). This could result from the incorporation of radiogenic Sr from a fluid derived or interacted with Rb-rich source rocks such those found in the Paleozoic crystalline basement underlying the studied thrust. Contrarily, rocks from the Mesozoic cover in Southern Pyrenean fold and thrust belt have 87Sr/86Sr ratios similar or slightly higher with respect to Phanerozoic seawater (Travé et al., 1997, 1998, 2000; Cruset et al., 2018; Nardini et al., 2019). On the other hand, Cc1 has $\delta^{13}C$ values and an elemental composition similar to that of the Devonian host (high Mg and Sr and low Mn contents), indicating high fluid-rock interaction. Cc2 has slightly lower $\delta^{13}C$, lower Mg and Sr and higher Mn content (with respect to both Cc1 and the Devonian host). These observations suggest that both cements precipitated from a fluid carrying radiogenic Sr and depleted $\delta^{18}O$. This fluid flowed channelized along the thrust from the underlying crystalline rocks towards the hanging wall, where it progressively increased the fluid-rock interaction.

Calcite cements Cc3 to Cc5 postdate the compressional structures and are attributed to the Neogene extension.

Calcite cements Cc3 and Cc4 have considerably high $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0.714619 and 0.717706, respectively) and similar $\delta^{18}O$ values with respect to Cc2 (around -14 ‰VPDB). This is also interpreted as a basement-derived fluid. The high Mn content of Cc3 and Cc4 is in agreement with the deep origin of the precipitating fluid, and the depletion in $\delta^{13}C$ values and in the Mg and Sr contents indicate the involvement of meteoric fluids. These meteoric waters were probably topographically driven, favored by the uplift of the horst and subsidence of basins during the Neogene extension, buffered by crystalline basement rocks at depth and expelled through fault zones during deformation.

Finally, the $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values of Cc5 (Fig. 2) indicate its meteoric origin. The similar elemental composition of this cement with the Stephano-Permian volcanic host rocks, both having the highest Mg and Fe and the lowest Mn and Sr contents with respect to the other cements and host rocks, reveals high fluid-rock interaction.

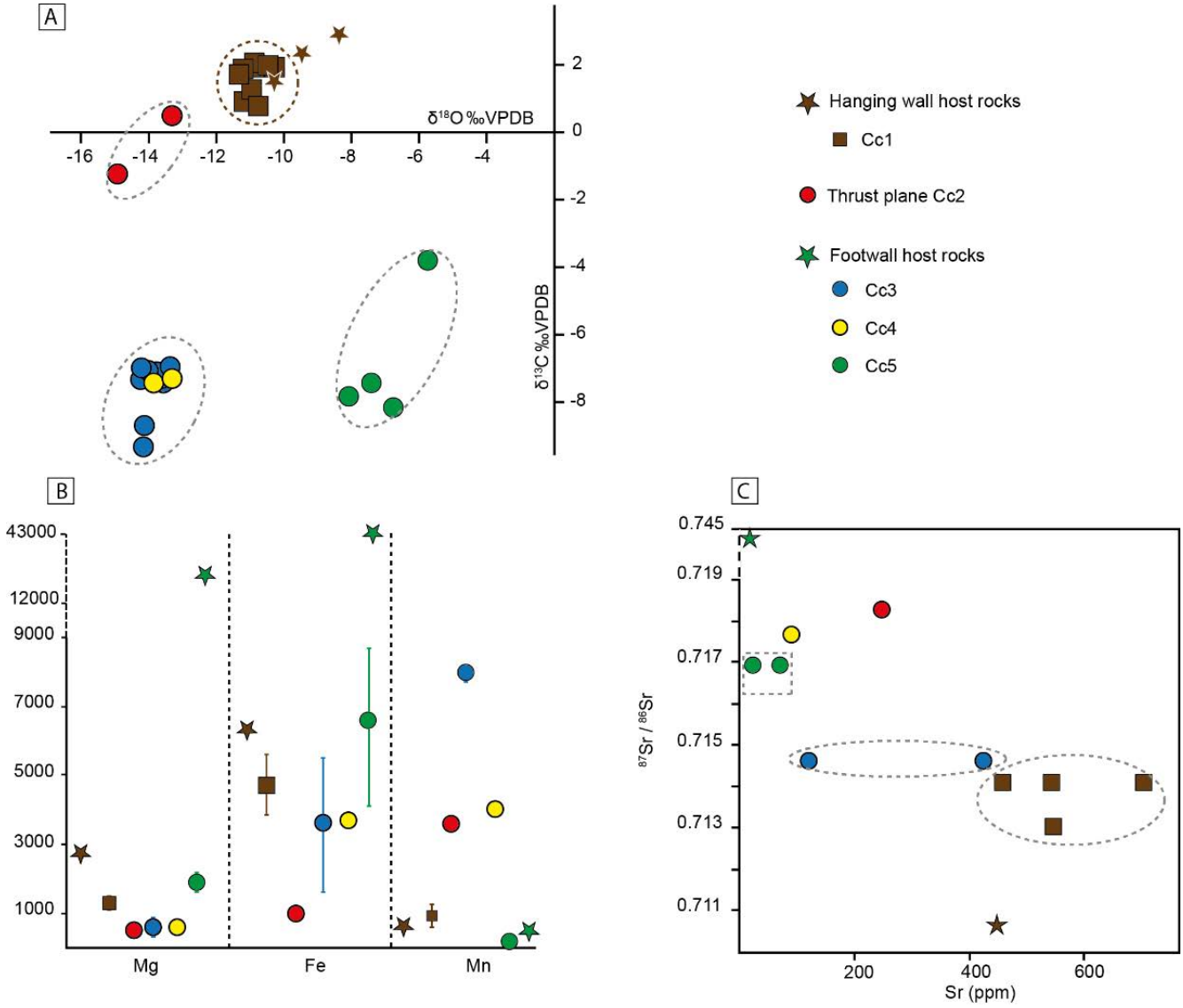


FIGURE 2. Geochemistry and elemental composition of host rocks and calcite cements. A) Cross-plot of the carbon and oxygen isotopes. B) Elemental composition including Mg, Fe and Mn contents given in ppm. C) Cross-plot of the 87Sr/86Sr and the Sr content in ppm.

CONCLUSIONS

The Estamariu thrust, in the Pyrenean Axial Zone, resulted from a long-lived tectonic history spanning from Variscan to Neogene times. However, the studied structures and veins record two successive tectonic events related to the Alpine compression and the Neogene extension. During the Pyrenean compression, the Estamariu thrust juxtaposed a Devonian unit against a Stephano-Permian volcanic sequence. During this period, fluids with low $\delta^{18}O$ and high $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios circulated from deep crystalline basement rocks upwards through the thrust plane and related thrust zone. The fluid-rock interaction increased progressively towards the hanging wall, where Cc1 precipitated with $\delta^{13}C$ and elemental composition buffered by the Devonian limestones.

During the Neogene extension, the Estamariu thrust was reactivated and normal faults and shear fractures were developed in the Stephano-Permian volcanic footwall allowing the circulation of a fluid from which calcite cements Cc3 and Cc4 precipitated. The depletion in $\delta^{13}C$ and in Mg and Sr contents in these cements is consistent with a meteoric origin of the fluid, which interacted at depth with crystalline basement rocks, as recorded by the high $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios, the high Mn contents and the low $\delta^{18}O$ values. Finally, Cc5 precipitated from meteoric fluids, which elemental and isotopic composition was buffered by the Stephano-Permian volcanic rocks.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the Spanish Projects CGL2015-66335-C2-1-R and PGC2018-093903-B-C22, and by the Grup Consolidat de Recerca "Geologia Sedimentària" (2017-SGR- 824). The PhD research of DM-L is supported by the FPI2016 (BES-2016-077214) Spanish program from MINECO.

REFERENCES

Cruset, D., Cantarero, I., Vergés, J., John, C. M., Muñoz-López, D., Travé, A. (2018): Changes in fluid regime in syn-orogenic sediments during the growth of the south Pyrenean fold and thrust belt. *Global and Planetary Change*, 171, 207–224. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.001

McCaig, A. M., Wayne, D. M., Marshall, J. D., Banks, D., Henderson, I. (1995): Isotopic and fluid inclusion studies of fluid movement along the Gavarnie Thrust, central Pyrenees: reaction fronts in carbonate mylonites. *American Journal of Science*, 295(3), 309–343.

Muñoz, J. A. (1992): Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. In *Thrust Tectonics* (pp. 235–246). Dordrecht: Springer Netherlands https://doi.org/10.1007/978-94-011-3066-0_21

Muñoz, J. A. (2017): Fault-related folds in the southern Pyrenees. AAPG *Bulletin*, 101(04), 579–587. https://doi.org/10.1306/011817DIG17037

Nardini, N., Muñoz-López, D., Cruset, D., Cantarero, I., Martín-Martín, J. D., Benedicto, A., Travé, A. (2019): From Early Contraction to Post-Folding Fluid Evolution in the Frontal Part of the Bóixols Thrust Sheet (Southern Pyrenees) as Revealed by the Texture and Geochemistry of Calcite Cements. *Minerals*, 9(2), 117. https://doi.org/10.3390/min9020117

Oliver, J. (1986): Fluid expelled tectonically from orogenic belts: their role in hydrocarbon migration and other geologic phenomena. *Geology* 14(2), 99.

Saura, E. (2004): *Analisi estructural de la Zona de les Nogures (Pirineus Centrals).* Universitat de Barcelona. 398 Pp.

Travé, A., Calvet, F., Sans, M., Vergés, J., Thirlwall, M. (2000): Fluid history related to the Alpine compression at the margin of the south-Pyrenean Foreland basin: the El Guix anticline. *Tectonophysics*, 321(1), 73–102. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00090-1

Travé, A., Labaume, P., Calvet, F., & Soler, A. (1997): Sediment dewatering and pore fluid migration along thrust faults in a foreland basin inferred from isotopic and elemental geochemical analyses (Eocene southern Pyrenees, Spain). *Tectonophysics*, 282(1–4), 375–398. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00225-4

Travé, A., Labaume, P., Calvet, F., Soler, A., Tritlla, J., Buatier, M., Briqueu, L. (1998). Fluid migration during Eocene thrust emplacement in the south Pyrenean foreland basin (Spain): an integrated structural, mineralogical and geochemical approach. *Geological Society, London, Special Publications,* 134(1), 163–188. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.134.01.08

La fábrica magnética del Devónico de la Zona Axial pirenaica; pliegues recumbentes al sur del pico Posets

Magnetic fabric of the devonian Axial Zone in the Pyrenees, recumbent folds south of Posets peak

B. Oliva Urcia[1], E. Izquierdo Llavall[2], T. Román Berdiel[3], R. Soto[4], A. Casas[3], P. Clariana[4],

1 Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. Geología y Geoquímica, c/ Tomás y Valiente 7, 28049 Madrid
2 Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, TOTAL, LFCR, Pau, France
3 Universidad de Zaragoza, Departamento Ciencias de la Tierra, Pza. San Francisco s/n 50009 Zaragoza
4 Instituto Geológico y Minero de España (Unidad de Zaragoza). c/ Manuel Lasala 44, 9B Zaragoza

Palabras clave: portador, filosilicatos, deformación varisca

Resumen

La fábrica magnética es un método rápido y no destructivo que se utiliza para obtener la fábrica de las rocas, ya que desde los primeros estudios en que se aplicó esta técnica se observó el paralelismo entre la fábrica magnética y la orientación mineral de las rocas. La distribución de los minerales se modifica en función de los esfuerzos que actúan sobre ellos. El análisis de la fábrica en rocas plegadas ayuda a descifrar el mecanismo del plegamiento y su historia de deformación, y cuando los marcadores de deformación son escasos, el análisis de la fábrica magnética resulta de gran utilidad. Para realizar este estudio, se han tomado 46 bloques orientados de rocas carbonatadas y detríticas del Devónico, que una vez cortados, han proporcionado 574 especímenes cúbicos (de 2 cm de arista) adecuados para realizar las medidas en el laboratorio de fábricas magnéticas de la Universidad de Zaragoza. Los pliegues muestreados se encuentran desarrollados en rocas devónicas de la parte sur de la Zona Axial pirenaica, que se han visto involucradas en dos orogenias: Varisca y Alpina. La deformación Varisca consiste principalmente en la superposición de dos fases de deformación, la primera caracterizada por pliegues apretados de orientación N-S a los que se superpone una fase caracterizada por pliegues de orientación E-O y vergentes al sur con una foliación de plano axial asociada que es la foliación dominante en la zona. Posteriormente la Orogenia Alpina bascula las estructuras variscas al producirse el desarrollo de una serie de cabalgamientos de basamento vergentes al sur. Este sistema de cabalgamientos incluye, de norte a sur, los cabalgamientos de Gavarnie, Millares y Bielsa, emplazados en secuencia de bloque inferior. Las fábricas magnéticas obtenidas presentan un buen agrupamiento de los ejes en todos los pliegues analizados, una dominancia de fábricas oblatas y triaxiales, de foliaciones paralelas a la S0 y/o S1 y lineaciones magnéticas de orientación NE.

Abstract

Magnetic fabric analyses are a fast and non-destructive method used to determine the fabric in rocks, since the first studies of magnetic fabric, a parallelism between the magnetic fabric and the rock fabric was observed. The mineral distribution in rocks is modified by stress. Magnetic fabric analyses in relation with deformation in folded rocks can be used to understand the folding mechanism, therefore, when strain markers are scarce, magnetic fabric becomes useful. 46 oriented hand samples were taken in carbonated? and detrital Devonian rocks, and once they were cut, 574 specimens (8 cm^3 cubes) were analyzed. All folded rocks have been involved in two orogenies: Variscan and Alpine. The variscan deformation consists of the superimposition of two deformation phases, the first is characterized by N-S trending tight folds. These are deformed by E-W trending south verging folds with an associated foliation which is the main foliation in this zone. Later Alpine orogeny tilts the variscan structures during shortening, and a foreland breaking sequence of south-directed basement thrusts develops. This thrust system includes, from north to south, the Gavarnie, Millares and Bielsa thrusts. Magnetic fabrics present a dominance of oblate and triaxial ellipsoids, magnetic foliations parallel to S0 and/or S1and NE magnetic lineations.

Origen y cinemática del saliente del frente surpirenaico central a partir del estudio paleomagnético de los materiales sinorogénicos de su margen este

Origin and kinematics of the South Pyrenean front salient from the paleomagnetic study of its eastwards flanking synorogenic materials

C. Peigney[1,2], E. Beamud[1,3], Ó. Gratacós[1,2], L. Valero[3,4], R. Soto[5], E. Roca[1,2] y J.A. Muñoz[1,2]

1 Geomodels UB Research Institute, University of Barcelona, Barcelona, Spain (c.peigney@ub.edu)
2 Dpt. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, University of Barcelona, Barcelona, Spain
3 Paleomagnetism Laboratory, CCiTUB – ICTJA CSIC, Barcelona, Spain
4 Département des sciences de la Terre, Université de Genève, Geneva, Switzerland
5 Instituto Geológico y Minero de España, Zaragoza, Spain

Resumen: Los mantos de cabalgamiento de Bóixols, Montsec y Sierras Marginales constituyen la principal curvatura orogénica del frente surpirenaico central. La parte frontal de este saliente se caracteriza por unos antiformes con núcleo salino de orientación oblicua y despegados en los niveles evaporíticos sinorogénicos de la cuenca de antepaís del Ebro. Estas estructuras deforman los depósitos paleógenos de la cuenca de antepaís. Con la finalidad de explicar la evolución cinemática de estas estructuras y el papel de los niveles evaporíticos en la geometría del saliente, se llevó a cabo el estudio de las rotaciones de eje vertical (VAR) en el sector de Artesa de Segre-Cardona. Se muestrearon 80 estaciones de paleomagnetismo en los materiales detríticos del Eoceno superior-Oligoceno del sector. Su análisis muestra principalmente unas rotaciones antihorarias, relacionadas con el emplazamiento hacia el sur de los mantos de corrimiento surpirenaicos. Adicionalmente, el estudio magnetoestratigráfico de las series del Eoceno superior-Oligoceno permite acotar la edad de las rotaciones observadas.

Palabras clave: frente surpirenaico cen tral, rotaciones de eje vertical

Abstract: *The Bóixols, Montsec and Sierras Marginales thrust sheets make up the principal orogenic curvature of the central South Pyrenean front. The frontal part of this thrust salient is characterized by a series of oblique salt-cored antiforms, which are detached above the synorogenic evaporitic layers of the Ebro forealnd basin. These structures deform the Paleogene deposits of the foreland basin. A study of vertical-axis rotations (VAR) was carried in the Artesa de Segre-Cardona area, aiming to explain the evolution of the kinematics of these structures and the role of the evaporitic detachment levels in the geometry of the salient. 80 paleomagnetic sites were sampled on the Eocene-Oligocene detritic levels in the area. Their analysis shows predominant anti-clockwise rotations, related to the southwards emplacement of the South-Pyrenean thrust sheets. Additionally, a magnetostratigraphic study of the upper Eocene-Oligocene succession add constraints to the age of the observed VAR.*

Keywords: *central South Pyrenean front, vertical-axis rotations*

INTRODUCCIÓN

El cinturón de pliegues y cabalgamientos del Pirineo meridional en su parte central está formado de norte a sur por los mantos de corrimiento de Bóixols, Montsec y Sierras Marginales (Fig. 1). Estos mantos involucran una cobertera mesozoica-paleógena despegada en las evaporitas del Triásico. Su emplazamiento tuvo lugar del Cretácico Superior al Oligoceno, en una secuencia de propagación de bloque inferior, sobre los materiales paleógenos autóctonos de la cuenca de antepaís del Ebro (Muñoz, 1992). Estos mantos de corrimiento constituyen un saliente cuya geometría está controlada por la distribución de los niveles evaporíticos pre-orogénicos del Triásico Superior que actúan como los principales niveles de despegue de los cabalgamientos.

Al este y oeste del saliente, por encima de las sales de Cardona y del Keuper respectivamente, los depósitos sinorogénicos de la cuenca de antepaís están deformados por una serie de pliegues de despegue con una orientación que va de N-S a E-W (Fig. 1). Al oeste, los datos paleomagnéticos (Mochales *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 2013) han puesto de manifiesto que dicha variación en la orientación de los pliegues se debe a una rotación horaria de eje vertical. Es una rotación que se asocia a la formación del saliente de cabalgamientos. Éste se desarrollaría a partir de una dirección de transporte divergente de los cabalgamientos que, controlada por la distribución de la sal triásica daría lugar a una curvatura progresiva del frente de los cabalgamientos surpirenaicos (Muñoz *et al.*, 2013). En congruencia con este modelo, al otro lado del saliente también se han detectado rotaciones de eje vertical (VAR) de carácter antihorario (Sussman *et al.*, 2004). Sin embargo, estas son de menor magnitud y su relación con la orientación de los pliegues de la zona y la distribución de los niveles de

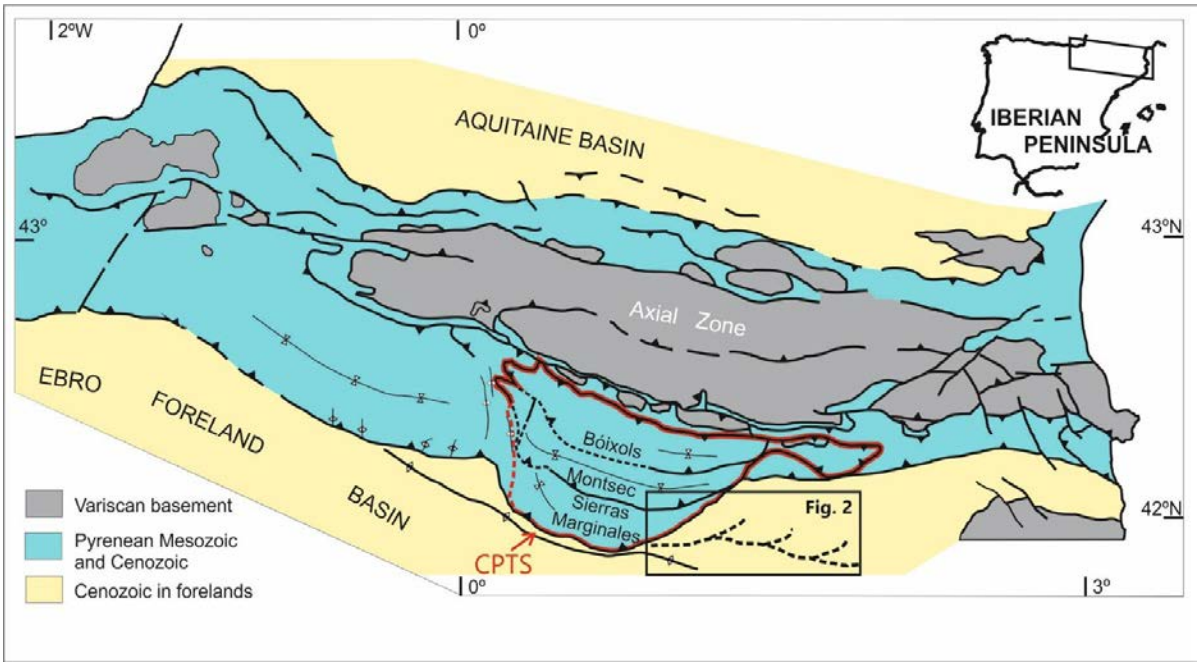


FIGURA 1. Mapa de situación general de la zona de estudio en la cuenca de antepaís del Ebro, al sur del frente de cabalgamiento de los mantos superiores. CPTS: Saliente de cabalgamientos del Pirineo Central. Modificado a partir de Muñoz *et al.*, 2013.

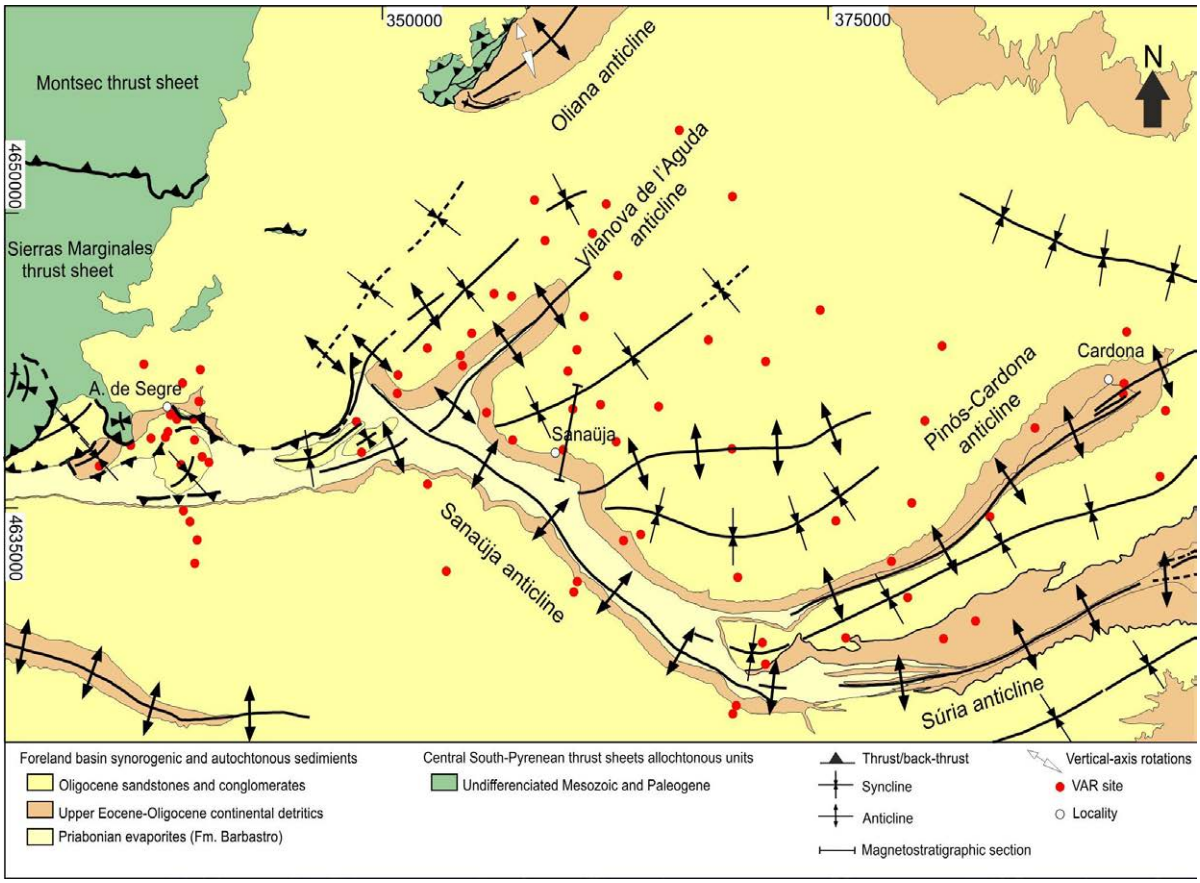


FIGURA 2. Mapa geológico simplificado de la zona de estudio con la situación de las estaciones de paleomagnetismo para VAR. Corresponde al recuadro de la Fig. 1. Coordenadas en WGS84, UTM Zona 31 N. Redibujado a partir del Mapa geológico comarcal 1:50000 del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña.

despegue evaporíticos eocenos no ha sido establecido. Además, estas rotaciones son más modernas, al menos en parte.

El objetivo de este trabajo es resolver estas incógnitas mediante la integración de nuevos datos estructurales y paleomagnéticos recopilados en los materiales eocenos y oligocenos situados por encima de la sal de Cardona. Con ello se pretende mejorar no sólo la comprensión de la cinemática de la deformación contractiva de la zona sino también la del conjunto del saliente de cabalgamientos del Pirineo central.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona estudiada se localiza al este del saliente de cabalgamientos del Pirineo central, donde los materiales sinorogénicos del sector noreste de la cuenca de antepaís se encuentran deformados por pliegues y cabalgamientos despegados en los niveles evaporíticos sinorogénicos de las Formaciones Cardona y Barbastro, de edad Eoceno superior-Oligoceno inferior (Fig. 2). Esta zona, donde los pliegues tienen una orientación mayoritariamente NE-SW está limitada meridionalmente por el anticlinal de Sanaüja, que de oeste a este pasa de estar orientado E-W, a NW-SE y finalmente otra vez E-W (Fig. 2). Este pliegue además marca el límite meridional de las sales de Cardona.

Por encima de esta sal, al norte de este límite, la serie deformada incluye: yesos de la denominada Fm. Barbastro, de edad Priaboniense, unos depósitos detríticos lacustres del Eoceno-Oligoceno (fundamentalmente limos carbonatados y areniscas finas) y una sucesión fluvial de areniscas y conglomerados (Fm. Solsona) atribuida al Oligoceno.

DATOS Y RESULTADOS

Para llevar a cabo el estudio de las VAR, se muestrearon un total de 80 estaciones de paleomagnetismo en los materiales detríticos sinorogénicos del Eoceno superior-Oligoceno (principalmente lutitas y areniscas finas) en el sector de Artesa de Segre-Sanaüja-Cardona. El muestreo se centró en los flancos de los anticlinales de Sanaüja, Vilanova de l'Aguda y Pinós-Cardona, todos ellos despegados sobre las evaporitas sinorogénicas de las formaciones Cardona y Barbastro, con la finalidad de investigar la cinemática de estas estructuras y su relación con los despegues salinos. Además del análisis de las VAR, se realizó un perfil magnetoestratigráfico de 1350 m de potencia con 159 estaciones en los materiales continentales del Eoceno-Oligoceno del sector de Sanaüja (Fig. 2) para constreñir las edades de las VAR por correlaciones estratigráficas.

El análisis de las VAR en esta zona muestra unas rotaciones mayoritariamente antihorarias, bastante homogéneas y similares a las que se han detectado anteriormente más al norte, en la zona del anticlinal de Oliana (Sussman *et al.*, 2004). Sin embargo, también se observan algunas rotaciones en sentido horario, en las sucesiones detríticas más antiguas y situadas en las zonas más próximas al antiforme que limita al sur la zona plegada.

Los resultados del perfil magnetoestratigráfico de Sanaüja, sugieren unas edades Priaboniense a Rupeliense para los materiales lacustres y fluviales de esta sucesión y permiten acotar la edad de las VAR observadas.

CONCLUSIONES

Las rotaciones detectadas en la zona estudiada, mayoritariamente antihorarias, responden al efecto regional provocado por el emplazamiento de los mantos de corrimiento del Pirineo central que se desplazaron en dirección sur sobre el antepaís en su terminación oriental.

Las rotaciones horarias, localizadas en las zonas más próximas a los pliegues de núcleo salino son consecuencia de un efecto más local, causado directamente por la cinemática de estos pliegues, que a su vez es controlada por la geometría del nivel de despegue en las evaporitas de las Fms. Cardona y Barbastro.

La distribución de los niveles de despegue evaporíticos condiciona la orientación y la cinemática de las estructuras del frente del sistema de cabalgamientos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido respaldado por el proyecto "Tectónica Salina en Cinturones Contractivos" (SALTCONBELT-CGL2017-85532-P), financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCIAS

Mochales, T., Casas A. M., Pueyo, E. L. and Barnolas, A. (2012). Rotational velocity for oblique structures (Boltaña anticline, Southern Pyrenees). *Journal of Structural Geology*, 35: 2-16.

Muñoz, J.-A (1992): Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. *Thrust Tectonics*, (K. R. McClay, ed.). Chapman and Hall, Londres, 235-246.

Muñoz, J.-A., Beamud, E., Fernández, O., Arbués P., Dinarès-Turell, J. y Poblet, J. (2013): The Ainsa Fold and thrust oblique zone of the central Pyrenees: Kinematics of a curved contractional system from paleomagnetic and structural data. *Tectonics*, 32: 1142–1175.

Sussman, A.J., Butler, R.F., Dinarès-Turell, J., Vergés, J. (2004): Vertical-axis rotation of a foreland fold and implications for orogenic curvature: an example from the Southern Pyrenees, Spain. *Earth and Planetary Science Letters*, 218: 435-449.

Volcamiento excepcional de los cabalgamientos y pliegues variscos en el Monsacro (Zona Cantábrica)

Outstanding overturning of the Variscan thrusts and related folds in the Monsacro (Cantabrian Zone)

A.A. Pérez-Barreto, J.L. Alonso y L. Pando

Departamento de Geología, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo, UO248749@uniovi.es

Resumen: En el sector NW del Monsacro (área central de Asturias), se ha reconocido un sistema imbricado de cabalgamientos variscos que involucra a una sucesión de edad Devónico-Carbonífero. Sus láminas aparecen plegadas formando un sinclinal antiformal de tal modo que, en ambos flancos, el techo estratigráfico de cada una de ellas mira hacia abajo. El grado de rotación de las láminas respecto a su disposición original alcanza más de 180º en el flanco septentrional, lo que supone un volcamiento extraordinario en la Zona Cantábrica. El pliegue que dobla las láminas es probablemente de tipo flexión de falla (sinclinal) formado en la transición entre rellano y rampa de bloque inferior, pliegue que fue considerablemente reapretado y volcado después de su desarrollo inicial.

Palabras clave: cabalgamientos imbricados, pliegue de flexión de falla, sinclinal antiformal, volcamiento, Zona Cantábrica.

Abstract: *In the north-western sector of the Monsacro (central area of Asturias), a Variscan imbricate thrust system involving a Devonian-Carboniferous succession has been recognized. The major structure is a tight antiformal syncline which folds the thrusts sheets, which were rotated up to 180° regarding their original attitude. This implies an extraordinary overturn in the Cantabrian Zone. The antiformal syncline was initially a fault-bend fold developed in the transition from a footwall flat to footwall ramp. Later, this fold was substantially tightened and overturned, giving rise to the present attitude of the imbricate thrust system.*

Keywords: *imbricate thrust system, fault-bend fold, antiformal syncline, overturning, Cantabrian Zone.*

INTRODUCCIÓN

El Monte Monsacro se localiza en el municipio de Morcín, a unos 12 km al SSW de Oviedo (Fig. 1). A pesar de su ubicación en el centro de Asturias, la estructura geológica de este pequeño ámbito montañoso –de unos 6 km^2– nunca se ha estudiado en detalle. Se debe quizá a su escarpada orografía; si bien la altura máxima que alcanza es de tan solo 1.052 m, las laderas poseen fuertes pendientes y desniveles.

Geológicamente el macizo se encuentra en la Zona Cantábrica, sector más externo del Macizo Varisco, (Fig. 1). Los materiales más antiguos aflorantes, devónicos, se conocen como Unidad Terrígena del Aramo (Vera, 1988). Les sucede la Fm. Baleas (Wagner et. al. 1971) o Candamo, de edad Devónico terminal-Carbonífero basal (Del Río y Menéndez Álvarez, 1978) y constituida por calizas bioclásticas. La sucesión continúa con la Fm. Alba (Carbonífero Misisipiense), formada por margocalizas rojas en facies griotte, y culmina con la Fm. Barcaliente (Serpukhoviense-Bashkiriense), que contiene micritas oscuras. Esta última corresponde a la parte inferior de la unidad conocida tradicionalmente en la literatura como "Caliza de Montaña".

Este trabajo aporta nuevos datos sobre la estructura geológica del Monsacro, interpretada tras elaborar una cartografía geológica pormenorizada en su margen noroccidental.

ANTECEDENTES

Los primeros datos geológicos sobre el Monsacro aparecen en el mapa elaborado por Schulz (1858), quien identifica las calizas que lo constituyen como de edad carbonífera. Transcurrido casi un siglo, Llopis Lladó (1950) confecciona –aunque el texto fue publicado en 1960– la primera cartografía geológica con cierto detalle (1:25.000). En ella se representa la "Caliza de Montaña" en contacto normal con la sucesión devónica por el N y con la terrígena de la Cuenca Carbonífera Central por el S. En el extremo occidental del monte, dibuja varios pliegues derechos con el techo hacia arriba y la Fm. Alba en el núcleo de los anticlinales.

Almela y Ríos (1953) fueron los primeros en reconocer el contacto sur de las calizas del Monsacro como una falla. Más tarde Pello (1974) lo considera un cabalgamiento, el cual representaría la base del Manto del Aramo (Aller, 1993), al que superpone sobre la Cuenca Carbonífera Central. Las sucesivas cartografías mantienen la existencia de pliegues en el sector occidental. Más recientemente, en el Mapa Geológico Digital continuo de la Zona Cantábrica (Merino-Tomé *et al.* 2014), se incorpora un pequeño cabalgamiento en el sector occidental, ascendiendo en la sucesión hacia el SE.

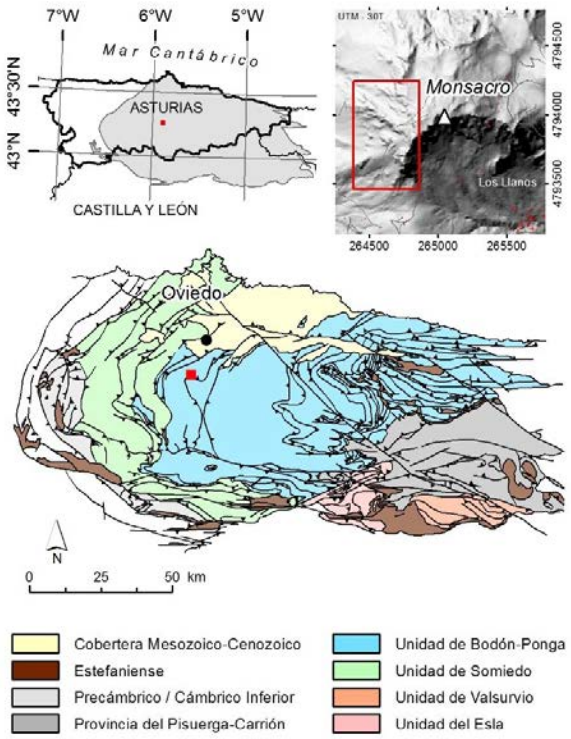


FIGURA 1. Localización geográfica del área estudiada, en rojo, y marco geológico (basado en Alonso *et al.*, 2009).

METODOLOGÍA

En primer lugar, se preparó un mapa geológico convencional basado en el reconocimiento en campo de las unidades litoestratigráficas presentes, la delineación de sus contactos, y la toma de datos estructurales in situ (estratificación, discontinuidades, planos de falla, estrías, etc.). Como soporte fue utilizada la cartografía topográfica 1:5.000 de 2003 editada por el Servicio Cartográfico del Gobierno del Principado de Asturias. Para la fotointerpretación se usaron las imágenes más recientes disponibles (2017) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. La composición digital del mapa geológico se llevó a cabo con QGIS (v. 3.4) y Esri ArcGIS (v. 10.5).

Posteriormente se abordó el análisis estructural de la información recabada, apoyado en la proyección estereográfica de datos mediante el software Rocscience Dips (v. 6.0). Por último, se elaboraron dos cortes geológicos de orientaciones NNW-SSE y NW-SE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estructura mayor del mapa corresponde a un antiforme sinclinal, con flancos norte y sur fuertemente invertidos (Fig. 2). La dirección y buzamiento del eje y plano axial de dicho pliegue son respectivamente 59/37 y 337/80. Este pliegue dobla cabalgamientos anteriores que repiten toda la sucesión estratigráfica descrita con anterioridad, los cuales, en consecuencia, se encuentran volcados junto con la sucesión estratigráfica.

En el flanco norte del pliegue descrito, la asociación de los cabalgamientos con las unidades involucradas tiene lugar a través de rampas de bloque inferior y superior, y dichos cabalgamientos ascienden en la sucesión estratigráfica hacia el NW. En el flanco sur los cabalgamientos muestran, en general, paralelismo con las formaciones, a modo de rellanos de bloque inferior y superior. La relación de corte de estos con la Fm. Candamo es en ocasiones anómala respecto al sentido de desplazamiento, pero ello probablemente se deba a la discontinuidad estratigráfica de dicha unidad. El hecho de que las rampas aparezcan en un flanco y los rellanos en el otro, permite interpretar el pliegue mayor como de tipo flexión de falla, aunque muy reapretado y volcado después de su desarrollo inicial. El grado de rotación de las láminas respecto a su disposición original alcanza hasta 140º en el flanco sur y supera los 180º en el septentrional. Se trata por ello de un volcamiento extraordinario en la Zona Cantábrica.

La Figura 3 ilustra cómo pudo ser la geometría original del imbricado de cabalgamientos y el grado de apretamiento posterior del pliegue de flexión de falla, así como la consecuente rotación de ambos flancos hasta su volcamiento. En las rampas de bloque inferior del flanco norte del pliegue principal, de dimensiones hectométricas, se desarrollan numerosos pliegues menores –decamétricos a lo sumo– en la Fm. Alba. Su origen puede relacionarse con la cizalla simple vinculada a los cabalgamientos. Los ejes tienen una disposición similar al eje del pliegue mayor, lo que apoya la asociación genética de este con los cabalgamientos.

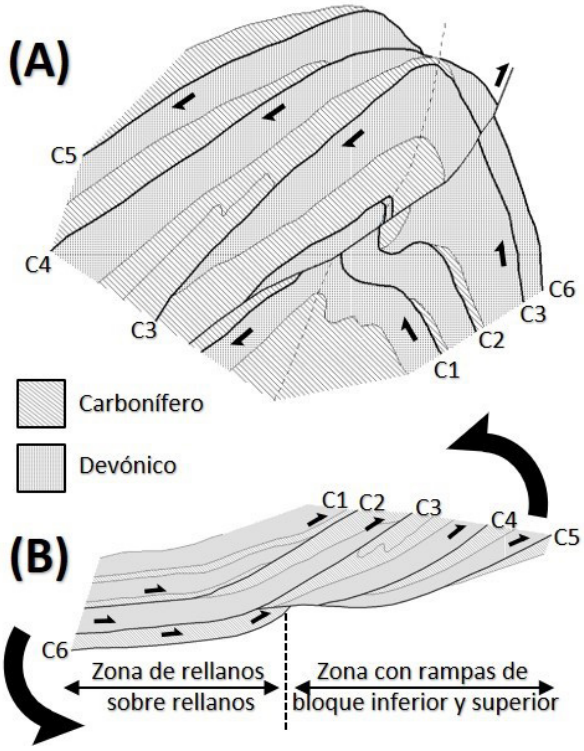


FIGURA 3. Disposición actual (A) e inicial (B) del imbricado de cabalgamientos cartografiado.

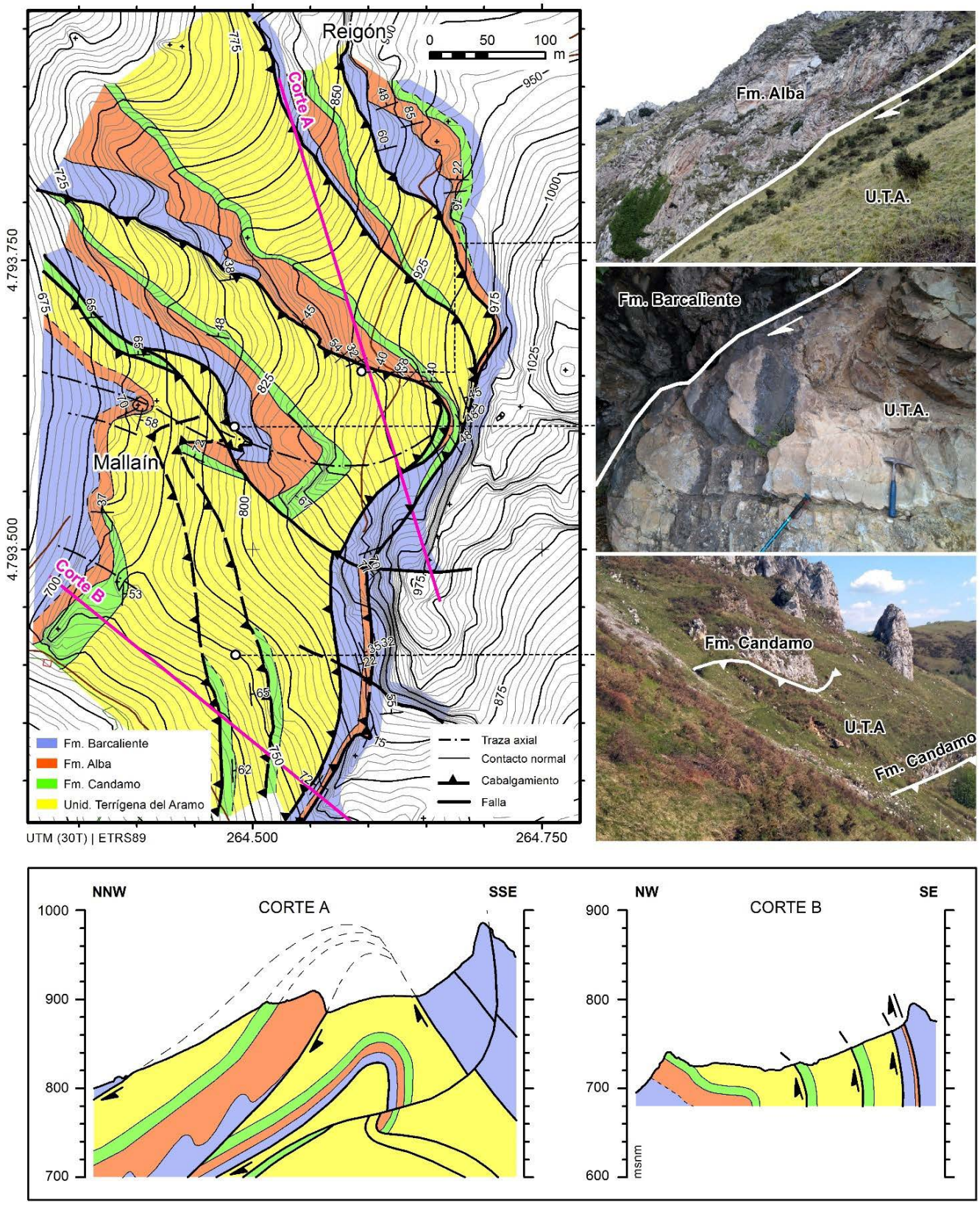


FIGURA 2. Mapa geológico y cortes del área noroccidental del Monsacro, e imágenes tomadas en campo.

CONCLUSIONES

El Monte Monsacro muestra una estructura diferente y más compleja que la que se presumía previamente. En el sector noroccidental presenta un sinclinal antiformal que pliega un apilamiento de cabalgamientos, los cuales repiten una sucesión estratigráfica que incluye rocas siliciclásticas devónicas –cuya presencia en este sector se da a conocer–, y las formaciones carboníferas Candamo, Alba y Barcaliente, las cuales se encuentran invertidas en ambos flancos del pliegue. El grado de volcamiento de las láminas cabalgantes es extraordinario, llegando a superar los 180º en el flanco septentrional. La estructura que dobla las láminas puede interpretarse como un pliegue de flexión de falla considerablemente reapretado tras su desarrollo inicial.

El ámbito del Monsacro requiere más estudios, a fin de resolver la causa del notable volcamiento que posee la sucesión estratigráfica y el sistema de cabalgamientos.

REFERENCIAS

Aller, J. (1993): La estructura geológica de la Sierra del Aramo (Zona Cantábrica, NO de España). *Trabajos de Geología*, 19: 3-13.

Almela, A. y Ríos, J.Mª. (1953): Datos para el conocimiento de la geología asturiana. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 65, 1-36.

Alonso, J.L., Marcos, A. y Suárez, A. (2009): Paleogeographic inversion resulting from large out of sequence breaching thrusts: The León Fault (Cantabrian Zone, NW Iberia). A new picture of the external Variscan Thrust Belt in the Ibero-Armorican Arc. *Geologica Acta*, 7 (4): 451-473.

Llopis Llado, N. (1960): Estudio geológico de las Sierras de la Coruxera, Mostayal y Monsacro. *Breviora Geologica Asturica*, 3-4: 3-132.

Merino-Tomé, O., Suárez, A. y Alonso, J. L. Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Cantábrica (Zona-1000). in GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. [05/06/2018]. Disponible en: http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geodezona.aspx?Id=Z1000

Pello, J. (1974): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 52* (Proaza). IGME, Madrid.

Río del, P. y Menéndez Álvarez, J.R. (1978): Estudio lito y bioestratigráfico de la Caliza de Candamo (Loredo, zona central de Asturias). *Trabajos de Geología*, 15: 6-78.

Schulz, G. (1858): *Descripción geológica de la provincia de Oviedo*. Imp. y Libr. de José González, Madrid, 138 p.

Vera, C. (1988): *Estratigrafía, sedimentología y paleogeografía de los grupos Rañeces y la Vid en la Cordillera Cantábrica (Asturias y León)*. Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 653 p.

Wagner, R.H.; Winkler-Prins, C.F. y Riding, R.E. (1971): Lithostratigrafhic units of the lower part of the Carboniferous in northern Leon, Spain. *Trabajos de geología*, 4: 603-663.

El anticlinal de Oliana: análogo de un reservorio geotérmico (Zona Surpirenaica)

The Oliana anticline: an analog of a geothermal reservoir (Southern Pyrenees)

P. Ramirez-Perez[1], I. Cantarero[1], D. Muñoz-López[1], J. P. Sizun[2] y A. Travé[1]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain

2 Chrono-Environnement, unité mixte de recherche 6249, Université de Franche-Comté-Centre National de la Recherche Scientifique, 16 Route de Gray, 25030 Besançon Cedex, France ; jpsizun@univ-fcomte.fr

Palabras clave: anticlinal, reservorio geotérmico, petrofísica, rocas sedimentarias, geofluidos.

Resumen

El anticlinal de Oliana es una estructura de escala sísmica situada al frente del cabalgamiento de las Sierras Marginales, en la Zona Surpirenaica. La secuencia estratigráfica que aflora en el área de estudio consiste en cuatro unidades sinorogénicas del Eoceno superior al Oligoceno inferior que incluyen margas, areniscas y conglomerados (Burbank *et al.*, 1992). Esta serie estratigráfica en un contexto geológico de anticlinal tiene un especial interés para ser estudiada y caracterizada como un potencial reservorio geotérmico. Para ello, recogimos 52 muestras distribuidas por todo el pliegue de las que se estudian sus propiedades petrofísicas: porosidad, permeabilidad y conductividad térmica. Estos datos junto con la caracterización de las principales fracturas y el análisis petrológico y geoquímico de las muestras permiten construir la secuencia paragenética y establecer los principales factores que controlan las propiedades petrofísicas de las rocas. Además, construimos un modelo evolutivo del anticlinal que integra todos los datos sedimentológicos, estructurales, diagenéticos y petrofísicos relevantes para la caracterización de un reservorio geotérmico.

Abstract

The Oliana anticline is a seismic scale structure located in front of the Serres Marginals thrust, within the South Pyrenean Zone. The stratigraphic sequence that crops out in the study area consists in four synorogenic units from Upper Eocene to Lower Oligocene that include marls, sandstones and conglomerates (Burbank et al., 1992). This stratigraphic series in a geological setting of an anticline has an especial interest to be studied and characterized as a new potential geothermal reservoir. For that, we collected 52 rock samples distributed around the fold to obtain their petrophysical properties: porosity, permeability and thermal conductivity. This data, along with the characterization of the main fracturing and the petrological and geochemical analysis of samples, allow to build the paragenetic sequence and to establish the driving factors that control the petrophysical properties of rocks. Moreover, we are building an evolutive model of the anticline that integrates all the sedimentological, structural, diagenetic and petrophysical data relevant for the characterization of a geothermal reservoir.

Referencias

Burbank, D. W., Puigdefabregas, C. and Muñoz, J. A., (1992). The chronology of the Eocene tectonic and stratigraphic development of the eastern Pyrenean foreland basin, northeast Spain, *Geol. Soc. Am. Bull*. 104, 1101-1120.

Evolución paleogeográfica mesozoica del margen SO de Iberia

Mesozoic paleogeographic evolution of SW Iberia

A. Ramos[1], O. Fernández[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Ríos Rosas 23 28003 Madrid. a.ramos@igme.es
2 Department of Geodynamics and Sedimentology, University of Vienna, Viena, Austria. esparita@gmail.com

Palabras clave: margen pasivo oblicuo, paleogeografía, margen SO de Iberia, enlace Tetis-Atlántico, Cuenca del Algarve.

Resumen

El margen SO de Iberia consiste en un margen pasivo oblicuo orientado aproximadamente ENE-OSO (Fernandez, 2019; Ramos *et al.*, 2020). La realización de reconstrucciones paleogeográficas permitió determinar la evolución de la Cuenca del Algarve durante el Mesozoico hasta el Paleógeno, mediante la integración de trabajo de campo e interpretación de perfiles de sísmica de reflexión y pozos costa afuera. Como resultado, sugerimos que el margen pasivo se desarrolló durante el Mesozoico como consecuencia de la apertura de la parte más occidental del Tetis, también influenciado parcialmente por la apertura del Atlántico Central. La deformación extensional resultante fue acomodada por fallas extensionales de orientación ENE-OSO, segmentadas por fallas oblicuas de transferencia orientadas NO-SE, y parcialmente enmascarada por tectónica salina. Estos elementos controlaron los depocentros y la distribución de los ambientes deposicionales de la Cuenca del Algarve durante el Mesozoico. La convergencia entre África e Iberia durante el Cretácico Superior y Cenozoico ocasionó la inversión tectónica de algunas estructuras formadas durante la etapa evolutiva de rift, así como la formación de un nuevo sistema contractivo vergente hacia el sur y la reactivación del diapirismo salino. En este trabajo se documenta también la presencia de dos zonas de transferencia regionales orientadas NO-SE que conectan la Cuenca del Algarve con el Banco de Gorringe hacia el oeste y la Cuenca Bética hacia el este.

Abstract

The SW Iberian margin consists of an oblique passive margin oriented approximately ENE-WSW (Fernandez, 2019; Ramos et al., 2020). Paleogeographic reconstructions have allowed us to determine the evolution of the Algarve Basin from Mesozoic to Paleogene times, by integrating fieldwork and interpretation of reflection seismic profiles and wells in the offshore. As a result, we suggest that the passive margin developed during the Mesozoic as a consequence of the opening of the westernmost part of the Tethys, also partially influenced by the opening of the Central Atlantic. The resulting extensional deformation was accommodated by ENE-WSW oriented extensional faults, segmented by NW-SE oriented oblique transfer faults, and partly masked by salt tectonics. All these tectonic features controlled the depocenters and the distribution of the depositional environments of the Algarve Basin during the Mesozoic. The convergence between Africa and Iberia during the Upper Cretaceous and Cenozoic caused the tectonic inversion of some structures formed during the rifting phase of evolution, as well as the formation of a new contractional southward-verging system and the reactivation of salt diapirs. This work also documents the presence of two NW-SE oriented regional transfer zones that connect the Algarve Basin with the Gorringe Bank to the west and the Betic Basin to the east.

Referencias

Fernandez, O. (2019). *Tectonophysics* 750, 379–393. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.12.006

Ramos, A., Fernández, O., Terrinha, P., Muñoz, J.A., Arnaiz, Á. (2020). *Int. J. Earth Sci*. 109, 1871–1895. https://doi.org/10.1007/s00531-020-01878-w

Reconstrucción 3D del sinclinal de Llert (Pirineos Centrales)

3D reconstruction of the Llert syncline (Central Pyrenees)

A. Ramos[1,2], B. López-Mir[1], J.A. Muñoz[2], P. Granado[2],

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Ríos Rosas 23 28003 Madrid. a.ramos@igme.es
2 Institut de Recerca Geomodels, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona 08028, Barcelona.

Palabras clave: Cuenca del Cotiella, falla lístrica, inversión tectónica, tectónica salina, construcción 3D.

Resumen

El sinclinal de Llert se encuentra en los Pirineos Centrales. Constituye la estructura de enlace/transición entre la terminación oriental de la Cuenca invertida del Cotiella, orientada aproximadamente WNW-ESE, con los anticlinales del Turbón y del Serrado de orientación N-S. La inversión de la cuenca del Cotiella y los anticlinales se desarrollaron en el Santoniense superior-Maastrichtiense durante las primeras etapas de la deformación contractiva pirenaica. Los materiales sinorogénicos están representados por una potente serie turbidítica que onlapa los flancos de los anticlinales y que ocupan el núcleo del sinclinal de Llert, enmascarando en parte las relaciones entre la cuenca del Cotiella y su bloque inferior. Con el objetivo de caracterizar la estructura de la zona y entender las relaciones tectonosedimentarias en 3D entre las distintas unidades implicadas se ha llevado a cabo una cartografía geológica de detalle a escala 1:5.000, teniendo en cuenta la anterior elaborada por el IGME (Robador y Zamorano, 1999). Así mismo se ha realizado un análisis estructural para la construcción de 6 cortes geológicos transversales y perpendiculares al sinclinal de Llert que han servido para la construcción 3D del mismo, teniendo también en cuenta trabajos previos (p.e. García-Senz, 2002; López-Mir, 2013). Debido a la falta de datos de subsuelo, la metodología para modelado 3D ha consistido en la interpolación entre los cortes geológicos, apoyado por los datos cartográficos y de campo. El modelo 3D revela el paralelismo entre el eje del sinclinal de Llert y la falla invertida del Cotiella, la cual muestra un gradiente de desplazamiento creciente abruptamente hacia el SO, atestiguado por el engrosamiento de las unidades sin-extensivas del Cretácico Superior.

Abstract

The Llert syncline is located in the Central Pyrenees, in the hinge area between the eastern termination of the inverted WNW-ESE-trending Cotiella Basin and the N-S striking Turbón and Serrado anticlines, which developed in the footwall of the basin. Contractional deformation started at late Santonian times and continue during the Maastrichtian when thick sequences of the synorogenic turbidites were deposited. These turbidites onlap the limbs of the anticlines and crop out in the core of the Llert syncline. In order to characterise the structure of the area and understanding the 3D tectonosedimentary relationships between the different structural and sedimentary units a detailed geological mapping at 1:5.000 scale was carried out, completing the existing 1:50.000 map by the IGME (Robador and Zamorano, 1999). Based on the structural analysis of the field data and a compilation of previous works, 6 geological cross-sections across and along-strike have been produced and used for the 3D construction of the Llert syncline. Due to the lack of subsurface data, the 3D modelling methodology was based on the interpolation of the geological cross- sections, supported with field mapping data. The 3D model reveals the parallelism between the Llert syncline axis and the inverted Cotiella fault, which displays an abrupt increase on displacement gradient towards the SW, recorded by the thickening of the syn-extensional Upper Cretaceous units.

Referencias

Robador, A., Zamorano, M., 1999. *Mapa geológico de España 1:50.000 Segunda serie*. Hoja 212 /Campo. I.G.M.E.

Control tectónico sobre el sistema de drenaje de la Sub-Cuenca de la Bureba (Norte de Iberia)

Tectonic control on the drainage system of the Bureba sub-basin (North Iberia)

A. Ramos[1], J. Mediato[1], R. Pérez-López[1], M.A. Rodríguez-Pascua[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Ríos Rosas 23 28003 Madrid. a.ramos@igme.es

Palabras clave: Plataforma Burgalesa, Cuenca del Ebro, Cuenca del Duero, fracturación.

Resumen

La confluencia entre las cuencas del Ebro y Duero, dos de las cuencas Cenozoicas de antepaís con mayor entidad en la Península Ibérica, se encuentra al este de la Plataforma Burgalesa (Cuenca Mesozoica Vasco-Cantábrica), al norte de Iberia. El análisis de modelos digitales del terreno y ortofotos con resoluciones de 1 m/píxel y 0.25 m/píxel respectivamente, así como la realización de cartografía geológica a escala 1:50,000 (reedición de la hoja 167 MAGNA; Pineda, 1997), ha permitido documentar nuevos elementos tectónicos y geomorfológicos en la zona de estudio. Un ejemplo de ello son sistemas de fallas menores, fracturas y diaclasas encontradas en los materiales del Cretácico Superior siguiendo 4 principales orientaciones: ENE-WSW, NW-SE, NNO-SSE y NE-SO. Estas estructuras son paralelas a las ya documentadas por Quintà (2013) en otras zonas de la Plataforma Burgalesa, formadas durante la deformación contractiva Miocena. El relleno sedimentario Mioceno de la sub-cuenca de la Bureba (parte más occidental de la Cuenca del Ebro) se encuentra incidido por un sistema de drenaje complejo que sigue las mismas orientaciones tectónicas previamente mencionadas. De esta manera, la tectónica compresiva y de desgarre Cenozoica controló la deposición de los sedimentos aluviales y fluviales cuaternarios de la sub-cuenca, al contrario de la geometría rectilínea del sistema de drenaje de la Cuenca del Duero (Ramos *et al.* 2021).

Abstract

The confluence between the Ebro and Duero basins, two of the largest foreland Cenozoic basins in the Iberian Peninsula, is located east of the Burgalesa Platform (Basque-Cantabrian Mesozoic Basin), north of Iberia. The analysis of digital terrain models and orthophotos with resolutions of 1 m/pixel and 0.25 m/pixel respectively, as well as the performing of geological mapping at 1:50,000 scale (reissue of sheet 167 MAGNA; Pineda, 1997), has allowed to document new tectonic and geomorphological elements in the study area. An example of this are short-scale fault systems, fractures and joints found in the Upper Cretaceous materials following 4 main orientations: ENE-WSW, NW-SE, NNW-SSE and NE-SW. these structures are parallel to those already documented by Quintà (2013) in other areas of the Burgalesa Platform, formed during the Miocene contractive deformation. The Miocene sedimentary deposit of the Bureba sub-basin (westernmost part of the Ebro Basin) is affected by a complex drainage system that follows the same tectonic orientations previously mentioned. Therefore, the Cenozoic compressional and strike-slip tectonics controlled the deposition of the alluvial and quaternary fluvial sediments of the sub-basin, contrary to the rectilinear geometry of the drainage system of the Duero Basin (Ramos et al. 2021).

Referencias

Pineda, A. (1997). Mapa Geológico de la Hoja nº 167 (Montorio) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1/50.000. IGME.

Quintà, A. (2013). *El patrón de fracturación alpina en el sector suroccidental de los Pirineos Vascos*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, 170 pp.

Ramos, A., Mediato, J.F., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A. (2021). *Journal of Maps* 0, 1–11. https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1869111

Reconstrucción geológica 3D de la Cuenca Vasco-Cantábrica.

3D geological modeling of the Basque Cantabrian Basin.

A. Robador[1], F. Bohoyo[1], J. García Senz[1], C. Peropadre[1], M. Druet[1], L. Cortés[2], A. Franco[2] y J. García Portero[3]

1 Dirección de Investigación y Prospectiva Geocientífica . IGME. La Calera 1, Tres Cantos 28760 Madrid. a.robador@igme.es, f.bohoyo@igme.es, jesus.garcia@igme.es, c.peropadre@igme.es, m.druet@igme.es
2 Ente Vasco de la Energía (EVE), Alameda de Urquijo, 36, 1º planta 48011 Bilbao, lcortes@eve.eus, afranco@eve.eus
3 Sociedad de Hidrocaburos de Euskadi (SHESA), Alameda de Urquijo, 36, 1º planta 48011 Bilbao, jgarcia@eve.eus

Palabras clave: Cuenca Vasco-Cantábrica, modelo 3D, hiperextensión, geofísica

Resumen

La Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC) es la cuenca sedimentaria de la península ibérica más investigada para hidrocarburos, lo que ha proporcionado una gran base de datos del subsuelo (Garcia Portero, 2019). A esta información se suma un elevado conocimiento de la geología de superficie: cartografía geológica del País Vasco a escala 1:25.000 (EVE), mapas geológicos E. 1:25.000 realizados por el IGME para la Comunidad Autónoma de Cantabria y trabajos de síntesis E. 1:50.000 (IGME, Mapa geológico continuo GEODE Pirineo-CVC, Robador *et al*, 2020). Partiendo de este gran volumen de datos geológicos, el EVE y el IGME desarrollan un proyecto conjunto para la construcción de un modelo tridimensional de la CVC.

Dada la gran complejidad estructural de la CVC, el trabajo de reconstrucción tridimensional exige un preciso conocimiento de la estructura geológica. Con este fin, el trabajo se ha abordado mediante la realización y restauración de cortes geológicos. Durante el año 2017 una sección geológica restituida por la zona central de la CVC, mostró la existencia de un despegue extensional dirigido hacia el sur que produjo la exhumación del manto durante el Cretácico inferior (Pedrera *et al.,* 2017). Sucesivas secciones, en las que se apoyan los horizontes geológicos, se están realizando en otros sectores de la cuenca.

Abstract

The Basque-Cantabrian Basin (BCB) is the most studied sedimentary basin of Iberia for oil resources, providing a large subsoil database (Garcia Portero, 2019). This huge amount of information, complemented with with detailed geological mapping (1: 25,000 scale maps of the Basque Country -EVE-, Cantabria -IGME-, and seamless 1: 50,000 GEODE synthesis, Robador et al., 2020) encourage IGME and EVE teams to develop a project for the 3D modeling of the BCB.

A precise knowledge of the geological structure of the BCB is needed. This goal was addressed through the realization of restored cross sections. The first traverse through the central zone of the BCB revealed the existence of a major south-dipping extensional detachment that produced the exhumation of the mantle during the lower Cretaceous (Pedrera et al., 2017). Successive sections, in which geological horizons are supported, are being carried out in other sectors of the basin.

Referencias

García Portero, J. (2019): Exploración para hidrocarburos en la Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC). *De Re Metallica* 33, 33-49.

Pedrera, A., García-Senz, J., Ayala, C., Ruiz-Constán, A., Rodríguez-Fernández, L.R., Robador, A. y González-Menéndez, L. 2017. Reconstruction of the exhumed mantle across the North-Iberian Margin by crustal-scale 3D gravity inversion and geological crosssection. *Tectonics* 36, 3155–3177z

Robador, A., Samsó, J.M., Ramajo, J., Barnolas, A., Clariana, P., Martín Alfageme, S. y Gil Peña, I.; Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50.000, Zona Pirineos Vasco-Cantábrica (Zona-1600). En GEODE. *Mapa Geológico Digital continuo de España*. [en línea] [2020].

Structure and kinematics of the Ayora-Cofrentes Diapir (eastern Betics). Role of basement faulting in the salt and suprasalt deformation of the Mesozoic cover.

Estructura y cinemática del diapiro de Ayora-Cofrentes (Béticas orientales). Rol de las fallas de basamento en la deformación salina y suprasalina de la cobertera mesozoica.

E. Roca[1], F. Escosa[1,4], O., Ferrer[1], F. Gutiérrez[2], P.G. Silva[3], J. Elez[3], P. Granado[1] and O. Gratacós[1]

1 Geomodels UB Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona. eduardroca@ub.edu, fredescosa@gmail.com, joferrer@ub.edu, pablomartinez_granado@ub.edu
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. fgutier@unizar.es
3 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca. pgsilva@usal.es, j.elez@usal.es
4 Terractiva Consulting S.L. Ronda Sant Pere 16, 08019 Barcelona.

Abstract: *The Ayora-Cofrentes Diapir is a 34 km long N-trending salt wall cutting the Valencian Domain that is made by Middle to Upper Triassic salt. On both sides, it is flanked by parallel half grabens offsetting the subtabular strata of the Jurassic to Cretaceous suprasalt carbonate successions. Based on detailed geological mapping and cross-sections, one of them supported by a new magnetotelluric profile, this study analyses the structure and kinematics of this salt wall with the purpose of establishing the role played by the subsalt structure in its development; and, thus, help in the interpretation of diapirs currently incorporated in fold and thrust belts. In this regard, the study evidences the presence of a subsalt basement fault (the Ayora Fault), active as extensional during the Early Jurassic, and reactivated with a reverse throw sometime between the latest Cretaceous and middle Miocene. Both motions are older than the salt wall growth (middle-late Miocene). This strongly suggest that the Ayora-Cofrentes Diapir was not triggered by the vertical motion of the underlying Ayora basement fault but by thin-skinned processes for which this pre-existing basement fault appears to have played a crucial role as salt/suprasal strain localizer.*

Keywords: *salt wall, salt tectonics, décollement, thick- vs. thin-skinned tectonics, eastern Betics.*

Resumen: El diapiro de Ayora-Cofrentes es una pared salina N-S de unos 34 km de longitud que atraviesa el Dominio Valenciano. Está formado por sal del Triásico Medio y Superior; y, a ambos lados, está flanqueada por semi-fosas que afectan las capas del Jurásico y Cretácico. En este estudio se ha analizado su estructura y cinemática en base a cartografías geológicas de detalle y cortes compensados. El objetivo ha sido establecer el papel que ha jugado la estructura infrasalina en su desarrollo; y así ayudar a interpretar diapiros similares actualmente incorporados en los sistemas orogénicos. En este sentido, el estudio muestra que, por debajo de la pared salina, hay una falla extensiva de basamento (la Falla de Ayora) de edad Jurásico Inferior que, posteriormente, se reactivó con una componente vertical inversa en algún momento entre el Cretácico superior y el Mioceno medio. Ambos movimientos son previos al desarrollo de la pared salina (Mioceno medio a superior). Por ello, la pared salina de Ayora-Cofrentes no parece haberse generado por el movimiento de la falla de basamento subyacente sino por deformaciones de piel delgada para las que esta falla preexistente jugó un papel crucial como localizador de la deformación salina y suprasalina.

Palabras clave: pared salina, tectónica salina, *décollement*, tectónica de piel gruesa vs. tectónica de piel fina, Béticas orientales.

INTRODUCTION

Although salt diapiric structures are widespread in the eastern part of the Iberian Peninsula, significant challenges still remain about their driving mechanism. One of the most prominent is to determine if the extension driven diapirs of Triassic salt are related to a thin- or thick-skinned tectonics. Most of these diapirs are involved in younger thin-skinned folds and thrust systems (Pyrenees, External Betics and Iberian Chain) that, detached in the salt, translated them far away from their original position. Consequently, their relationships with the initial subsalt structure must be stablished indirectly, mainly on the basis of the structure/thickness variations of the suprasalt successions; data that very often do not lead to a straightforward answer.

In this scenario, the Valencian Domain and the scarcely deformed cover of the Iberian Massif located westwards (SE Spain) appear as particularly favorable regions to recognize relationships between the basement (subsalt) structure and the diapirism. Both are the only places in

the Iberian Peninsula with outcropping diapirs of Triassic salt that have been little (less than 3 km) or not displaced from their original position.

This work analyses the structure and kinematics of one of the largest diapir of this sector (the Ayora-Cofrentes Diapir) with the purpose of establishing the role played by the subsalt structure in its development, and, thus, help in the interpretation of similar diapirs currently incorporated in fold and thrust systems. It is a study based on detailed geological maps and several cross-sections, one of them supported by a new magnetotelluric profile.

GEOLOGICAL SETTING

Located northwestwards of the External Prebetic Zone, the Valencian Domain is the outermost unit of the eastern Betic Cordillera (Roca et al., 2006). It is a thin-skinned thrust sheet around 50 km wide made up by a 1,000-1,500 m thick Jurassic-Upper Cretaceous succession. To the north, it is bounded by a NNW to ENE-trending arcuate thrust front (Fig. 1) whose structure and lateral extend indicates a small (less than 3 km) NW to N directed displacement that diminishes westwards to be nearly null west of the Ayora-Cofrentes Diapir. To the south, the Valencian Domain is delimited by ENE-trending folds and minor thrusts (Fig. 1) traditionally defined as the External Prebetic Front (Vera, 1983; De Ruig, 1992). These folds and thrusts are detached at the Upper Triassic salt and they develop over a strip in which the salt detachment dips to the SE and the thickness of the Mesozoic to Cenozoic increases in the same direction. These features are compatible with the presence of a major ENE-trending and SSW-dipping subsalt fault offsetting the top of the Variscan basement with a throw of about 1,300-1,500 m.

The internal structure of the Valencian Domain, like in the rest of the External Betics, is controlled by the presence of the weaker Middle-Upper Triassic evaporitic units between the stronger Variscan basement and Jurassic-Cretaceous suprasalt cover. These weak layers (Keuper and middle Muschelkalk) decouple the deformation promoting two different styles of deformation above and below them. Thus, beneath these salt layers, the subsalt rocks appear to be offset by few planar extensional faults with predominant ENE-WSW and N-S trends that bound rigid polygonal blocks with limited internal deformation. In contrast, the suprasalt Jurassic-Cretaceous cover constitutes a large subhorizontal tabular platform that, bounded by detachment folds and thin-skinned thrusts, is cut by a pervasive set of salt-detached extensional faults and salt walls with N-S, ENE-WSW and NNW-SSE trends.

THE COFRENTES SALT WALL

One of these suprasalt structures is the prominent N-trending Ayora-Cofrentes Salt Wall. This structure, around 34 km long, traverses the entire Valencian Domain, and is flanked on both sides by parallel half grabens that offset the Jurassic to Cretaceous carbonate succession and are filled by Miocene to Pliocene continental sediments.

The salt wall is made up of a layered evaporite sequence of Middle to Upper Triassic evaporites (halite and anhydrites), carbonates and fine-grained detrital sediments. Detailed geological mapping carried out in the Cofrentes and Ayora areas, indicates that its overall internal structure belongs to a global anticlinorium with a roof deformed by synforms and antiforms. These secondary folds involve the Middle Triassic Muschelkalk carbonates up to the uppermost Keuper unit (the so-called K5; Ortí, 1974), and, in general, are westwards inclined detachment folds cut at the diapir edges. They are cored by salt located beneath the Middle Triassic carbonates (upper Muschelkalk) which is inferred to correspond to the middle Muschelkalk.

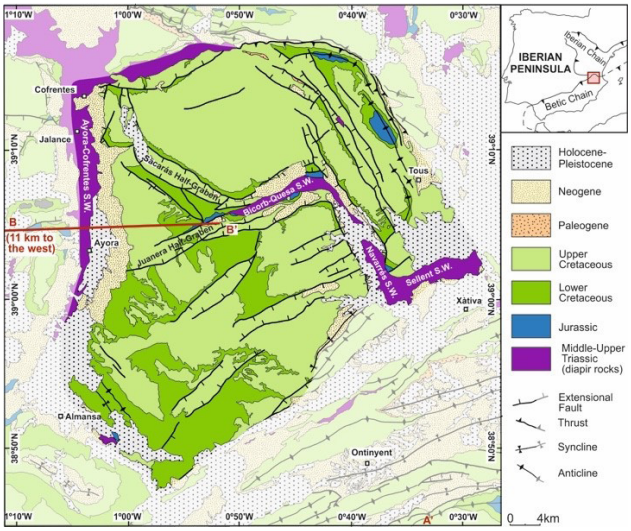


FIGURE 1. Geological map of the Valencian Domain and adjoining Iberian Chain and Prebetic fold-and-thrust belts. SW: salt wall. Solid colors, frames and lines represent the Valencian Domain. B-B': location of the cross-section and magnetotelluric profile shown in Figs. 3 and 4.

The well exposed surface geology also reveals that the long salt wall is elsewhere flanked by suprasalt half grabens bounded by the extruding salt and, in the opposite side, by extensional faults dipping towards the salt wall axis. These asymmetric basins are filled by Neogene deposits, comprising, from base to top: 1) a middle to upper Miocene detrital fluvial to alluvial syndiapiric unit; and 2) a Plio-Quaternary lacustrine marly to limestone postdiapiric unit (Santiesteban et al., 1990).

The middle-upper Miocene sediments lie unconformably on the highly deformed diapiric succession and are affected by the marginal extensional faults. Their syn-diapiric character is defined by: a) the growth-strata geometries shown by the Miocene detrital sediments at the diapir edges where tabular halokinetic sequences have been recognized; and, b) the widespread presence of re-sedimented bipyramidal quartz crystals derived from the K4 Upper Triassic diapiric unit. Those crystals, locally

designated as "jacintos de Compostela", have a diagenetic origin and denote the extrusion and erosion of the salt in the Ayora-Cofrentes Diapir.

By contrast, the uppermost Miocene to Plio-Quaternary sediments onlap and truncate the marginal extensional faults, and, with a rather constant thickness, lies unconformably over the diapir rocks. They are undeformed except over the salt incised by the fluvial network. Here, mainly above the K4 unit, they appear affected by collapse structures that locally generated some minor secondary minibasins (Fig. 2).

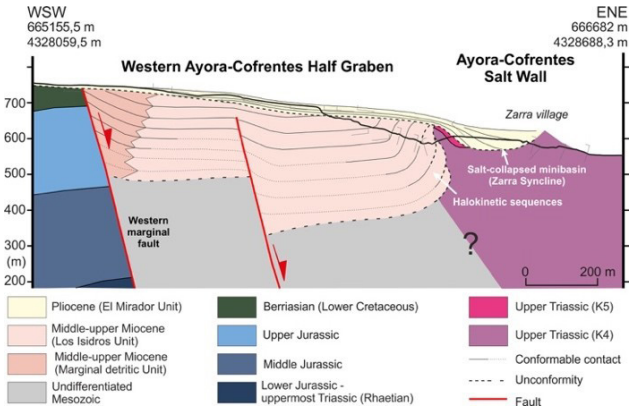


FIGURE 2. Schematic cross-section of the western margin of the Ayora-Cofrentes Salt Wall at the Zarra village. Note the salt-collapse structure at the Zarra village where thickened Pliocene show a growth-strata geometry with beds downlaping a troughshaped unconformity developed over the Keuper K4 unit.

Subsalt (basement) structure

New magnetotelluric data (Fig. 3), the Carcelen-1 well and thickness variations in the outcropping Jurassic and Cretaceous rocks reveal the existence of a c. 30 km long N-trending basement fault beneath the salt wall. This fault, designated as the Ayora Fault, is interpreted to be planar and dipping to the west according to the thickness differences and the regional horizontal attitude of the suprasalt cover on both fault sides. The thickness variations are restricted to the Lower Jurassic which is much thicker in the western block of the fault (Fig. 4). They are not present in the overlying Jurassic and Cretaceous successions which display similar thicknesses on both fault sides.

These data evidences that the Ayora Fault is a W-dipping basement fault that moved as extensional during the Early Jurassic and did not have significant activity during the sedimentation of the Middle Jurassic to Upper Cretaceous successions. The magnitude and orientation of the fault displacement vector during the Early Jurassic is difficult to stablish with the available data. However, from thickness variations, it can be estimated that it generated a throw of the mechanical basement top decreasing from 1,020-1,390 m at the Ayora area to c. 300 m at the Jalance-Cofrentes sector.

After this extensional history, the higher elevation of the base of the Upper Cretaceous (green line in Fig. 3) in the hangingwall denotes that the Ayora Fault reactivated with a reverse throw. The age of this reactivation was older than the Plio-Quaternary whose base has a similar elevation at both sides of the fault (yellow line in Fig. 3). Such uniform elevation of the Plio-Quaternary indicates that the Ayora Fault has not experienced any appreciable throw after the late Miocene. In this sense, the dip-slip normal faulting observed in some late Pleistocene to Holocene fluvial terraces of the Xúquer river are probably linked to dissolution processes of the salt wall along the fault trace.

Considering that the Ayora-Cofrentes Salt Wall and related half grabens developed during the middle-late Miocene, this implies that the formation of these last structures was not linked to the motion of this basement fault but to a thin-skinned stretching of the suprasalt Mesozoic cover. In this scenario, the pre-existent Ayora basement fault acts as a strain localizer of this middle-late Miocene thin-skinned deformation by: 1) shifting the elevation of the décollement (Middle-Upper Triassic salts); and 2) changing suddenly the thickness, and therefore the mechanical behavior of the overburden.

CONCLUSIONS

From the magnetotelluric, structural and stratigraphic data, we can draw the following concluding points regarding the kinematics of the Ayora-Cofrentes Diapir and the associated basement and suprasalt structures:

- *Underlying the salt wall, there is a basement fault (the Ayora Fault) active as extensional during the Early Jurassic and reactivated as a reverse sometime between the latest Cretaceous and middle Miocene.*
- *The passive diapiric rise of the Ayora-Cofrentes Salt Wall took place during the early (?)-late Miocene, contemporaneously with the development of the fringing half grabens. The precise age is not well constrained with the available data but can be expected to happen before the deposition of the first sediments in the two half grabens; this is, during the early-middle Miocene.*
- *Both salt inflation in the Ayora-Cofrentes Salt Wall and fault activity in the fringing half grabens ended at the latest Miocene-earliest Pliocene just before the sedimentation of the Plio-Quaternary deposits.*
- *The Ayora-Cofrentes Salt Wall, consequently, was not driven by thick-skinned stretching but by thin-skinned processes in which a pre-existing basement fault (in this case the Ayora Fault) played a crucial role as salt/suprasal strain localizer.*
- *From the Pliocene, in those areas with fluvial incision, some small minibasins and extensional structures have been developed over the salt wall, apparently related to the halite dissolution of the Upper Triassic K4 unit.*

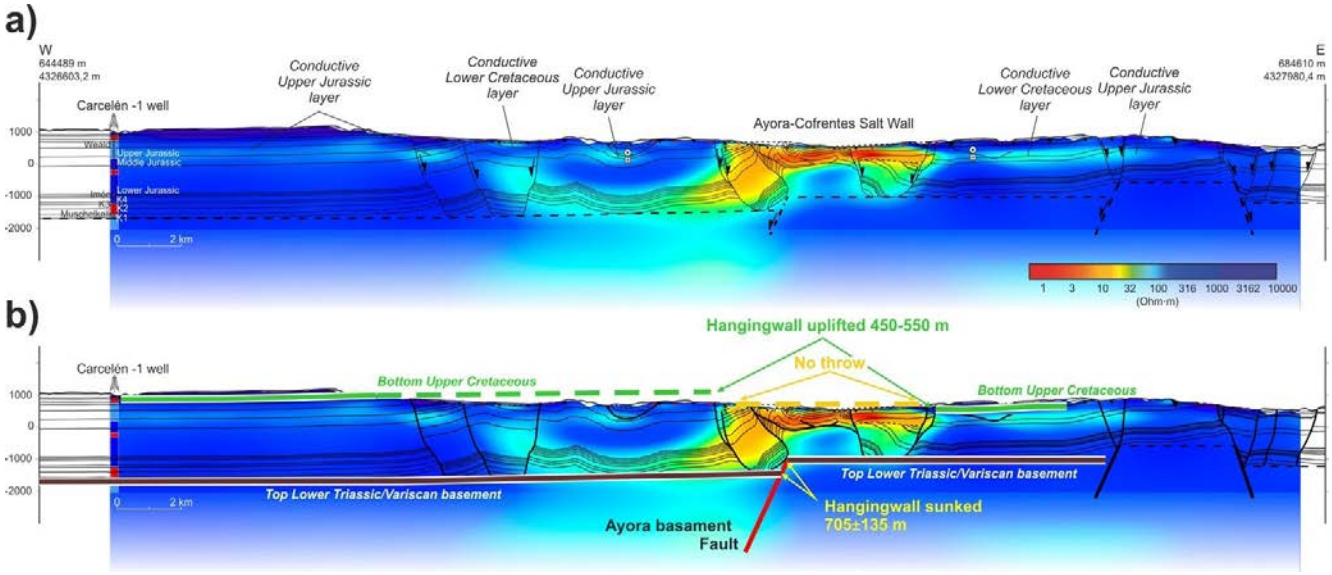


FIGURE 3. a) 2D magnetotelluric model of the Carcelén-1 - Juanera Half Graben transect with the faults and stratigraphic contacts depicted in the cross-section of the Fig. 4; b) Elevation of the top of the Lower Triassic/Variscan basement (thick continuous brown line), bottom of the Upper Cretaceous (continuous to dashed green line) and bottom of the Pliocene (dashed yellow line) on both sides of the Ayora Fault. For cross-section location see Fig. 1

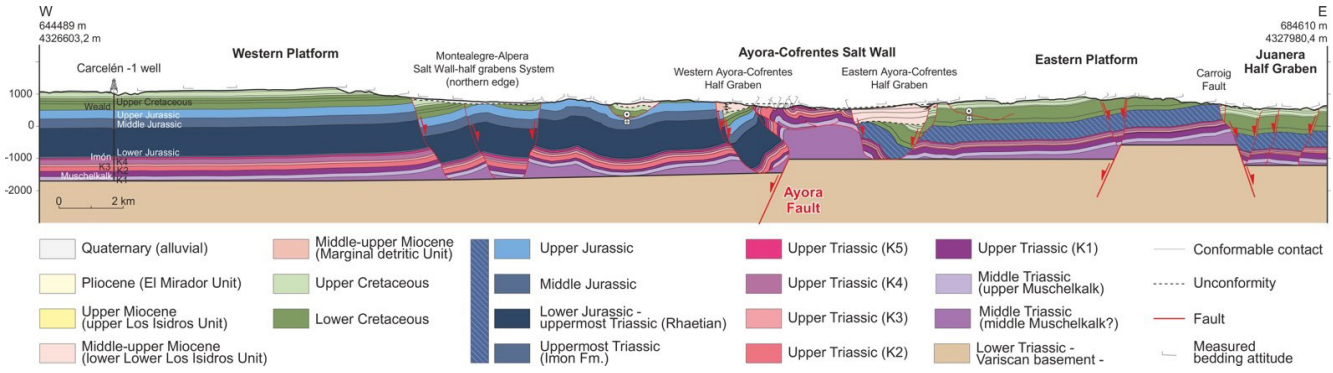


FIGURE 4. Geological cross-section through the central part of the Ayora-Cofrentes Salt Wall extending from the vicinity of the Carcelén-1 exploratory well to the Juanera Half Graben. Subsurface structure constrained by field data, the Carcelén-1 well and the results of the 2D MT model. The dip of the basement faults is speculative. For cross-section location see Fig. 1.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partially funded by the projects CGL2017-85532-P and CGL2015-67169-P of the MEC and the Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques (2014SGR-467). We thank Paradigm^{MT} and Petroleum Experts Ltd. For providing the academic licenses of the used GoCad and Move software respectively.

REFERENCES

De Ruig, M.J. (1992): *Tectono-sedimentary evolution of the Prebetic fold belt of Alicante (SE Spain). A study of stress fluctuations and foreland basin deformation.* Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit, 207 p.

Ortí, F. (1974): El Keuper del Levante español. *Estudios Geológicos* 30, 7-46.

Roca, E., Sans, M. and Koyi, H.A. (2006): Polyphase deformation of diapiric areas in models and in the eastern Prebetics (Spain). *AAPG Bulletin* 90, 115-136.

Santisteban, C., Saiz, J., Bello, D., Ruiz-Sánchez, F.J. (1990): Tectónica y sedimentación en el margen oeste del rift terciario del valle de Ayora-Cofrentes (Valencia). *Geogaceta* 8, 44-47.

Vera, J.A. (1983): Las zonas externas de las cordilleras Béticas. In: *Geología de España 2, Libro Jubilar J. M. Rios* (J.A. Comba, Ed.), IGME, Madrid, 218-251

La estructura extensiva Mesozoica y su influencia en la posterior inversión de la cuenca de Organyà (Pirineo Central)

The Mesozoic extensional structure and its influence on the subsequent inversion of the Organyà Basin (Central Pyrenees)

M. Roma[1], O. Ferrer[1], J.A. Muñoz[1] E. Roca[1] y O. Gratacós[1]

1 Institut de Recerca Geomodels UB, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Barcelona. mariaroma@ub.edu

Palabras clave: *salt-detached ramp-syncline,* extensión e inversión tectónica, tectónica salina, Pirineo Central

Resumen

La Cuenca de Organyà (Pirineo Central) representa un claro ejemplo de cuenca extensiva desarrollada durante el Cretácico Inferior debido a la obertura del Golfo de Vizcaya despegada en un nivel salino del Triásico Superior (Keuper). La principal característica de esta cuenca es su geometría sinclinal asimétrica definida por la progresiva migración de sus depocentros hacia el sur durante la extensión del Cretácico Inferior (Aptiense y Albiense inferior). El relleno sedimentario sin-extensivo está caracterizado por carbonatos de aguas poco profundas y margas de cuenca (Berástegui *et al.*, 1990). Posteriormente durante la compresión alpina (Santoniense superior - Paleoceno) las estructuras extensivas fueron invertidas e incorporadas al cinturón de pliegues y cabalgamientos del Pirineo Central.

Con la finalidad de entender la evolución cinemática de esta cuenca y describir el papel de la tectónica salina durante ambas etapas de deformación, se presenta un estudio que integra datos de campo junto con cortes estructurales restituidos. Los resultados de estos sugieren que la Cuenca de Organyà es una cuenca sinclinal desarrollada en el bloque superior de una falla planar con geometría en rampa-rellano durante la extensión del Cretácico Inferior que además está despegada en un nivel salino del Triásico Superior.

Abstract

The Organyà Basin constitutes a clear example of extensional basin developed during the Lower Cretaceous due to the opening of the Bay of Biscay detached on Upper Triassic (Keuper) salt. The main geometric feature of this basin is an asymmetric syncline defined by the progressive southwards migration of their depocenters as the Lower Cretaceous extension increases (Aptian to Lower Albian). The synrift Lower Cretaceous sedimentary filling of the Organyà Basin consist of shallow water carbonates and basinal marls. Subsequently, the extensional structures were inverted and incorporated into the Pyrenean fold-and-thrust belt during the alpine compression (Late Santonian to Paleocene).

In order to understand the kinematic evolution of this basin and describe the role of salt during both stages of deformation, we present a work that integrates field data together with qualitative structural restorations. The results suggest that the Organyà Basin is a salt-detached ramp-syncline basin developed during Lower Cretaceous rifting phase.

Referencias

Berástegui, X., García-Senz, J.M. y Losantos, M. (1990). Tectono-sedimentary evolution of Organyà extensional basin (central south Pyrenean unit, Spain) during the Lower Cretaceous. *Bulletin de la Sociéte géologique de France* 2, 251-264.

Reactivación de estructuras salinas: modelización analógica de sistemas salinos en contracción

Reactivation of salt structures: analog modeling of contractional salt systems

P. Santolaria[1], N. Carrera[1], J.A. Muñoz[1]

1 Universitat de Barcelona, Institut de Recerca Geomodels, Barcelona (pablo.santolaria.otin@gmail.com)

Palabras clave: Modelización analógica, *minibasins*, sistemas salinos.

Resumen

La distribución de estructuras salinas heredadas y la sedimentación sincontractiva tienen un importante impacto en el estilo estructural y la cinemática de cinturones de pliegues y cabalgamientos despegados en unidades salinas. Las estructuras salinas representan heterogeneidades mecánicas que tienden a localizar la deformación, mientras que la sedimentación sintectónica la concentra. Por tanto, la importancia de cada uno de estos factores definirá el estilo estructural y la cinemática de las estructuras.

Dentro de la modelización analógica de procesos tectónicos, en nuestro programa experimental modelizamos provincias de *minibasins* aisladas desde su formación por diapirismo pasivo hasta su posterior deformación contractiva. Se trata de investigar la evolución del sistema salino, a partir de las variaciones del espesor original del nivel de despegue y de la tasa de sedimentación sincontractiva.

Se ha considerado un nivel de despegue acuñado cuyo ápice se orienta paralelo a la dirección de acortamiento. Esta geometría en cuña condiciona el desarrollo de *minibasins* y paredes salinas, las cuales disminuyen progresivamente hasta desaparecer ahí donde el nivel de despegue es críticamente delgado. Esta asimetría controla la localización de la deformación durante la contracción. Esta se localiza a lo largo de las paredes salinas ahí donde el sistema salino está más desarrollado. Donde la sal es más delgada, la deformación responde a una secuencia de bloque inferior característica de cinturones de pliegues y cabalgamientos despegados en sal. El aumento de la tasa de deformación retrasa la propagación de la deformación hacia zonas más distales. Ahí donde el sistema salino está bien desarrollado, el aumento de la tasa de sedimentación induce, además, la rotación de eje horizontal de las *minibasins*. Un mayor aumento de esta tasa produce el efecto contrario, y las *minibasins* soldadas primariamente tienden a despegarse y desplazarse hacia adelante.

Abstract

The distribution of inherited salt structures, together with the syncontractional sedimentation, has a strong influence on the structural style and kinematics in salt-detached fold-and-thrust belts. Salt structures represent weak discontinuities, tending to localize deformation, whereas syncontractional sedimentation may concentrate it. Thus, the combination of both factors defines the structural style and kinematics of salt-detached fold-and-thrust belts.

Our experimental program, framed on the analog modeling, deals with the simulation of isolated minibasin provinces from downbuilding to contraction and how the development of the salt system, controlled by the original décollement thickness, and the sedimentation rate, influences its evolution.

In our setup, we have considered a wedge-shaped décollement whose apex parallels the shortening direction. This geometry conditions the development of minibasins and salt walls that progressively disappear as the décollement thins. During contraction, this asymmetry controls the localization of the deformation. The deformation is localized along the salt walls where the salt system is well-developed. Conversely, where the décollement is thin, the deformation follows a footwall sequence typically found in salt-detached fold-and-thrust belts. Syncontractional sedimentation delays the forward propagation of deformation. Along the salt system, sedimentation increases horizontal axis rotation of minibasins. A higher sedimentary rate countered this last effect, and primary welded minibasins, rather than rotate detached and displaced forwards.

El anticlinal de Mediano y el Domo de Clamosa: Tectónica salina contractiva en el Pirineo meridional

The Mediano anticline and Clamosa Dome diapir: Contractional salt tectonics in the Southern Pyrenees

P. Santolaria[1], N. Carrera[1], J.A. Muñoz[1], P. Arbués[1], R. Silva-Casal[1]

1 Universitat de Barcelona, Institut de Recerca Geomodels, Barcelona (pablo.santolaria.otin@gmail.com)

Palabras clave: Domo de Clamosa, Tectónica salina, Pirineos, Sal inflada.

Resumen

El anticlinal de Mediano y el Domo de Clamosa se sitúan en la Zona Oblicua de Aínsa (Zona Surpirenaica), en el bloque inferior del cabalgamiento de Montsec, donde aparecen una serie de pliegues con dirección N-S que experimentaron rotaciones horarias de eje vertical durante y posteriormente a su plegamiento, que data desde el Luteciense hasta el Bartoniense. El anticlinal de Mediano es un pliegue de despegue cuyo núcleo está compuesto por un importante volumen de evaporitas triásicas, junto con otras litologías (arcillas y calizas del Triásico medio). Las evaporitas afloran al sur del anticlinal definiendo una estructura antiforme que dobla la longitud de onda del anticlinal de Mediano y que se ha denominado Domo de Clamosa. Se trata de un diapiro, dado que las evaporitas perforan las series mesozoica y paleógena. Presenta una planta triangular y está rodeado por materiales pre-, sin- y post-crecimiento.

En base a una cartografía de detalle, datos estructurales y estratigráficos e interpretación sísmica se ha reconstruido la estructura 3D de la zona a través de una serie de cortes geológicos.

Los resultados indican que los procesos diapíricos en el Domo de Clamosa han desdibujado la estructura contractiva observada en el anticlinal de Mediano, a pesar de que ambas estructuras comparten una historia contractiva regional asociada al emplazamiento de la lámina de basamento de Gavarnie. El modelo evolutivo propuesto sugiere la presencia de una sal inflada en el bloque inferior del cabalgamiento del Montsec, previa al plegamiento (~Cuisiense), que culmina atravesando el propio frente de cabalgamiento del Montsec durante el Luteciense. El ascenso del nivel de despegue viene desencadenado por una intensa erosión de la cobertera y por la extensión longitudinal de las láminas de cabalgamiento asociada a las rotaciones de eje vertical. Por último, la cresta del diapiro colapsa y genera un sistema de fallas extensionales y un espacio de acomodación que es rellenado por depósitos del Oligoceno.

Abstract

The Mediano anticline and the Clamosa Dome belong to the Aínsa Oblique Zone (South Pyrenean Zone), located in the footwall of the Montsec thrust. There, a series of N-S trending structures registered syn- to post-folding clockwise vertical axis rotation. The folding stages expanded from the Lutetian to the Bartonian. The Mediano anticline is a detachment fold cored by middle-upper Triassic evaporites, mudstones and limestones. The evaporites crop out southwards in the Clamosa Dome defining a diapir piercing the Mesozoic to Paleogene succession. The diapir shows a roughly triangle-shaped in plan-view, twice the wavelength of the Mediano anticline. Bounding strata include pre-, syn- and post-folding units.

Based on a detail geological map, structural and stratigraphic data and seismic profile interpretation we aimed to reconstruct the 3D structure of the study area by means of series of cross-sections.

Our results show that the Mediano anticline and the Clamosa diapir shared a common regional evolution, closely related to the Montsec frontal thrust, but diapirism in the Clamosa diapir has overprinted the contractional folded geometry. The Clamosa diapir is interpreted to pierce the Montsec thrust front and its footwall during Cuisian times and then it was subsequently shortened and squeezed during Lutetian. Triggering mechanism is mainly erosion combined with longitudinal stretching acting over an already salt inflated area. Finally, the diapir slight collapsed and hosted Oligocene deposits bounded by extensional faults.

Influencia de la convergencia perpendicular de dos cinturones orogénicos en la deformación de su antepaís.

Influence of perpendicularly -trending thrust wedges on foreland deformation.

R. Soto[2], B.C. Vendeville[2], F. Graveleau[2]

1 IGME Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. r.soto@igme.es
2 Univ. Lille, CNRS, Univ. Littoral Côte d'Opale, UMR CNRS 8187, LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, F 59 655, Villeneuve d'Ascq, Francia. bruno.vendeville@univ-lille.fr; fabien.graveleau@univ-lille.fr

Palabras clave: modelización analógica, prisma orogénico, cinturón de pliegues y cabalgamientos, cuenca de antepaís, superposición de esfuerzos

Resumen

El estudio de cuñas orogénicas a partir de modelos analógicos se basa en el modelo de pendiente crítica de la cuña de Coulomb (critical taper Coulomb wedge model), el cual permite comprender la geometría y cinemática de los prismas de acreción y cinturones orogénicos y obtener parámetros que controlan su evolución. En este trabajo se analiza la interacción de dos primas de acreción monovergentes perpendiculares entre sí y cómo ésta influye en la geometría y cinemática de las estructuras resultantes. Los resultados obtenidos muestran que existen importantes diferencias con respecto a la evolución de cuñas de acreción aisladas. La superposicióne la cuenca de antepaís de los campos de esfuerzos provenientes de cada prisma de acreción genera estructuras oblicuas cuando un nivel de despegue dúctil basal está presente. Uno de los parámetros testados y que juega un papel importante es la diferencia de velocidades de acortamiento impuesta a cada una de las cuñas de acreción. Los resultados experimentales obtenidos se han comparado con dos ejemplos naturales: (i) cuenca de Friuli-Venecia en los Alpes meridionales, que se caracteriza por la ausencia de un nivel de despegue dúctil efectivo y, (ii) estructuras de la cuenca de Loranca y Sierra de Altomira en la Cordillera Ibérica que despegan a favor de las evaporitas triásicas de las facies Keuper. La comparación realizada valida la hipótesis de interpretar el campo de esfuerzos total en la cuenca de antepaís como el efecto de la superposición de los campos de esfuerzos provenientes de cada prisma de acreción en presencia de un nivel de despegue dúctil basal.

Abstract

The study of thrust wedges using analogue models is based on the critical taper Coulomb wedge model. This methodology allows understanding the geometry and kinematics of accretionary prisms and orogenic wedges and determining the main parameters that control their evolution. In this work we analyze the interaction between two perpendicularly-trending thrust wedges and its impact on foreland deformation. Results highlight that deformation is very different with respect to the evolution of thrust wedges generated using a unique indenter and simple convergence. The superposition of stresses coming from each indenter produces common structures trending obliquely with respect to both indenters when a ductile basal décollement is present. We have also observed that the relative strain rate imposed to each indenter plays a major role. The experimental results have been compared with two natural examples: (i) the Friulian-Venetian basin (Southern Alps), characterized by the absence of an effective décollement and, (ii) the structures of the Loranca basin and Altomira Range in the Iberian Chain, which detached on the Triassic evaporites (Keuper facies). The comparison of these natural examples with our experiments validates the hypothesis of interpreting the resulting stress field forelandwards as the combined effect of two horizontal compressional stress fields oriented perpendicular each other in presence of an efficient basal décollement.

Late Cenozoic left lateral strike-slip deformation in Minorca, Balearic Islands, Spain

Deformación direccional lateral izquierda durante el Cenozoico tardío en Menorca, Islas Baleares, España

C. Timoner[1], G. de Vicente [2,3], A. Olaiz[4] and R. Díez-Fernández[5]

1 Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.ctimoner@ucm.es
2 GEODESPAL, F. C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.gdv@geo.ucm.es
3 Instituto de Geociencias IGEO, CSIC-UCM, 28040 Madrid
4 Repsol E&P, Madrid, Spain.antoniojose.olaiz@repsol.com
5 Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero. Calle de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos, España. r.diez@igme.es

Abstract: *Minorca is located at the easternmost sector of the Betic orogen between N-S to NE-SW extensional basins. The elongate WNW-ESE shape of the island follows the strike of late high-angle faults, which parallel the North Balearic Fracture Zone (NBFZ). The structure of Minorca differs from that of other nearby Mediterranean islands and has been the subject of recent studies. In this work we report the results of a fault population analysis (including its cartographical projection) applied to three late WNW-ESE faults that cross the island longitudinally. The stress inversion results show a left-lateral movement with normal component for the Tramuntana Fault, with R = 0,7 and horizontal σ_1 and a normal movement with left-lateral component for the Mercadal and Binixems faults, with R = 0,8, vertical σ_1 and horizontal σ_2; in both cases there are structural and/or cartographical evidence of right-lateral deformation. These results explain several Alpine structures of the island, poorly interpreted up to now, but are unfitting for a solely right-lateral movementof NBFZ.*

Keywords: *Western Mediterranean, Alpine Orogeny, Strike-slip deformation belt, North Balearic Fracture Zone.*

Resumen: Menorca se encuentra en el extremo noroeste del orógeno Bético entre regiones sometidas a extensión y condirección N-S a NE-S. La estructura de la isla, caracterizada a grandes rasgos por una elongación ONO-ESE a favor de fallas modernas de alto ángulo paralelas a la Zona de Fractura del Norte de Baleares (NBFZ), difiere de la de otras islas de su entorno y ha sido objeto de estudios recientes. En este trabajo analizamos tres fallas tardías que cruzan la isla longitudinalmente mediante el set de inversión de esfuerzos y su proyección cartográfica. Los resultados de la inversión de esfuerzos implican un movimiento lateral-izquierdo con componente normal para la falla de Tramuntana, con R = 0,7 y σ_1 horizontal, y un movimiento normal con componente direccional para las fallas de Mercadal y Binixems, con R= 0,8, σ_1 vertical y σ_2 horizontal; en ambos casos encontramos evidencias estructurales y/o cartográficas de deformación lateral-derecha. Estos resultados permiten explicar varias estructuras Alpinas de la isla, hasta ahora vagamente interpretadas, aunque son incompatibles con un funcionamiento exclusivamente lateral-derecho de la NBFZ.

Palabras clave: Mediterráneo Occidental, Orogenia alpina, Cinturón de deformación direccional, Zona de Fractura del Norte de las Baleares

INTRODUCTION

The Balearic Promontory structure consists of a NE-SW fold and thrust belt with NW-directed tectonic transport affected by late NNE-SSW extension. This belt is located between extensional basins such as the Valencia Trough and the Algerian Basin. The tectonics of this region was controlled by the convergence between the Alboran block and the southern border of Iberia during the Betic Orogeny and by subsequent western Mediterranean dynamics. In this setting, Minorca island has a singular position close to the North Balearic Fracture Zone (NBFZ) and the Liguro-Provençal Basin.

Minorca differs structurally from other Alpine continental neighboring areas such as Majorca, Ibiza, Sardinia and the Catalonian Coastal Ranges (Sàbat et al., 2018). Such differences arise from 1) basement-involved thick skinned tectonics; there are no relevant Carboniferous-Devonian basement outcrops in Majorca and Ibiza, and those of Sardinia and Catalonia are different from the Western Mediterranean Paleozoic complexes or Alkapeca (which seem to agree with the Minorcan succession; Bourrouilh, 2016); 2) A very penetrative NW-SE alpine faulting, as opposed to the main thrusting trends of Majorca and Ibiza that parallel the Betic ones; and 3) WNW-ESE late normal faults, different from those related to the NW-SE extension that formed the Valencia Trough.

The lack of detailed studies has resulted in a mostly descriptive understanding of the tectonics of Minorca. In this preliminary analysis, we focus on the regional faulting arrangement of the island, where WNW-ESE normal and strike-slip faults, parallel to the NBFZ, seem to predominate (Fig. 1A). The tectonic evolution of the western Mediterranean during the Cenozoic was controlled by the emplacement of the Tyrrhenian and Alboran arcs (e.g., Faccenna et al., 2014; Douwe et al., 2020). Therefore, the Minorca area should have acted as a right lateral transpressive deformation belt to accommodate (i) the eastern wards movement of the Tyrrhenian subduction and (ii) the NW-directed thrusts of Majorca (Fig. 1). Nevertheless, most of the Cenozoic faults of Minorca define a left-lateral strike-slip deformation belt (Fig. 1A). We have used a population fault analysis to clarify this question. In order to do so, we mapped three major WNW-ESE faults and collected in situ structural data around them. Field data were obtained from Tramuntana (TF), Mercadal (MF) and Binixems (BF) faults (Fig. 1A). We used (1) the Stress inverse package (Vavryčuk, 2014) based on Michael (1984) to obtain the relative orientation of principal axes and the magnitude of the stress tensor associated with a specific fault population (Fig. 1B), (2) plotted the P axis and (3) performed a slip model inversion to get the strain tensor. The new field and analytical data were integrated into previous cartographies.

Main structural features

Minorca is a WNW-ESE elongate island with an area of 700 km². Two different sectors can be distinguished: the Tramuntana block, formed mostly by Paleozoic and Mesozoic rocks, and the Migjorn block, which contains a

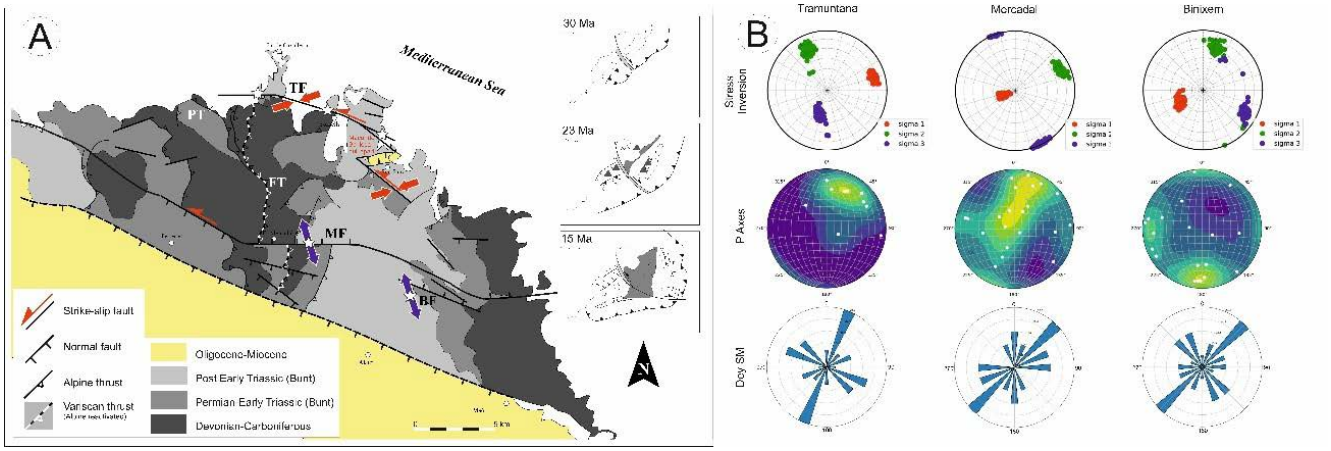


Fig. 1. A) Tectonic map of Minorca including main stress axes projection from the stress inversion and location of field data. Main faults are high-angle and strike WNW-ESE, parallel to the North Balearic Fracture Zone (NBFZ) and the elongation direction of the island. Sketches to the right show a tectonic evolution derived from the stress inversion results .FT:Ferragut Thrust, PT: Pregonda Thrust, TF:Tramuntana Fault, MF:Mercadal Fault, BF:Binixems Fault. Fault-slickensides data were collected at the locations indicated by stars. B) Fault population analysis projection of the Stress Inversion, the P Axes, and the Dey from the Slip Model (maximum horizontal shortening) from the Tramuntana Fault (n=25), the Mercadal Fault (n=21), and the Binixems Fault (n=38).

Miocene basin. The structural style of the island is multi-pronged. The basement of the island shows foliation and was primarily configured during the (Devonian-Carboniferous) Variscan Orogeny, while tectonic inversion of Permian-Triassic normal faults and a complex Alpine evolution entailed a set of WNW-ESE high-angle faults and NE-SW to NW-SE thrusts (Fig. 1A).

Variscan deformation and processes in Minorca are poorly documented. Paleozoic rocks crop out in the easternmost and central areas, along the cores (intrados) of open, nearly-upright antiforms. Variscan deformation resulted in an assemblage of West-verging compressional N-S structures, such as the Ferragut Thrust and several N-S to NNE-SSW normal faults that opened fluvial-alluvial (late Variscan) Permian basins. Ferragut Thrust (Fig. 1A) crops outin the middle of the island and transported Devonian strata onto Carboniferous rocks. Its fault zone is featured by variably deformed rocks that have experienced more strain than any other rocks in the island. This thrust was reactivated during the Cenozoic and could have played an important role in the nucleation of Alpine thrusts and strike-slip faults.

Minorca had a complex evolution during the Alpine Orogeny. A logical set of Alpine structures and processes would include: 1) reworking/reactivation of previous Variscan structures; westwards to the Ferragut Thrust, NE-SW Alpine compression induced the Pregonda Thrust and reversed a normal late Variscan fault; 2) development of NW-SE trending folds close to high-angle WNW-ESE faults; and 3) formation of a set of WNW-ESE (strike-slip to normal) faults that crosses along the island. Bourrouilh (1983) described these faults as local strike-slip Alpine faults, whereas Sàbat et al. (2018) interpreted them as normal



Fig. 2. Macar de Sa Llosa pull-apart basin: an alluvial-lacustrine conglomerate deposit related to the sinistral trastensive zone of the Tramuntana Fault with a progressive unconformity (right).

faults related to the opening of the Liguro-Provençal Basin. Furthermore, this WNW-ESE high-angle faults are parallel to the NBFZ: a right-lateral transform fault that subjected the rotation of the Corsica-Sardinian block and the opening of Liguro-Provençal Basin (Romani et al., 2016; Faccenna et al., 2014; van Hinsbergen et al., 2020).

RESULTS

Stress inversion

The fault population analysis has been performed on pairs of slickenside-fault plane data (n=25 for TF, n=21 for MF and n=38 for BF). Results are represented from each fault in Figure 1B, and interpreted in the geological map of Figure 1A.

Tramuntana Fault

Slicing through the northern capes of the Island, such as Cavalleria Cape, Fornells and Cala Pudent area, Tramuntana Fault forms the northernmost structure of the Balearic Promontory, probably offshore extended. The results of stress inversion show a R = 0,7 with a horizontal σ_1 that implies a left-lateral strike-slip movement on the fault with some normal component. Slip Model results mainly fit with this solution, but some data could indicate a right-lateral fault displacement. Tramuntana Fault gives rise to the Macar de Sa Llosa pull apart (Fig. 2) which is compatible with the overall left-lateral deduced movement (Fig. 1A).

Mercadal Fault

Cropping out over the center of Tramuntana block, Mercadal Fault runs from Cala Morell to Illa d'en Colom, parallel to the Tramuntana Fault. The results of stress inversion have an R = 0,8 with a vertical σ_1 and an ENE trending and horizontal σ_2. Therefore, the fault moved as a normal fault with a slight left-lateral component, parallel to the dip of the southern slope of El Toro mountain and to the wide southernmost blind normal fault movement that splits the Migjorn and Tramuntana blocks. In a broad view, Mercadal Fault forms an anastomosed deformation zone that includes Binixems Fault area. Cartographically, near Mercadal area, Mercadal Fault appears to be a left-lateral strike-slip fault, whereas in Binixems Fault area it seems to be right-lateral.

Binixems Fault

Northwards from Alaior, near Mercadal Fault, Binixems Fault represents the east prolongation of Mercadal Fault. The results of stress inversion show an R = 0,7 with a vertical σ_1 and a horizontal NNE trending σ_2, which indicate a mainly normal movement of the fault. As in Tramuntana, some few solutions from are compatible with a right-lateral movement.

Macar de Sa Llosa pull-apartbasin

Normal fault-related conglomerates of Macar de SaLlosa (Fig. 2), near Son Parc, are the best studied example of late extension in Minorca. The deposit has been interpreted as upper Oligocene alluvial fans that drained its sediment from a lacustrine environment (Martín-Closas y Ramos, 2005) into a half-graben basin related to a Keuper detachment of the northwards antiform (Sàbat et al., 2018). Conversely, based on our results from Tramuntana fault dynamics, the Macar de Sa Llosa infilling deposit is due to the opening of a pull-apart between Tramuntana Fault releasing steps with two normal faults bordering the narrow basin (Fig. 2). Stress inversion results and this tectonic arrangement indicate an overall left-lateral transtensivese deformation in Minorca island during the Miocene.

DISCUSSION

The stress inversion results are consistent with the structural setting in a model that emphasizes late Cenozoic left-lateral to normal displacements, even though the evolution of the WNW-ESE strike-slip faults must have been complex because: 1) although NBFZ is considered a right-lateral transform fault subject to the rotation of Corsica-Sardi-

nian block, the largest NBFZ-parallel faults of the Minorcan block do not solely agree with a right-lateral behavior; and 2) even though the left-lateral fault set matches with several Alpine structures such as the NW-SE thrusts and folds, even more than the expected right-lateral movement, a straight left-lateral role do not completely explain the Alpine tectonics of the island. For the moment, the Minorcan structure can be understood as an interaction between the outermost prolongation of the Betic orogen and the NBFZ transform dynamics, with a late general extension that overprinted previous WNW-ESE movements. This inversion in the directional displacements could be related to the westernmost part of the back arc extension of the Tyrrhenian subduction and the extension related to the opening of the Valencia Trough (Fig. 1A). These considerations mean that the Alpine evolution of Minorca will continue to be a hard-to-solve problem that remains prior to future studies, where the spatial and temporal relations between the tectonic events of the Western Mediterranean, such as the relative position of Minorca and Sardinian retro-arc evolution towards NBFZ, and the local deformation of Minorca will be the key questions.

REFERENCES

Borrouilh R. (1983). *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y el Noreste de Mallorca (Baleares)*. Tesis doctoral, Ministerio de Industria y Energia, Memorias del Instituto Geológico y Minero de España 99, 672 p.

Bourrouilh R. (2016). The Balearic Islands in the Alpine Orogeny. *Boletín Geológico y Minero* 127 2/3, 527-546.

Faccenna, C., Becker, T.W., Auer, L., Billi, A., Boschi, L., Brun, J.P., Capitanio, F.A., Funiciello, F., Horvàth, F., Jolivet, L., Piromallo, C., Royden, L., Rossetti, F. and Serpelloni, E. (2014). Mantle dynamics in the Mediterranean, *Reviews of Geophysics* 52, 283–332.

Martín-Closas C. and Ramos E. (2005). Palaeogene Charophytes of the Balearic Islands (Spain). *Geological Acta* 3, 39-58.

Michael, A.J. (1984). Determination of stress from slip data: Faults and folds. *Journal of Geophysical Research* 89, 11517-11526.

Sàbat F., Gelabert B. and Rodriguez-Perea A. (2018). Minorca, an exotic Balearic island (Western Mediterranean). *Geologica Acta* 16, 411-426.

Romani, P., Aslanian, D., Rabineau, M., Leroux, E., Gorini,C., Silenziario, C., Blanpied, C. and Rubino, J. (2016). The Minorca Basin: a buffer zone between the Valencia and Liguro-Provençal Basins (NW Mediterranean Sea). *Terra Nova* 28, 245-256.

van Hinsbergen, D.J.J., Torsvik, T.H., Schmid, S.M., Maţenco, L.C., Maffione, M., Vissers, R.L.M., Gürer, D. and Spakman, W. (2020). Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematic reconstruction of its tectonic evolution since the Triassic. *Gondwana Research* 81, 79-229.

Vavryčuk, V. (2014). Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophysical Journal International* 199, 69-77.

Influencia de la microfábrica interna en el comportamiento tenso-deformacional de una *fault gouge* rica en arcilla.

Influence of internal microfabric on the stress-strian behavior of a clay rich fault gouge.

M. Tsige[1], J.M. Insua-Arévalo[1], J.L Sánchez-Roldan[1], E. Rodríguez-Escudero[1], J. J. Martínez-Díaz[1] y P. Mata[2]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, meaza@ucm.es, insuarev@ucm.es, jmdiaz@ucm.es, jl.sanchez.roldan@ucm.es, emilir01@ucm.es
2 Instituto Geológico y Minero de España. La Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. P.mata@igme.es;

Palabras clave: Microfabrica interna, Clay fault gouge, Comportamiento tenso-deformacional

Resumen

A pesar del alto grado de deformación con el que se ha desarrollado la macrofábrica tectónica de la Falla de Alhama de Murcia, su roca de falla, una f*ault gouge* rica en arcillas con más de 50 metros de espesor, presenta significativas heterogeneidades en la microfábirca interna. Las observaciones mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB) señalan que la *fault gouge*, de composición fundamentalmente illítica (mica), presenta una microfábrica laminar-discontinua tipo *scaly clay* caracterizada por la reorientación local de las illitas. Dichas orientaciones se asocian a los distintos microplanos de cizalla que forman la compleja fábrica de la *fault gouge*. En la mayor parte de las ocasiones estas arcillas rodean, cubren o tapizan los cristales rígidos de cuarzo, óxidos o carbonatos, aumentando la heterogeneidad de la microfabirca en su conjunto. Todo ello da lugar a la presencia de diferentes tipos de superficies que van desde planos con una marcada rugosidad asimétrica, hasta auténticos planos lisos o pulidos (*slickenslide*). Este hecho confiere a las muestras de roca de falla comportamientos tenso-deformacionales que van desde frágil, acompañado de *strain softening*, hasta dúctil con *strain hardening*. Estas diferencias de comportamientos se han observado en varios ensayos triaxiales tipo CU realizados en probetas de sondeos, con diferente orientación del esfuerzo principal máximo (σ_1) respecto a la microfábrica para distintos valores de esfuerzo de confinamiento (σ_3).

Abstract

Despite the high degree of deformation where it has been developed a marked macroscale tectonic fabric, the Alama de Murcia fault rock (clay rich fault gouge), presents important internal microfabric heterogeneities which will have relevant implication in the mechanical behavior of the fault rock. Optical and scanning electron microscopy (SEM) study reveals that, the more than 50 mts thick fault gouge is fundamentally of illite (mica) composition with small amount of quartz and calcite. The internal structure of the gouge is dominated by a laminar-discontinuous scaly clay type microfabric, characterized by the reorientation of the clay plates associated to the different small shear planes which are forming the complex feature of the gouge. Occasionally the platy like clays are covering and mantling the rigid crystals like quartz or carbonates, increasing the heterogeneity of the microfabirc. As a consequence the shear planes developed different surface features, ranging from a marked asymmetrical roughness to smooth or polished (slickenside) surfaces. This fact induced a remarkable difference on the mechanical behavior (stress-strian relationship) for the fault gouge, ranging from brittle behavior followed by strain softening, to ductile deformation with strain hardening at increasing strain. These differences have been observed under several CU triaxial tests conducted in core samples, in various orientations angle of the applied maximum stress (σ_1) to the main macrofabric and for different (σ_3).

Salt Tectonics of the Offshore Tarfaya Basin, NW Africa

Tectónica Salina del offshore de la Cuenca de Tarfaya, África Noroccidental

R. Uranga[1], O. Ferrer[1], G. Zamora[2] & J. A. Muñoz[1]

1 GEOMODELS Research Institute, Earth and Ocean Dynamics Department, UB, C/ Martí i Franquès s/n 08028, Barcelona, Spain. ruranga@ub.edu
2 REPSOL, Calle de Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid, Spain gzamorav@repsol.com

Abstract: *Salt tectonics has a critical role in basin analysis. However, research integrating a salt tectonics perspective is scarce in regional studies along the NW Africa Atlantic passive margin. This study focuses on regional interpretation of unpublished 3D/2D seismic data from the offshore Tarfaya Basin to explore the main controlling factors that influenced its evolution from a salt tectonics approach.*

Tarfaya Basin constitutes a rifted passive margin developed over thinned continental crust located at the Atlantic margin of southwestern Morocco, east from Fuerteventura and Lanzarote islands. The main factors that conditioned the basin's evolution can be summarized as follows: (1) irregular thickness and distribution of the original salt layer (Upper Triassic); (2) basin tilting caused by thermal subsidence and initial sea-floor spreading phases (Lower Jurassic); (3) development of a mainly carbonatic shelf wedge related to the onset of the incipient Atlantic passive margin (Upper Jurassic); (4) progradation of the Tan Tan delta complex (Lower Cretaceous); (5) compression related to the convergence between African and Eurasian plates (Upper Cretaceous – Recent).

Keywords: *Salt tectonics. Factors. Passive Margin. Atlantic. NW Africa.*

Resumen: La tectónica salina es esencial en el análisis de cuencas. Sin embargo, su integración en estudios regionales es escasa a lo largo del margen Atlántico del Noroeste de África. El presente trabajo se basa en la interpretación de sísmica 2D y 3D inédita del offshore de la cuenca de Tarfaya con el objeto de investigar los principales factores regionales que condicionaron la evolución tectónica de esta cuenca que involucra una formación salina.

La cuenca de Tarfaya se constituye como un margen pasivo desarrollado sobre corteza continental fallada y adelgazada ubicada en el suroeste de Marruecos y al este de las islas de Fuerteventura y Lanzarote. Los principales factores y eventos que condicionaron su evolución tectónica pueden resumirse en los siguientes: (1) espesor y distribución original de la sal irregular (Triásico Superior); (2) aumento en la inclinación de la cuenca asociado a subsidencia térmica y al comienzo de la generación de corteza oceánica (Jurásico Inferior); (3) evolución de una plataforma principalmente carbonática relacionada al desarrollo del margen pasivo Atlántico (Jurásico Superior); (4) progradación del complejo deltaico de Tan Tan (Cretácico Inferior); (5) Compresión asociada a la convergencia entre las placas Africana y Euroasiática (Cretácico Superior-Actualidad).

Palabras clave: Tectónica Salina. Factores. Margen pasivo. Atlántico. África Noroccidental

INTRODUCTION

The Atlantic passive margin of Morocco extends for more than 1000 km and constitutes the largest salt-bearing basin in NW Africa containing one of the oldest records that document the opening history of the Central Atlantic (Tari, 2012). During the Triassic, extensional basins developed along the future continental margin and in the Atlas rift system. The Tarfaya Basin (Wenke, 2014) extends for an area of approximately 50000 km² (Fig. 1) both onshore and offshore southern Morocco and East of Fuerteventura and Lanzarote Islands (Spain). According to Tari (2012), Tarfaya basin's conjugate margin corresponds to the southernmost region of the Nova Scotia Basin in Canada.

Only few wells have explored the hydrocarbon potential of the Moroccan Atlantic margin, and most of them are located on the shelf region. At least two working petroleum systems have been documented onshore, in the Essaouira/Agadir Basin (Fig. 1). As for the Tarfaya Basin, the discovery of the Cap Juby well (CJ-1 in Fig. 1) proved the presence of an active petroleum system (Sachse et al., 2016). The main reservoir facies tested were carbonate build-ups from Lower and Middle Jurassic, but oil and gas shows were also described from Lower Cretaceous and Tertiary sandstones. This undeveloped heavy oil discovery appears to point to an effective Jurassic source rock.

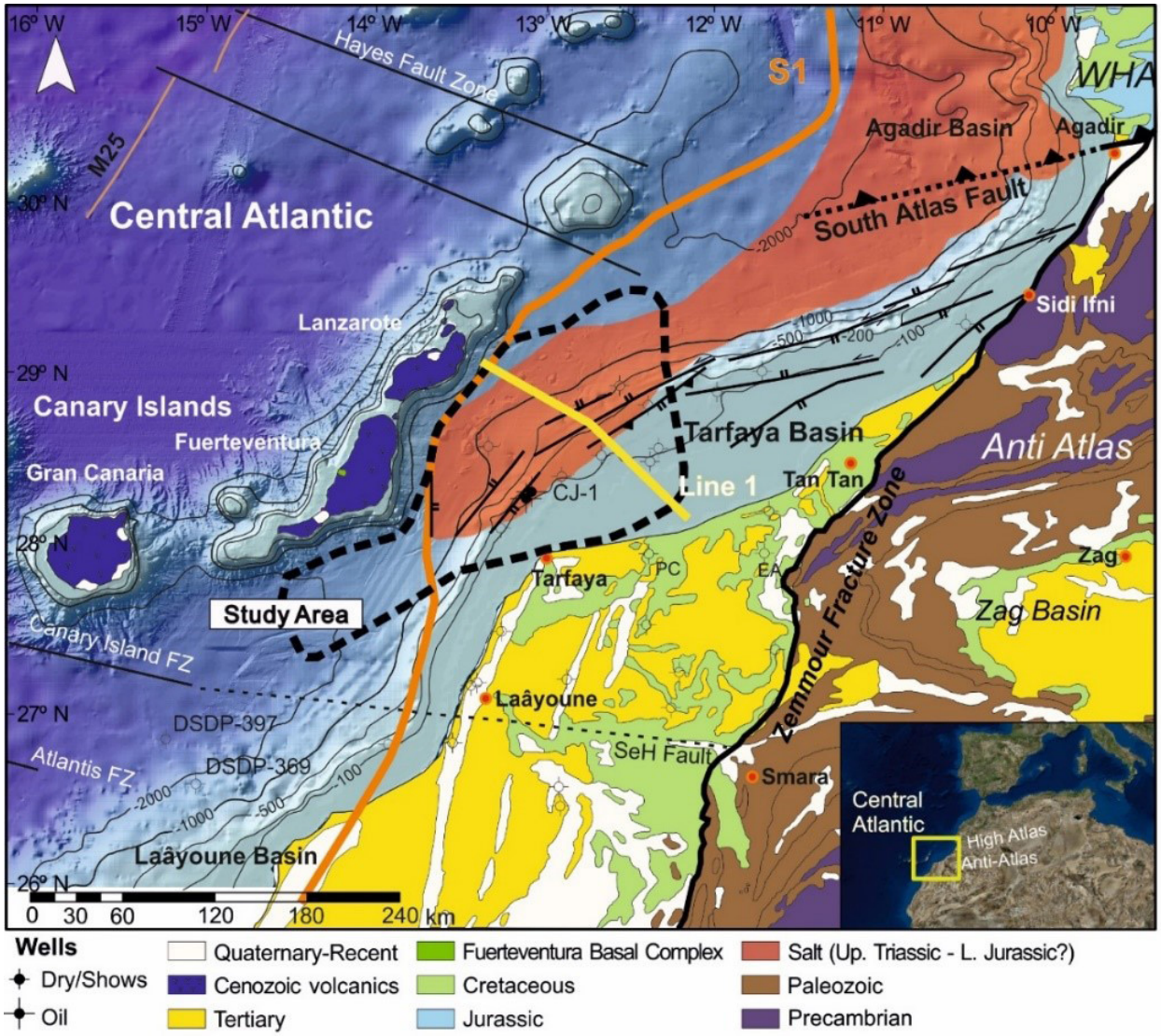


FIGURE 1. Location map. Modified from Wenke (2014). Fracture zones after Klitgord & Schouten (1986), S1 magnetic zone after Roeser (1982). Faults outside the study area from Le Roy et al. (1997).

In this study, previously unreleased 2D and 3D seismic data integrated with well data from an area covering 32000 km² from the offshore Tarfaya Basin (Fig. 1) is interpreted in order to describe the main structural styles in the basin and understand the key factors controlling its evolution. Depth conversion was carried out through a velocity model containing 6 layers (Fig. 2), separated by key stratigraphic surfaces. The interpretation of 15 horizons was calibrated with 11 wells and the picking followed stratigraphic criteria proposed by Wenke (2014). The good continuity of the reflectors allowed extrapolating the interpretation to the deep offshore.

GEOLOGICAL SETTING

The Pre-Rift basement of the Tarfaya Basin consists of low-grade metamorphosed Paleozoic rocks (Figs. 1 & 2) related to the Hercynian orogeny (Le Roy et al., 1997). The evolution of the Tarfaya Basin begins with the deposition of a siliclastic to evaporitic (mainly halite) syn-rift sequence from Late Permian to Triassic (Hinz, et al., 1982). Grabens and half grabens controlled the sedimentation with a general NE-SW structural trend mainly controlled by the preexisting structural fabric. These structures are compatible with a WNW-ESE extension direction (Le Roy et al., 1997). Transfer zones linking these depocenters strike in a general E-W direction (Heyman, 1989).

According to Le Roy et al. (1997), rifting probably began in the Late Permian to Early Triassic migrating through time from East to West (Fig. 2). While rift activity proceeded toward the west, brittle extension proceeded northward through the Agadir, Essaouira and Doukkala basins and affected the entire margin during the Rhaetian? – Hettangian period (Figs. 1 & 2). By then, salt was mainly deposited on the western or Proto-Atlantic depocenter (Fig. 3), on highly compartmentalized sub basins and over an irregular basal topography.

During the sag stage (Hettangian to Early Pliensbachian), thermal subsidence increased basin tilting, affecting mainly the Proto-Atlantic depocenter (Fig. 3). The onset of drifting between Toarcian and Bajocian times drove incipient seafloor spreading (Klitgord & Schouten, 1986). The S1 magnetic anomaly (Roeser, 1982) represents the ocean-continent transition (Figs. 1 & 3) and coincides closely with the edge of the salt basin. From a lithostratigraphic point of view, Middle to Upper Jurassic units consist mainly of ramp and shelf carbonates (Fig. 2), distally grading to marls (Wenke, 2014). Afterwards, during the Early Cretaceous, a basin wide regression exposed and eroded the Jurassic carbonate platform (MDU in Fig. 2). The supplied sediments bypassed the shelf and formed the Tan Tan delta complex, active until Albian times.

Through the Late Cretaceous, the initial phase of compression related to the convergence between the Eurasian and African plates took place (Frizon de Lamotte et al., 2009). Following, the Base Tertiary Unconformity (BTU, Figs. 2 & 3) marks the limit between the Mesozoic and the Cenozoic. This erosional surface caused by tectonic uplift cut through most part of the Upper Cretaceous stratigraphic record on the slope and the proximal deep basin.

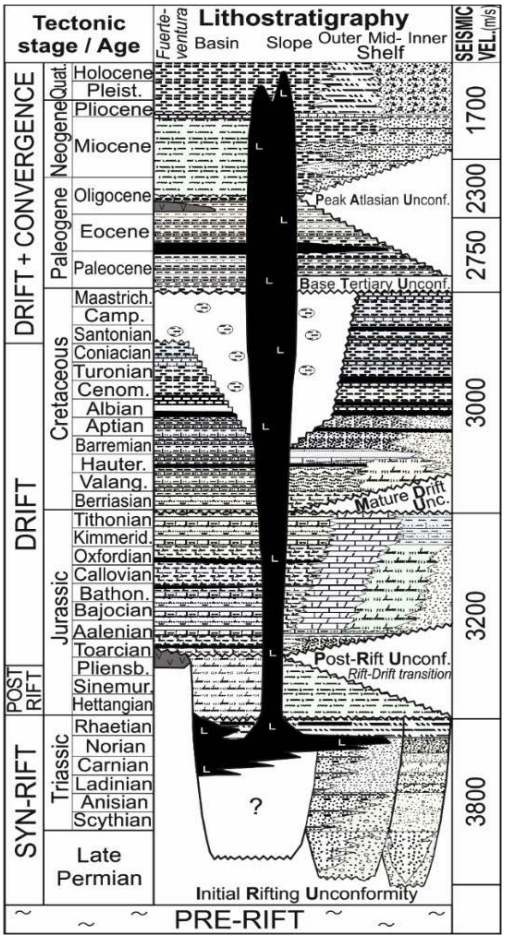


FIGURE 2. Tectono-stratigraphic chart.

The widespread tectonic inversion and orogenesis of the Atlas System mainly occurred during two distinct episodes, the first one from the Middle to Late Eocene until the Oligocene, and the second one from the Late Miocene to Pliocene (e.g. Frizon de Lamotte et al., 2009). The Peak Atlasian erosional uncomformity (Fig. 2) evidences the first event, which is best observed on the shelf and slope regions of the Tarfaya Basin. From Late Paleogene to Neogene times, major erosion in the High Atlas and the Anti-Atlas significantly increased the sediment flux to the basin, which bypassed the shelf and accumulated at the slope and deep offshore as channelized turbiditic systems (Wenke, 2014).

RESULTS

From the interpretation of seismic Line 1 (Fig. 3), it is possible to observe how basement faults control salt thickness, distribution and basal relief. The Proto Atlantic depocenter exhibits thicker salt deposits that thin towards Cap Juby Horst, which acted as a high where a little amount of salt was originally deposited. Moreover, no evidence of salt deposition is observable in the Chebeika graben in this section, indicating that the connectivity of the different depocenters was a primary control on the original salt distribution. In this sense, E-W transfer zones could have played a significant role in either isolating or connecting the aforementioned depocenters.

One striking aspect of line 1 is to note the difference in maximum depth of the two depocenters (Fig. 3). The Proto-Atlantic depocenter subsided much more than Chebeika graben during the sag and initial sea-floor spreading phases. In consequence, tilting and deepening of the Proto-Atlantic depocenter imposed an uneven sediment and water load on the salt layer which, in turn, increased its dipping angle in a basin ward direction. Onlap terminations observed on Lower Jurassic beds (Fig. 3) indicate that salt movement began early during basin evolution (Hettangian?), probably triggered by the aforementioned mechanisms. Sediment load exerted by Upper Jurassic shelf carbonates and marls exerted an extra weight over the previously formed salt structures amplifying them and causing a general basin ward migration of salt. Thickness variation in the Middle to Upper Jurassic sediments indicate that proximal areas (thinner beds over Cap Juby Horst) developed less accommodation space than more distal areas (thicker beds over the Proto-Atlantic depocenter).

As shown in Figure 3, the Berriasian to Aptian sediments display a general progradational pattern (Tan Tan delta), with an erosional base surface affecting the Upper Jurassic shelf carbonates. The Tan Tan delta has a radial distribution pattern in map view that seems to correlate with the salt structures (mainly diapirs) distribution pattern. This indicates that spreading could have acted, at some point, as a mechanism responsible for the migration and evolution of these salt structures (Ge et al., 1997). Moreover, turtle structures and proximal peripheral normal faults are evidences that the Proto-Atlantic depocenter acted as a linked salt-related extensional system during, at least, the Lower Cretaceous. Subsequently, primary welding isolated the autochthonous salt layer located over the Cap Juby Horst

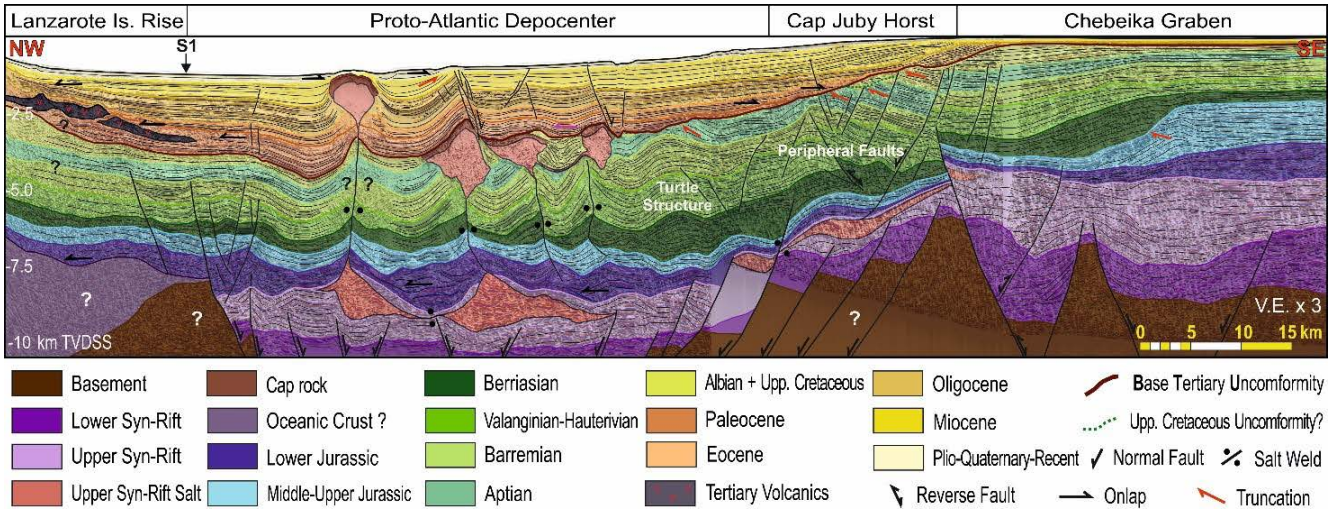


FIGURE 3. Interpretation of Seismic Line 1. For location reference, see Figure 1

region from the one located on the Proto-Atlantic depocenter where salt structures continued evolving. During this phase, sediment aggradation and progradation promoted pulses of passive and active diapirism.

Tectonic inversion of preferentially oriented faults began during the Late Cretaceous, causing occasional buckling and thick-skinned inversion of normal faults that led to the squeezing of diapirs and, in some cases, promoted salt sheet extrusion and secondary welding. However, the most conspicuous feature that marks the onset of the convergence between African and Eurasian plates took place at the limit between the Mesozoic and Cenozoic (BTU in Fig. 3). This event had a profound impact on the evolution of the margin, and promoted the erosion of a thick Upper Cretaceous succession.

Compression related to the Atlasian orogeny during the Cenozoic had a strong impact mainly on the outer, distal fringe of diapirs that were not welded by then. Pulses of passive and active diapirism are evidenced by strata termination geometries against the salt walls. From Figure 3 it is possible to observe that the north westernmost diapir acted most likely as a passive diapir during Paleocene and Eocene times, whereas, from the Late Eocene to Early Oligocene, different pulses of active rise are observed. In fact, the bathymetric bulge noted at the sea bottom suggests that active rise is still happening. Additionally, the strongly convex-upward salt crest suggest that this rise could be driven by compression. Though in the section the structure appears to be welded, a connection with the autochthonous layer is still maintained out of plane, to the northeast.

CONCLUSIONS

The main factors that conditioned the evolution of the offshore Tarfaya Basin can be summarized as follows: (1) Late syn-rift (Upper Triassic – Hettangian?) salt deposition conditioned the general distribution, thickness and base relief of the salt layer; (2) Thermal subsidence related to sag and initial sea-floor spreading phases (Lower Jurassic) promoted the preferential tilting of the Proto-Atlantic depocenter, causing an uneven sediment and water load distribution that triggered initial salt movement; (3) the development of a carbonatic shelf wedge related to the onset of the incipient Atlantic passive margin (Upper Jurassic) exerted an additional load that amplified previously formed structures and expelled salt basin ward; (4) the progradation of the Tan Tan delta caused radial spreading and additional basinward expulsion of salt with late development of primary welds; (5) Compressional events spanning from the Late Cretaceous to recent caused local thick skinned inversion of structures with a subsequent squeezing and frequent secondary welding of diapirs. Occasional salt sheet extrusion is observed. The regional erosion event that took place at the Base of Tertiary promoted the unroofing of buried structures (6) Atlasian orogeny related compression during the Cenozoic caused pulses of passive/active rise of diapirs that still act nowadays and prompted frequently secondary welding and tear drop diapirs.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by the project CGL2017-85532-P funded by AEI, FEDER, and the APIF grant from the University of Barcelona. Seismic and well data were provided by REPSOL.

REFERENCES

de Lamotte, D. F., Leturmy, P., Missenard, Y., Khomsi, S., Ruiz, G., Saddiqi, O., & Michard, A. (2009). Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): an overview. *Tectonophysics*, 475(1): 9-28.

Ge, H., Jackson, M. P., & Vendeville, B. C. (1997). Kinematics and dynamics of salt tectonics driven by progradation. *AAPG bulletin*, 81(3): 398-423.

Heyman, M. A. W. (1989). Tectonic and Depositional History of the Moroccan Continental Margin: Chapter 21: European-African Margins. In: Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins (A. J. Tankard & H. R. Balkwill, eds.). *AAPG Special Publications*, 323-340.

Hinz, K., Dostmann, H. & Fritsch, J. (1982): The Continental Margin of Morocco: Seismic Sequences, Structural Elements and Geological Development. In: *Geology of the Northwest African Continental Margin* (U. von Rad, K. Hinz, M. Sarntheim & E. Seibold, eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 34-60.

Klitgord, K.D. & Schouten, H. (1986) *Plate kinematics of the central Atlantic. The Geology of North Americ*a, vol. M. The Western North Atlantic Region. The Geological Society of America, 351-378.

Le Roy, P. (1997) *Les basin Ouest-marocains; Leur formation et leur évolution dans le cadre de l'ouverture et du développement de l'Atlantique central (Marge afriquaine)*. Doctoral Thesis, Université de Bretagne Occidental, Brest, 328 p.

Roeser, H.A. (1982) Magnetic Anomalies in the Magnetic Quiet Zone off Morocco. In: *Geology of the Northwest African Continental Margin* (U. von Rad, K. Hinz, M. Sarntheim & E. Seibold, eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. 61-68.

Sachse, V. F., Wenke, A., Littke, R., Jabour, H., Kluth, O., & Zühlke, R. (2016). 2D petroleum system analysis of the Tarfaya Basin, on-offshore Morocco, North Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 77, 1108-1124.

Tari, G., Jabour, H., Molnar, J., Valasek, D. & Zizi, M. (2012). Deep-water Exploration in Atlantic Morocco: Where Are the Reservoirs? In: *Tectonics and Sedimentation: Implications for Petroleum Systems* (Dengliang, G., ed.). AAPG Memoir, 100, pp. 337-355.

Wenke, A. (2014): *Sequence stratigraphy and basin analysis of the Tarfaya-Laâyoune Basins Morocco, on- and offshore Morocco*. Doctoral Thesis. University of Heidelberg, 191.

Contractional reactivation of salt structures in rift transfer zones: examples from the South-Central Pyrenees

Reactivación contractiva de estructuras salinas en zonas de transferencia: ejemplos de los Pirineos centro-sur

E.P. Wilson[1], P. Granado[1], y J.A. Muñoz[1]

1 Institut de Recerca Geomodels, Departament de Ciències de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona, C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. epwilson@ub.edu

Abstract: *The area around the Isábena river valley constitutes an excellent area to study the geometries and kinematics of contractionally rejuvenated salt structures in fold-and-thrust belts. The great quality of the outcrops is accompanied by the availabity of subsurface data (wellbore tops and 2D seismic data) from past hydrocarbon exploration efforts. The Turbón anticline sits on the Bóixols thrust sheet of the South-central Pyrenees, in between the Las Aras and Cotiella inverted Cretaceous basins. In this contribution a series of cross sections and structural restorations are presented from the synthesis of geological maps integrated with surface and subsurface data to provide a more coherent understanding of the deformation history of these structures and salt-related structures in general. We propose that the Turbón anticline was developed in the Upper Cretaceous at the beginning of the shortening in the Pyrenees in a relay zone of the former passive margin, characterized by a thin stratigraphy originally deposited on inflated Triassic salt inflated between the Lower Cretaceous rift basins.*

Keywords: *Pyrenees, structural geology, detachment anticline, salt tectonics, structural restoration*

Resumen: El área alrededor del valle del río Isábena constituye una zona excelente para estudiar las geometrías y la cinemática de estructuras salinas rejuvenecidas por contracción en cinturones de pliegues y cabalgamientos. La calidad de los afloramientos se ve además favorecida por la disponibilidad de datos de subsuelo (pozos y sísmica 2D) de la industria petrolera. El anticlinal de Turbón se encuentra en la lámina cabalgante de Bóixols de los Pirineos centro-sur, entre las cuencas cretácicas invertidas de Cotiella y Las Aras. En este trabajo presentamos una serie de cortes y sus restituciones estructurales generados a partir de la síntesis de mapas geológicos, y la integración de datos estructurales de superficie y datos de subsuelo, que permiten una mejor comprensión de la evolución geológica de la zona, y de estructuras salinas en general. En este trabajo proponemos que el anticlinal de Turbón se desarrolló en el Cretácico superior al comienzo del acortamiento en los Pirineos en una zona de relevo del antiguo margen pasivo, caracterizada por una delgada estratigrafía originalmente depositada sobre una sal Triásica inflada entre las cuencas de rift del Cretácico Inferior.

Palabras clave: Pirineos, geología estructural, anticlinal de despegue, tectónica salina, restitución estructural.

INTRODUCTION

Salt-controlled fold-and-thrust belts commonly develop from the reactivation and contractional rejuvenation of early salt structures that develop during the rift to passive margin stages (Duffy et al. 2018; Granado et al. 2019). Deformation and incorporation of these early salt structures and related minibasins in the thrust system commonly results in a high degree of geometric variability (i.e. different orientations and wavelengths, contacts omitting and/or repeating stratigraphy, overturned panels or flaps, changes in sedimentary facies and thicknesses adjacent to and away off salt bodies).

This is especially true when the rift system is segmented along transfer zones and contains pre-rift evaporites, which both control the distribution of syn- and post-rift sediments. Comprehensive understanding of these elements requires a significant component of 3D thinking, which can be aided by the construction of cross-sections and restorations not strictly parallel to the sense of tectonic transport, such as hanging-wall sequence diagrams (e.g., Elliot and Johnson, 1980).

The Pyrenees provide an excellent natural laboratory to study compressed passive margin salt structures. Outcrop exposure and availability of subsurface data (i.e. wellbore tops and seismic surveys) allow for three-dimensional analysis of the present-day thrust system and reconstruction of the pre-compressional configuration of the Pyrenean Rift System.

GEOLOGIC SETTING

The Turbón anticline sits in the Bóixols thrust of the South-Central Pyrenees between the post-rift Cotiella basin to the west and the inverted syn-rift Las Aras basin and Ribagorçana syn- to post-rift basins to the east (Fig. 1). The syn-rift basins developed on the southern margin on the Pyrenean Rift System in the Early Cretaceous. The

rift system is a result of divergent extension and led to the development of a hyperextended rift system constituted by a series of EW-trending overstepping basins, segmented by more or less diffuse extensional transfer systems (Tavani et al., 2018).

The Cotiella post-rift basins developed in the footwall of the syn-rift San Juan-Chía basin and constitute a salt-detached extensional fault system developed in response to the northward tilting and gravitational collapse of the margin (McClay et al., 2004; López-Mir et al., 2014).

At the onset of compression in the Late Cretaceous, the basins were inverted, detached on the Triassic Keuper evaporites, and decoupled and transported to the south by a series of thrust sheets (Muñoz, 2002). The inversion of the basins is marked by a shift in the depocenters, these containing a late Cretaceous syn-orogenic marine succession. The structures were further deformed in the Eocene-Oligocene by the late reactivation of the salt-detached thrust system and the stacking of basement-involved thrusts in the Axial Zone to the north of the study area.

THE TURBÓN AREA

The Turbón area is characterized by a series of anticlines and inverted basins and intervening growth synclines. The structures have oblique orientations in respect to the main structural grain of the orogen. The inverted basins trend roughly EW whereas these anticlines trend roughly NS and show southern plunges. The growth synclines, however, have highly variable axes orientations that change along strike. Additionally, the wavelengths of the NS trending anticlines are 1.5-2 times shorter than those of the inverted basins. In detail, the Llert syncline locates in between the Cotiella basin and the Turbón anticline; the Lierp syncline is between the Serrado and the Turbón anticlines, whereas Las Vilas syncline sits between the Turbón anticline and the inverted Las Aras basin.

The central feature is the Turbón anticline, which is a NS-trending structure characterized by a ca. 800m thick steeply-dipping to overturned pre- and post-rift carbonate and marl succession (the syn-rift succession is completely missing). Pre-rift Triassic Keuper evaporites are exposed in the anticline core, whereas Jurassic carbonates are exclusively preserved in the western limb. The Turbón anticline is thrust on top of the NS-trending Serrado anticline comprised of late Cretaceous carbonates, and although the core is not exposed, it is interpreted be cored by Triassic evaporites and Jurassic units as well, unconformably overlain by the late Cretaceous post-rift succession.

These NS-trending anticlines form the boundary between the inverted Cotiella and Las Aras basins. The Cotiella basin contains over 6000m of steeply dipping to overturned Cenomanian to early Santonian sediments. The Las Aras basin contains almost 2000m of Jurassic and Early Cretaceous sediments. The southern limb of the inverted basin is vertical to overturned and the northern limb shallowly dips (ca. 30°) to the north.

The Turbón, Serrado and Las Aras anticlines structures are onlapped by Campanian-Maastrichtian turbiditic sequences that form broad synclines and constrain the timing of the inversion of the Las Aras and Cotiella basins as well as the growth of the Turbón and Serrado anticlines.

SUBSURFACE INTERPRETATION

Cross sections were constructed from the integration of the surface geology with subsurface wellbore data and 2D seismic interpretation (Fig. 2). These show a that the base level of the Bóixols thrust sheet deepens to the east and to the south. The base of the syn-orogenic sequence mirrors the deepening of the Bóixols thrust, and while more of the succession is preserved in the subsurface, the thickness of the sequence remains constant. Original thickness of the succession above the Cotiella, Turbón, and Las Aras structures is unknown, but it is assumed that the top of the turbiditic sequence at least covered the crests of the structures to support their vertical growth.

The cross sections and stratigraphic correlation show that the Turbón and Serrado anticlines ride on thrusts in the same structural position as the Cajigar duplex, which branches from the Bóixols thrust at the southeastern edge of the study area. Below the Mesozoic succession of the Bóixols thrust sheet is underthurst by at least three imbricates of the Axial Zone antiformal stack (Fig. 2).

Structural restorations and hanging wall sequence diagrams were constructed from the cross sections to conduct 4D analysis of the area to understand the relationship between the growth of the detachment anticlines, inversion of the syn- and post-rift basins, and the detachment and transportation of the structures and the emplacement of the underlying thrust systems.

CONCLUSIONS

The 4D analysis of the integrated surface and subsurface data led to the following results about the structural evolution of the structures in the Turbón area:

- *The Turbón anticline is a lift-off detachment anticline that formed during the late Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) onset of Pyrenan shortening.*
- *The shape and size of the syn-inversion growth synclines was controlled by thrusting and related detachment folding, and the inversion of the Las Aras basin.*
- *The current structural elevation of the system is the result of the late (Eocene-Oligocene) stacking of the basement-involved thrusts of the Axial Zone below the salt-detached thrust sheets.*

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the project "Tectónica Salina en Cinturones Contractivos" (SALTCONBELT-CGL2017-85532-P), funded by Agencia Estatal de Investigación (AEI) and Fondo Europeo de Desarrollo Regional

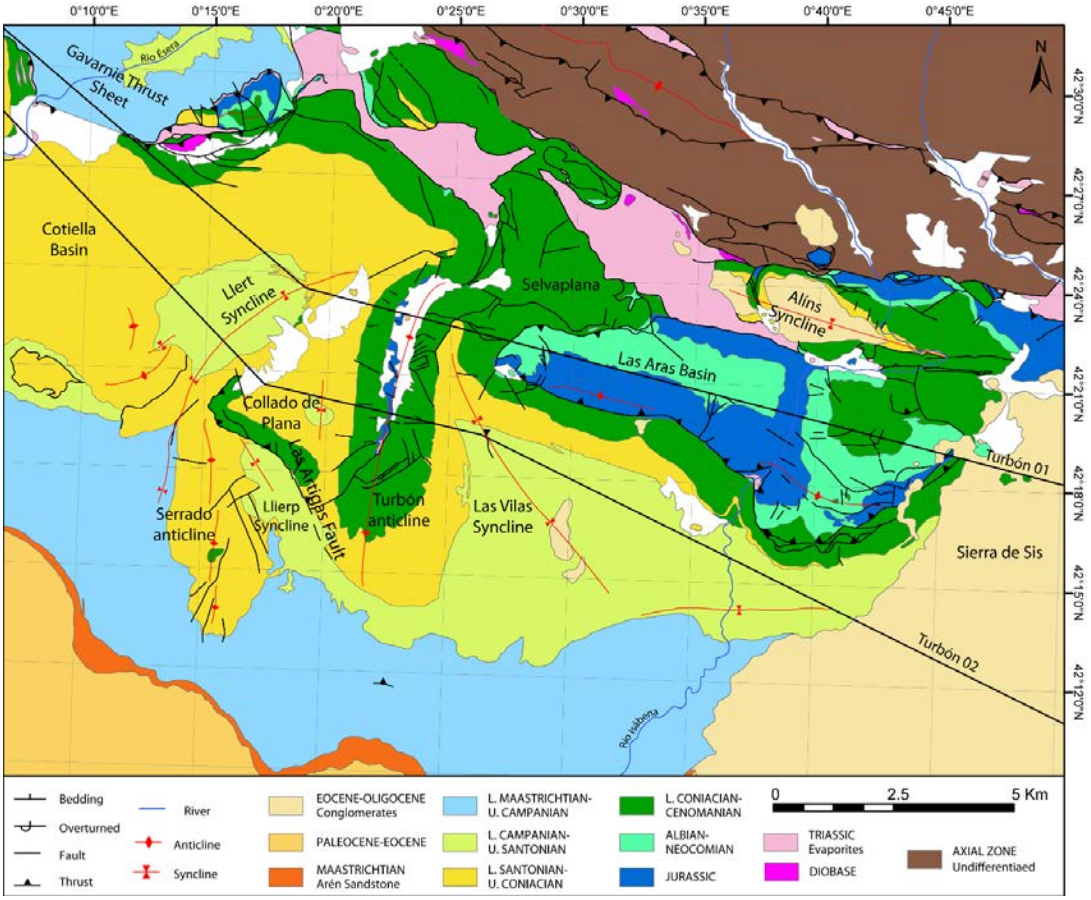


FIGURE 1. Map of study area showing the location of cross sections.

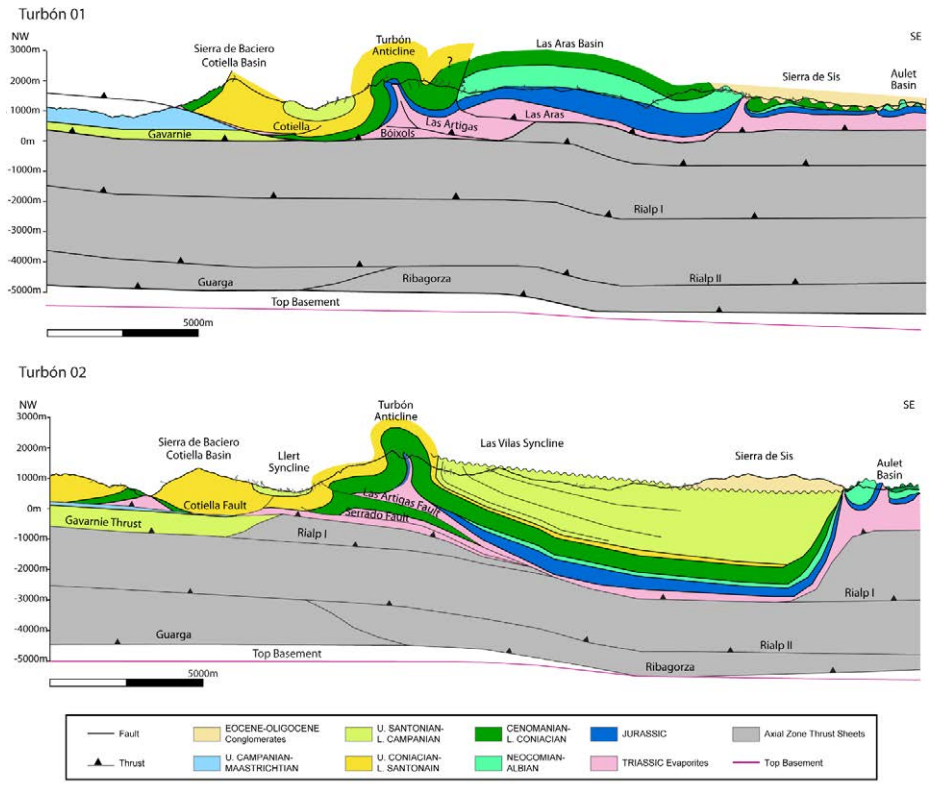


FIGURE 2. East-West cross section interpretations across the study area.

(FEDER). EPW and PG received funding from OMV Austria Exploration and Production GmbH.

REFERENCES

Duffy, O.B., Dooley, T.P., Hudec, M.R., Jackson, M.P.A., Fernandez, N., Jackson, C.A.L., and Soto, J.I. (2018): Structural evolution of salt-influenced fold-and-thrust belts: A synthesis and new insights from basins containing isolated salt diapirs. *Journal of Structural Geology*, 114: 206-221.

Elliott, D. and Johnson, M.R.W. (1980): Structural evolution in the northern part of the Moine thrust belt, NW Scotland. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences*, 71: 69-96.

Granado, P., Roca, E., Strauss, P., Pelz, K., Muñoz, J.A. (2019): Structural styles in fold-and-thrust belts involving early salt structures: The Northern Calcareous Alps (Austria). *Geology*, 47(1): 51-54.

López-Mir, B., Muñoz, J.A, and García-Senz, J. (2014): Extensional salt tectonics in the partially inverted Cotiella post-rift basin (south-central Pyrenees): structure and evolution. *International Journal of Earth Science*, 104: 419-434.

McClay, K., Muñoz, J.A., García-Senz, J. (2004): Extensional salt tectonics in a contractional orogen: a newly identified tectonic event in the Spanish Pyrenees. *Geology*, 32(9): 737–740.

Muñoz, J.A. (2002): Alpine tectonics I, the Pyrenees. In: *The geology of Spain* (Gibbons W, Moreno T., eds). Geological Society, London, 370–385

Muñoz, J.A., Mencós, J., Roca, E., Carrera, N., Gratacós, O., Ferrer, O., Fernández (2018): The structure of the South-Central-Pyrenean fold and thrust belt as constrained by subsurface data. *Geologica Acta*, 16: 439-460.

Tavani, S., Bertok, C., Granado, P., Piana, F., Salas, R., Vigna, B., and Muñoz, J.A. (2108): The Iberia-Eurasia plate boundary east of the Pyrenees. *Earth-Science Reviews*, 187: 314-337.

Grandes Estructuras Salinas en la Cuenca de Peniche. Margen Occidental de Iberia.

Large salt structures in the Peniche Basin, Western Iberian Margin.

G. Zamora[1], M. Flemming[2], B. Amigo-Marx[1].

1 Repsol Exploración, C/ Méndez Álvaro 44, 28045 Madrid, Spain. gzamorav@repsol.com
2 Repsol Services. 2455 Technology Forest Blvd. The Woodlands, Texas 77381. EEUU.

Palabras clave: Cuenca de Peniche, Tectonica Salina, Diapirismo, Megaflaps, Mini cuencas.

Resumen

Las grandes estructuras salinas son comunes a lo largo de los márgenes pasivos. Cuencas como el Golfo de México, Angola o Brasil son ejemplos donde la tectónica salina ha ejercido un importante control sobre el estilo estructural. El margen occidental de Iberia constituye un margen pasivo donde la presencia de sal es conocida desde los inicios de la exploración de hidrocarburos en la zona y su relación con el sistema petrolero de las cuencas de Lusitania y Peniche ha sido motivo de recientes estudios. La adquisición de nueva sísmica 3D ha revelado espectaculares ejemplos de deformación salina en una de las sub-cuencas de la cuenca de Peniche. Esta sub-cuenca, con tan solo 5,000 km^2, contiene ejemplos de diapiros pasivos con "*megaflaps*" de escala kilométrica, minicuencas con secuencias halocinéticas mostrando distintas etapas de evolución de crecimiento diapírico, evidencias de compresión en los diapiros, capas alóctonas de sal entre otras estructuras. La buena calidad de la sísmica adquirida nos ha permitido proponer un modelo de evolución, donde los primeros movimientos relacionados con la sal habrían ocurrido en el Jurásico Inferior que habrían dado lugar al desarrollo de a un largo periodo de diapirismo pasivo desarrollando minicuencas y "*megaflaps*" gracias a la disponibilidad de sal en el sistema. En el Cretácico Inferior, el crecimiento de los diapiros habría superado la tasa de sedimentación facilitando así el afloramiento en superficie de estas estructuras y creando mantos de sal sobre la paleo superficie marina. La sedimentación en el Cretácico Superior provocó el enterramiento de los diapiros y los mantos de sal dando lugar a pequeñas minicuencas de segunda generación. El inicio de la deformación Alpina en el Cretácico superior-Cenozoico apretó los diapiros dando lugar a una reactivación de los mismos mediante diapirismo activo que habría levantado, plegado y fracturado el techo de los mismos. La sedimentación Cenozoica-Cuaternaria habría cubierto estas estructuras en las que actualmente se observan escasas evidencias de actividad.

Abstract

Large salt structures are common along many passive margins. A few examples where salt tectonics have exerted a strong control in the structural style include the Gulf of Mexico, Angola, and Brazil. The western Iberian Portuguese Margin is a passive margin where the presence of salt is known since the early hydrocarbon exploration, and its relationships with the petroleum system of the Lusitanian and Peniche basins has been the focus of recent studies. New 3D seismic acquired has revealed spectacular examples of salt deformation within a sub-basin of the larger Peniche Basin. This sub-basin of just 5,000 km^2 contains passive diapirs with megaflaps of kilometer scale, minibasin-scale stratal thinning and folding showing different diapir growth stages, squeezed diapirs, allochthonous salt sheets, among other salt structures. The high quality seismic allows us to propose a well-constrained evolutionary model, with salt movement beginning in the Early Jurassic that was shortly followed by a long period of passive diapirism, development of primary minibasins and large megaflaps thanks to a continuous salt supply. During lowermost Cretaceous diapir growth exceeds sedimentation and reached the paleo seafloor, forming salt sheets. Late Cretaceous sedimentation buried the diapirs and formed a few, small secondary minibasins above diapirs and salt sheets. Onset of Alpine shortening in Late Cretaceous-Cenozoic squeezed the diapirs causing active diapirism that uplifted and deformed many of the diapir's roofs. Subsequent Cenozoic- Quaternary sediments deposited above these structures and only few evidences of continued deformation are seen.

Evolución sedimentaria de la serie Cenozoica en la Cuenca de Bahariya (Egipto): Controles tectónicos.

Sedimentary evolution of the Cenozoic sequence in Bahariya basin (Egypt): Tectonic controls.

A.M. Afify[1, 2], M.E. Sanz-Montero[1], L. González-Acebrón[3], M.B. Muñoz-García[3]

1 Dpto. Petrología y Mineralogía, Facultad Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid 28040 Madrid
2 Geology Department, Faculty of Science, Benha University, 13518, Benha, Egypt. adelmady@ucm.es
3 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid 28040

Palabras clave: Glaucony; Lacustrine-Palustrine sediments; Tectonostratigraphy; Bahariya, Egypt

Resumen

Se analiza la evolución sedimentaria y tectonoestratigráfica de la Cuenca de Bahariya desde el Eoceno superior hasta el Mioceno. La secuencia sedimentaria estudiada está representada por glauconitas marinas someras del Eoceno superior (Priaboniense) que pasan hacia arriba a areniscas fluviales del Oligoceno y, finalmente, a techo se disponen carbonatos lacustres y palustres del Mioceno. A lo largo de la serie se reconoce una variedad de facies: glauconíticas (arcillosas verdes, glauconita arenosa y areniscas verdes), areniscas (cuarzoarenitas), y carbonatos (dolomías y calizas micríticas, calizas oncolíticas, estromatolitos con silicificación y margas). Las facies glauconíticas presentan evidencias de alteración edáfica (pisolitos, moteado de color, rizolitos, etc.) y burrows. Los carbonatos continentales contienen fósiles de agua dulce (ostrácodos, gasterópodos y carofitas) y muestran grietas de desecación, silicificación y rasgos de disolución. La sedimentación de esta secuencia tiene un claro control tectónico, pudiéndose determinar varias fases. La primera de ellos tuvo lugar en el Bartoniense superior y originó grandes fallas que actuaron como vías de salida de fluidos ricos en hierro formando grandes depósitos de hierro en los carbonatos eocenos previos (Afify *et al.*, 2016). Posteriormente, a lo largo de estas zonas controladas por la tectónica, se depositaron las facies marinas someras con glauconita del Priaboniense. Estas mismas fallas actuaron durante el Oligoceno como zonas de circulación preferente para los cauces fluviales en los que se depositaron cuarzoarenitas. Se reconoce otro episodio tectónico importante que causó deformación en los carbonatos miocenos y episodios de vulcanismo en el norte de Bahariya (20-15 Ma.). Por tanto, la actividad tectónica influyó en la paleogeografía de esta zona, en la hidroquímica del mar, el drenaje continental, la velocidad de sedimentación y el suministro clástico desde el Bartoniense superior hasta el Mioceno medio.

Abstract

The present study deals with the sedimentary and tectono-stratigraphic evolution of the Bahariya basin from the upper Eocene until the Miocene. The sedimentary record contains a Priabonian shallow marine glauconitic-dominated sequence that changes upwardly to an Oligocene fluvial sandstone and to a Miocene lacustrine-palustrine sediments. A variety of facies: glaucony (green clays, sandy glauconite and green sand), sandstone (quartzarenite) and carbonate (dolomicrite, lime mudstone, oncolitic limestone, stromatolitic-like siliceous limestone and marl) facies represents the studied succession. Pedogenic modifications, e.g. pisolithic fabric, color mottling, rhizoliths and burrows are common in the upper Eocene sediment. The Miocene continental carbonates display silicification, desiccation cracks and brecciated fabrics with dominance of freshwater ostracods, gastropods and charophytes. The studied sequence was tectonically controlled, and different phases were observed. The first one occurred during late Bartonian resulting in major faults through which iron-rich fluids moved forming big ironstone bodies in previous Eocene carbonates (Afify et al., 2016). Later, and along such tectonically controlled areas, the Priabonian shallow marine glaucony facies were deposited. These faults generated structurally controlled paleo-topographic lows which acted as preferential places where the Oligocene fluvial sandstone and Miocene lacustrine-palustrine carbonates were deposited. In the Miocene deposits, another tectonic phase was observed. It was mostly concomitant with the recorded volcanicity (20-15 Ma.) in northern Bahariya. Accordingly, the tectonic activity influenced the sea level pattern and seawater chemistry, continental drainage, sedimentation rate and clastic supply in this area since the late Bartonian up to middle Miocene.

Referencias

Afify, A.M., Serra-Kiel, J., Sanz-Montero, M.E., Calvo, J.P. and Sallam, E.S. (2016). Nummulite biostratigraphy of the Eocene succession in the Bahariya Depression, Egypt: Implications for timing of iron mineralization. *Journal of African Earth Sciences* 120, 44–55.

Controles paleoambientales en la formación de calcretas en islas volcánicas. Gran Canaria.

Palaeoenvironmental controls on calcrete formation in volcanic islands. Gran Canaria, Spain.

A. M.Alonso-Zarza[1], Á. Rodríguez-Berriguete[1], A. Martín-Pérez[2], R. Martín-García[1], I. Menendez[3], J. Mangas[3]. A.I. Casado[1,4]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Fac. CC. Geológicas, Instituto de Geociencias, CSIC, Universidad Complutense. 28040. Madrid, Spain. alonsoza@ucm.es; arberriguete@geo.ucm.es; acasadogomez@ucm.es; rebequinya25@gmail.com
2 Institute of Palaeontology ZRC SAZU Novi trg 2,1000, Ljubljana, Slovenia, andreamp@zrc-sazu.si
3 Departamento de Física, ULPGC 35017. Las Palmas de Gran Canaria, Spain. inma.menendez@gmail.com; jose.mangas@ulpgc.es
4 MALTA-Consolider Team, Dpto. de Química Física, Fac. CC. Químicas, Universidad Complutense. 28040 Madrid, Spain

Palabras clave: Calcretas pedogénicas, polvo eólico, isotopos, raíces, clima.

Resumen

La isla de Gran Canaria contiene una amplia variedad de calcretas cuyas características y distribución reflejan las condiciones paleoambientales en las que se formaron. Cuatro de los perfiles estudiados se sitúan en áreas costeras del E de la isla, mientras que el 5º se sitúa en la zona norte a unos 240 m de altitud. Los perfiles son multiepisódicos y están formados por horizontes prismáticos, masivos, laminares, pisolíticos, ooidales, lutitas con rizolitos y brechoides. Las principales microfábricas son: micrita laminada, micrita desecada, dolomicrita/microesparita, granos con cubiertas, peloides, esferulitos y arcillas ricas en Mg. Los valores de $\delta^{13}C$ varían entre -3.26 y -9.18 ‰ VPDB y los de $\delta^{18}O$ entre +0.86 y -3.24 ‰ VPDB. La relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ está comprendida entre 0.707504 y 0.708860, indicando el aporte de calcio por el polvo eólico sahariano.

Las calcretas se formaron por la precipitación de carbonato en el suelo, controlada por las raíces y microorganismos asociados. La distribución y génesis de las calcretas estuvieron directamente controladas por el relieve de la isla, que determinó la distinta zonación climática, de la vegetación, y la distribución del polvo eólico que aportó el calcio necesario para que el carbonato se fijara en los suelos, contribuyendo así al secuestro del CO_2 atmosférico.

Abstract

Gran Canary Island contains a wide variety of calcretes, whose distribution and features reflect the palaeoenvironmental conditions of their formation. Four of the studied profiles are located in coastal areas of the eastern of the Island, whereas the fifth is in the northern area at about 240 m high. The profiles are multi-storey and composed of prismatic, massive, laminar, pisolithic, ooidal, sandy mudstones, sandy mudstones with rhizoliths and brecciated horizons. The main features are: laminated micrite either homogeneous or containing clastic grains, desiccated micrite, fine crystalline dolomite ooids, peloids, clays, alveolar septal structures and spherulites. The $\delta^{13}C$ values vary between -3.26 and -9.18 ‰ VPDB and $\delta^{18}O$ between +0.86 and -3.24 ‰ VPDB. $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios are between 0.707504 and 0.708860, indicating that aeolian dust was the main calcium supply.

Calcretes formed by carbonate precipitation within the soil controlled by roots and associated microorganisms. Calcretes distribution and features were directly controlled by the different relief along the island, which determined climate and vegetation variations as well as aeolian dust distribution. Aeolian dust was a critical as supplied Ca to be fixed in the soil and contributing to CO_2 sequestration.

Estratigrafía del Eoceno medio y superior del flanco occidental del anticlinal de Boltaña en el Valle del Ara.

Stratigraphy of the middle and upper Eocene in the western flank of the Boltaña anticline in the Ara Valley.

P. Arbués[1,2], M. Garcés[1,2], E. Beamud[2,3], A. Vinyoles[1,2], L. Valero[4], R. Silva-Casal[1,2], M. López-Blanco[1,2], J.A. Muñoz[1,2], D. García-Martínez[1] , P. Santolaria[1,2]

1 Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. pau.arbués@ub.edu.
2 Institut de Recerca Geomodels. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.
3 Paleomagnetic Laboratory. CCiTUB-ICTJA CSIC, C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.
4 Département des Sciences de la Terre. Université de Genève, Rue des Maraichers 13, 1205 Genève

Palabras clave: Eoceno, relaciones tectónica-sedimentación, Pirineos.

Resumen

Para detallar la correlación entre las cuencas de Ainsa y de Jaca (antepaís eoceno surpirenaico) y profundizar en el conocimiento de los efectos del crecimiento anticlinal en la sedimentación, se han tomado nuevos datos en el sector del valle del Ara situado al oeste del anticlinal de Boltaña, en concreto: un mapa geológico (1:25000); columnas detalladas, cortes geológicos, un estudio bioestratigráfico y un perfil magnetoestratigráfico de la serie, cuya potencia alcanza los 3 km.

El análisis resulta en la división del conjunto en tres unidades regresivas separadas por dos intervalos transgresivos de menor potencia. El conjunto evoluciona desde una situación inicial de talud carbonatado, más profundo hacia el N, a la de un sistema fluviodeltaico, progradante hacia el O, sobre el cual se desarrolla un sistema fluvial con contribuciones septentrionales. La correlación de estas tres unidades con la cuenca de Ainsa sugiere que el anticlinal de Boltaña actuó en la zona de afloramientos como un alto submarino flanqueado por taludes carbonatados durante la etapa inicial, luego como un alto marino somero, separando sedimentación terrígena en el este de sedimentación carbonatada al oeste, para evolucionar a una situación de alto emergido sujeto a erosión y cortado por los sistemas fluviales.

Abstract

Aiming at contributing to the correlation between the Ainsa and Jaca basins, two of the main segments of the Eocene South Pyrenean Foreland Basin, as well as to better understand the effects of anticline growth in sedimentation a study of the Ara Valley west of the Boltaña anticline was undertaken. This produced: a geological map (1:25000), stratigraphic sections, structural cross-sections, biostratigraphy and magnetostratigraphic data.

The new data allow for a detailed facies analysis contributing to the stratigraphic subdivision of the syntectonics west of the Boltaña anticline as three main regressive units bound in between by comparatively thinner transgressive intervals. The lowest units are largely represented by a northwards deepening carbonate slope. The intermediate units record a change from carbonate to westwards prograding deltaic system, whilst the upper unit is largely fluvial with north-derived contributions. The data also allow to address the correlation across the anticline, and leads to a depiction of its effects on sedimentation, evolving from submarine high flanked by carbonate slopes, to a shallow marine high separating carbonate from siliciclastic systems, to a final situation where the anticline became a subaerial relief cut across by the fluvial system.

Registro sedimentario y paleontológico de la laguna Grande de Villafáfila, Zamora.

Sedimentary and paleontological record of Laguna Grande of Villafáfila, Zamora.

I. Armenteros[1], P. Huerta[2], M.R. Rivas Carballo[1], B. Martínez-García[3], M. Jambrina Enríquez[4], C. Recio[1], P. Carrasco[5], y J.C. Gonzálo[1]

1 Universidad de Salamanca, Dpto. Geología (Estratigrafía). Plz. De la Merced s/n, 37008 Salamanca, España. ilde@usal.es
2 Departamento de Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca. phuerta@usal.es
3 Universidad el País Vasco, Fac. de Ciencia y Tecnología. B. Sarriena s/n, 48080 Bilbao, España. blancamaria.martinez@ehu.eus
4 Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Facultad de Ciencias. Apartado 456, 38200. San Cristóbal de La Laguna. S/C de Tenerife. mjambrin@ull.edu.es
5 Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca. retep81@usal.es

Resumen: Se realiza un análisis sedimentológico y paleontológico del registro sedimentario de la laguna Grande de Villafáfila. El testigo del sondeo, que alcanza un espesor de 3,05 m, está formado por sedimentos siliciclásticos compuestos por cuarzo, filosilicatos y feldespatos. De muro a techo, se distinguen dos tramos formados por: 1) (3,05 a 1,8 m) areniscas de grano muy fino con encostramientos calcíticos; y 2) (1,8 a 0 m) limolitas con cementación calcítica difusa (1,8-0 m). El contenido fósil, pobre en el tramo inferior, está formado por palinomorfos, caráceas y ostrácodos; foraminíferos bentónicos, restos de larvas de insectos y gasterópodos aparecen en algunas capas de este tramo superior. Las características sedimentológicas y paleontológicas refieren una evolución desde una sedimentación de llanura de inundación fluvial en los 1,2 m inferiores a una sedimentación lagunar en los 1,8 m restantes. Ambos dominios presentan continuos episodios de exposición subáerea.

Palabras clave: siliciclásticos, laguna, humedal, ostrácodos, palinomorfos.

Abstract: *The sedimentary record of Laguna Grande of Villafáfila has been studied from a sedimentological and paleontological viewpoint. The 3.05 m long drill core consists of silicilclastic deposits (quartz, phyllosilicates and feldspar) made up of: 1) very fine sandstones with carbonate crusts from 3.05 to 1.8 m.; and 2) siltstones with diffuse calcite cementation from 1.8 to 0 m. The fossil content, poor in the lower interval, consists of palynomorphs, charophytes and ostracods; benthic foraminifers, insect larvae, and gastropods are locally present in the upper interval. The sedimentary and paleontological features indicate evolution from a fluvial flood plain environment in the lower 1.2 m to wetland conditions along the remaining 1.8 m. Both domains show signs of ephemeral subaerial exposure.*

Keywords: *siliciclastic, lake, wetland, ostracods, palynomorphs.*

INTRODUCCIÓN

Este estudio representa un primer registro relativamente profundo (3,05 m) de la sedimentación en las lagunas de Villafáfila. Un estudio anterior describe la mineralogía de sondeos superficiales (Santisteban *et al.*, 2003). El análisis de polen y microfósiles no polínicos de un sondeo situado en la margen nororiental de la laguna de las Salinas (Fig. 1) sugiere el origen de la laguna en al menos 8 ka BP (López Sáez *et al.*, 2019).

El objetivo es completar el estudio geológico integral de las lagunas que están siendo objeto en los últimos años de trabajos hidrogeológicos y hidrogeoquímicos enfocados en la compresión de su génesis y en su conexión con los sistemas hídricos de la cuenca (Armenteros *et al.*, 2019), así como en el análisis de su registro fósil (Martínez-García *et al.*, 2019). El presente estudio se centra en interpretar la evolución sedimentaria del depósito lagunar. El análisis cronoestratigráfico mediante ^{14}C y otros estudios complementarios está en vías de realización.

SITUACIÓN GEOLÓGICA

La laguna Grande o Salina Grande, donde se sitúa el sondeo, es la mayor laguna de la Reserva de Villafáfila, que ocupa la posición central de los humedales de Villafáfila. Estos se extienden a lo largo de alrededor de 1000 ha en su etapa de máximo encharcamiento, sobre un rellano de escasa pendiente (0,003%) a lo largo del curso alto del río Salado (Fig. 1), afluente del río Valderaduey. Las lagunas se sitúan en torno a los 675 m, rodeadas por suaves lomas con un desnivel de hasta 50 m. El sustrato sobre el que se asientan las lagunas y sus depósitos son limos y arenas anaranjadas del Mioceno medio (Martín Serrano y Barba Martín, 1979; Piles Mateo, 1982).

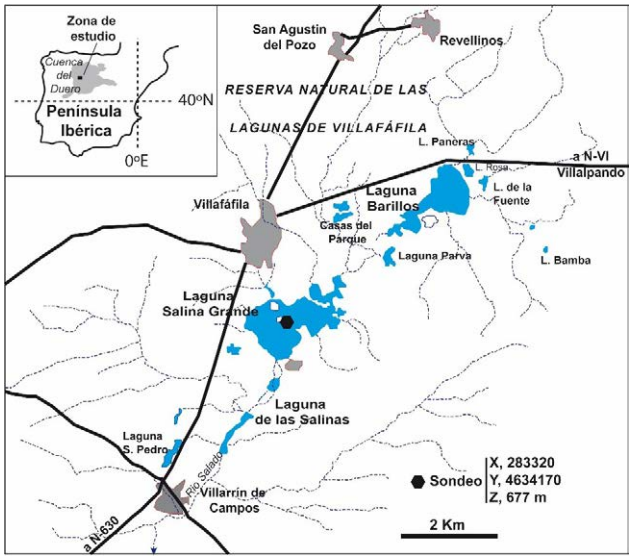


FIGURA 1. Situación de las lagunas de Villafáfila y ubicación del testigo estudiado.

METODOLOGIA

El sondeo se realizó mediante un equipo de perforación por rotación (máquina sacatestigos modelo SDM 37). Se han tomado muestras a intervalos de 10 cm y de cada una se han estudiado sus características texturales y composicionales mediante microscopio binocular, DRX (análisis mineralógico con un difractómetro Bruker D8 Advance), µ-FRX (análisis multielemental con un espectrómetro M4 Tornado); para las dos últimas técnicas se ha utilizado el Servicio de DRX de Nucleus, USAL. El contenido fósil (polen, restos vegetales, ostrácodos y foraminíferos) se ha realizado mediante técnicas palinológicas y micropaleontológicas convencionales.

RESULTADOS

El registro consta de sedimentos siliciclásticos formados principalmente por limolitas en los 1,8 m superiores y areniscas de grano muy fino desde este nivel hasta la base del sondeo. Suelen incluir granos de cuarzo de 0,2 a 3 mm en proporciones de 2-4% en las limolitas y de hasta el 10 % en las areniscas. En algunos niveles, se aprecian intraclastos lutíticos. Ambas litologías presentan un moteado de colores marrón-anaranjado (10 YR 6/2 a 7/6), grisáceo (5Y 6/1) y, menos frecuentemente blanco-grisáceos (N8, N9). Es común la presencia de agregados irregulares subpoliédricos (peds), grietas de desecación, en ocasiones, trazas de raíces en forma de porosidades en canal de anchura submilimétrica. La composición siliciclástica está dominada por cuarzo y filosilicatos (moscovita-illita y caolinita, principalmente). El contenido en carbonato cálcico (calcita) es generalmente inferior al 2% en los 1,8 m superiores, y superior al 5 % en el tramo subyacente, donde puede llegar a alcanzar valores entre los 10 y 35 %. En los casos de menor concentración, se halla en forma de cristalizaciones micríticas intersticiales dentro de la matriz siliciclástica. Cuando su concentración es mayor, muestra una cristalización fina (micrita) en agregados nodulares milimétricos a centimétricos, salvo en el nivel más inferior (3 m) del sondeo, donde constituye un caliche masivo. Entre los componentes, predominan SiO_2 (con valores del 37 al 70 %) y Al_2O_3 (12-28 %); entre los restantes, destacan FeO (3-11%), K_2O (2-5 %), MgO (1,2-3 %), NaO (0,015-1,9 %), %) y TiO_2 (en torno a 0,85 %). El CaO, principalmente asociado al carbonato secundario, muestra un amplio rango (0,3-40 %). El Mn se halla en cantidades relativamente significativas, alcanzando en algunos niveles valores dentro del rango 1000-3000 ppm.

Los ostrácodos aparecen desde superficie hasta los 1,84 m de profundidad. Entre los niveles 1,84m y 1,34m predomina *Sarscypridopsis aculeata*. Desde el nivel 0,74 m hasta el techo predomina *Limnocythere inopinata* con intercalaciones ricas en *Ilyocypris brady*.

Los palinomorfos están presentes en todo el sondeo. Se han identificado polen, esporas y palinomorfos no polínicos (NPP), especialmente zooclastos, algas y esporas de hongos. Se distinguen 2 tramos: a) Entre los 2,9 m y 1,84 m las muestras son pobres y sólo válidas las de los niveles a 2,22 m y 2,10 m, en las que predomina el polen de plantas terrestres arbóreas (*Quercus ilex, Q. pyrenaica y ribereños*). Las plantas acuáticas están bien representadas (*Cyperaceae, Ranunculus*). Los NPP son poco importantes. b) De 1,84 m a techo, las muestras son muy ricas, observándose una tendencia al descenso escalonado de las plantas terrestres en favor de las helo-higrófitas. Los PNN se encuentran en todas las muestras con valores entre el 20% y el 40% del total de palinomorfos, con un máximo a 1,24 m (*Gloeotrichia*) coincidiendo con un máximo de Chenopodiaceae y otro a 0.64-0.40 m (*Spirogyra*) coincidiendo con el máximo de *Q. Ilex* y, sobre todo, de *Erica arborea*. En algunos niveles, se aprecian restos de talos de caráceas, girogonitos y concentraciones de materia orgánica e impresiones de hojas (Ciperáceas).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El predominio de *S. aculeata* entre los niveles 1,84 m, muro, y 1,34 m, techo, refleja el desarrollo de un humedal estacional, con aguas estancadas y de elevada salinidad (cf. Mezquita *et al.*, 2005). La ausencia de ostrácodos en torno al nivel 1,14 m parece estar relacionada con disolución de los carbonatos ya que coincide con la falta de cementación calcítica en este nivel. Entre 1,14 m y 0,84 m se produce una recuperación del ambiente acuático, con aguas temporales de menor salinidad. Finalmente, desde el nivel 0,74 m hacia techo, el predominio de *L. inopinata* define la instauración de un ambiente lagunar semipermanente, con aguas de baja salinidad, probablemente relacionadas con entradas periódicas de aguas más energéticas que explicarían la abundancia de *I. bradyi* (cf. Mezquita *et al.*, 2005).

En cuanto a los palinomorfos, entre los 2,9 y 1,84 m, los resultados reflejan una formación abierta de encinar y robledal, asentada sobre suelos muy húmedos o encharcados con regatos de aguas lentas, salinas y eu-mesotróficas.

A partir del nivel a 1,84 m se establece un ambiente lagunar de aguas someras y tranquilas, con frecuentes periodos de desecación especialmente marcados a 1,24 m y entre 0,64-0,4 m, en los que los suelos permanecerían siempre húmedos o encharcados.

Las características mineralógicas indican un componente detrítico mayoritario. El variable contenido en carbonato (calcita) se debe a la precipitación postsedimentaria asociada a una cementación difusa y, en los 1,2 m inferiores, al reemplazo parcial de la matriz fina formada mayoritariamente por componentes arcillosos. El predominio de SiO_2, Al_2O_3, y la relativa abundancia de KO, justifican la composición mineralógica mayoritaria integrada por cuarzo, arcillas y feldespatos. El relativamente alto contenido en NaO en algunos niveles de los 1,8 m superiores coincide con un aumento del Cl, sugiriendo la presencia de restos salinos. La escasa presencia de SO_3 (0,001 a 0,4 %) justifica la práctica ausencia de sales sulfato cálcicas. Es notorio que, a pesar del carácter salobre de las lagunas y de que actualmente se aprecien eflorescencias de halita durante la etapa de sequía de las lagunas, la presencia de restos salinos es muy escasa en todo el registro. Este hecho se debe a la disolución por aguas meteóricas durante las etapas intermedias de inundación (Armenteros *et al.*, 2019).

Los rasgos postsedimentarios (moteado hidromórfico, porosidad radicular, grietas de desecación) indican frecuentes exposiciones del depósito. Así puede explicarse, en parte, el alto contenido en Fe asociado al moteado de ferruginizacion secundaria por oxihidróxidos de hierro. Y de modo similar, también se explica la relativa abundancia de Mn en algunas muestras, donde coincide con la presencia de motas milimétricas dendríticas negras. Ambos moteados estarían en relación con el carácter efímero de la sedimentación en el registro, la exposición subaérea y la oscilación del nivel freático en la etapa de exposición. Durante la fase de aireación (oxidante) precipitarían primero los oxihdróxidos de hierro y más tarde lo harían los óxidos de manganeso (Drever, 1988). El variable contenido en CaO está ligado, en unos casos, a una cementación difusa intersticial del conjunto siliciclástico de granos-matriz, mientras que, en otros, constituye un reemplazo de la matriz más fina del depósito, como es común en los 1,2 m inferiores.

El conjunto de datos sedimentológicos, composicionales y paleontológicos indican una sedimentación de llanura de inundación fluvial para los 1,2 m inferiores que coincide con un mayor tamaño de grano, desarrollo de las carbonataciones (caliche nodular y masivo), ausencia de ostrácodos y escasez de palinomorfos, y ausencia de restos de caráceas. El menor tamaño de grano, carbonataciones difusas y abundancias de ostrácodos, palinomorfos y caráceas, juntos a otros elementos biológicos, indica una sedimentación lacustre efímera para los 1,8 m superiores.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el proyecto PGC2018-094566-B-C21 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y ha contado con la colaboración de Centro de la Reserva Natural de las Lagunas de Villafáfila.

REFERENCIAS

Armenteros, I., Huerta P., Cidón-Trigo A., Rueda-Gualdrón, M.C. Recio, C., Martínez-Graña, A. (2019). Hidrogeología del entorno de las Lagunas de Villafáfila (Zamora). Geogaceta, 66.

Drever, J.I., (1988). The geochemistry of natural waters. Prentice Hall, New Jersey, 437 p.

López Sáez, J.A., Abel-Schaad, D., Iriarte, E., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Guerra Doce, E, Delibes de Castro, G., Abarquero Moras, F.J. (2017). Una perspectiva paleoambiental de la explotación de la sal en las Lagunas de Villafáfila (Tierra de Campos, Zamora). Cuaternario y Geomorfología, 31 (1-2), 73-104.

Martín Serrano, A. y Piles Mateo, E. (1982). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 308 (Villafáfila) y memoria. IGME, Madrid, 29 p.

Martínez-García, B., Huerta P., Armenteros, I., Rodríguez-Lázaro, J. (2019). Distribución y ecología de los ostrácodos recientes de las Lagunas de Villafáfila (Zamora, España). Geogaceta, 66.

Mezquita, F., Roca, J.R., Reed, J.M. y Wansard, G. (2005): Quantifying species-environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological studies: Examples using Iberian data. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 225, 93-117.

Santisteban, J.I., García del Cura, M.A., Mediavilla López, R. y Dabrio, C.J. (2003): Estudio preliminar de los sedimentos recientes de las lagunas de Villafáfila (Zamora). Geogaceta 33, 51-54.

Estratigrafía y sedimentología del yacimiento de dinosaurios de La Peñuela (Berriasiense basal, subcuenca de Galve, Teruel).

Stratigraphy and Sedimentology of La Peñuela dinosaur fossil site (earliest Berriasian, Galve subbasin, Teruel).

M. Aurell[1], B. Bádenas[1], D. Castanera[2], J.M. Gasca[1]

1 Departamento Ciencias de la Tierra, Grupo Aragosaurus-IUCA, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. maurell@unizar.es
2 Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, c/ Escola Industrial 23, 08201 Sabadell.

Palabras clave: Berriasian, tidal flat, vertebrate, synrift, Iberia

Resumen

En el año 2017 se inició la excavación de un nuevo yacimiento con restos de dinosaurios denominado La Peñuela (Camarillas, Teruel). El yacimiento se encuentra en la parte superior de la Fm Aguilar del Alfambra, en el margen noroccidental de la subcuenca de Galve (Cuenca del Maestrazgo). La primera etapa de relleno sedimentario de esta subcuenca (Kimmeridgiense terminal–Berriasiense) incluye el registro de hasta 500 m de una sucesión mixta carbonatada-siliciclástica, depositada en ambientes costeros (Secuencia Synrift 1; Aurell *et al.*, 2019). En el entorno del yacimiento, la base de la Fm. Aguilar del Alfambra (Titoniense medio-Berriasiense inferior) es una discordancia de bajo ángulo con la Fm. Cedrillas, mientras que su techo es una discordancia mayor (límite entre las secuencias synrift 1 y 2), sobre la que se apoya los carbonatos lacustres de la Fm. El Castellar (Hauteriviense terminal–Barremiense basal). La asociación de carofitas registradas en combinación con datos de isótopos de estroncio, precisan la edad del yacimiento del La Peñuela como Berriasiense basal. Los datos sedimentológicos aportados en este trabajo permiten documentar en detalle los procesos sedimentarios que favorecieron la preservación de los restos de dinosaurios en la llanura de mareas mixta en la que tuvo lugar el depósito de la Fm. Aguilar del Alfambra (Bádenas *et al.*, 2018).

Abstract

In 2017, the excavation of a new fossil site with dinosaur remains called La Peñuela (Camarillas, Teruel) began. The site is located in the upper part of the Aguilar del Alfambra Fm, on the northwestern margin of the Galve sub-basin (Maestrazgo Basin). The first stage of sedimentary filling of this sub-basin (latest Kimmeridgiense–Berriasian) includes the record of up to 500 m of a mixed carbonated-siliciclastic succession, deposited in coastal environments (Synrift Sequence 1; Aurell et al., 2019). Around the fossil site, the Aguilar del Alfambra (mid Tithonian-early Berriasian) overlies the low-angle unconformity with the Fm Cedrillas, while its top is a major unconformity (boundary between the synrift sequences 1 and 2), which is in turn overlain by the lacustrine carbonates of Fm El Castellar (latest Hauterivian–earliest Barremian). The recorded carophyte assemblage in combination with strontium isotope data, allows to constrain the age of the La Peñuela fossil site as earliest Berriasian. The sedimentological data provided in this work have allowed to document in detail the sedimentary processes that favored the preservation of the dinosaur remains in the mixed tidal plain in which the deposit of the Aguilar del Alfambra Fm took place (Bádenas et al., 2016).

Referencias

Aurell, M., Bádenas, B., Canudo, J.I., Castanera, D., García Penas, A., Gasca, J.M., Martín-Closas, C., Moliner, L., Moreno-Azanza, M., Rosales, I., Santas, L., Sequero, C., Val, J. (2019). *Cretaceous Research*, 103, 104153.

Bádenas, B., Aurell, M. y Gasca, J.M. (2018). *Sedimentology* 65, 1631–1666.

Aragonitic oolite deposits in Danian (lower Palaeocene) carbonate shelves from the Pyrenees, N Spain.

Depósitos oolíticos de aragonito en plataformas carbonatadas del Daniense (Paleoceno inferior) de los Pirineos, N de España.

J.I. Baceta[1], V.P. Wright[2] and A. Berreteaga[1]

1 Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Universidad del País Vasco UPV-EHU, Apdo. 644, E48080, Bilbao, España. juanignacio.baceta@ehu.eus, ana.berreteaga@ehu.eus

2 National Museum of Wales, Cathays Park, Cardiff, CF10 3NP, Wales, UK. vpw@pwcarbonategeoscience.com

Palabras clave: Oolite, high frequency cycles, skeletal and non-skeletal aragonite, seawater chemistry

Abstract

Danian shallow-water carbonates from the Pyrenees comprise substantial amounts of oolite, a striking feature given the global paucity of these non-skeletal deposits during the early Paleogene (Sandberg, 1983). The host succession form a wide rimmed shelf, with large coralgal reefs along its seaward margin (Baceta, 1996). Platform growth was punctuated by 3rd to 5th order relative sea level changes that created three depositional sequences and numerous m-scale shelf top parasequences. Oolite occur as multiple sheet-like units at the base of 4th-5th order parasequences, and mostly represent low-relief dunes and bars associated to tidal and wave-induced currents during episodes of marine re-flooding. The ooids show microfabrics and diagenetic features indicative of a dominant primary aragonite mineralogy. This enhanced precipitation of non-skeletal aragonite across the shelf top was coeval to prolific skeletal aragonite production along the reefal margin (i.e. corals, peyssonnelids and dasyclads). Without discarding an origin due to local conditions, our data support the hypothesis of a distinct Danian aragonite-facilitating seawater stage before the onset of the Aragonite III global phase of the middle-late Cenozoic (Sandberg, 1983; Stanley, 2006).

Resumen

Los carbonatos marino someros danienses de los Pirineos contienen cantidades importantes de oolítos, rasgo llamativo dada la escasez global de este tipo de depósitos durante el Paleógeno inferior (Sandberg, 1983). La sucesión daniense forma una extensa plataforma carbonatada de tipo *rimmed shelf*, con importante desarrollo de construcciones arrecifales a lo largo del margen abierto al mar (Baceta, 1996). Su crecimiento fue discontinuo, con cambios relativos del nivel marino de 3er a 5º orden que crearon tres secuencias deposicionales y multitud de parasecuencias de espesor métrico. Los oolitos aparecen como múltiples niveles de espesor métrico a la base de las parasecuencias, que se interpretan representativos de barras y dunas asociadas a corrientes de marea y oleaje durante los episodios de re-inundación marina. Los ooides muestran microfábricas y rasgos diagenéticos indicativos de una mineralogía primaria de aragonito. Esta elevada producción de aragonito no esqueletal fue coetánea a una prolífica producción de aragonito esqueletal en el margen arrecifal (p.ej. corales, algas peissoneliaceas y dasicladaceas). Sin descartar condiciones químico-físicas locales específicas, nuestros datos avalan la hipótesis de una etapa Daniense favorable para la precipitación de aragonito, previa al inicio de la fase global Aragonito III que caracterizó el Cenozoico medio y superior (Sandberg, 1983; Stanley, 2006).

Referencias

Baceta, J.I. (1996). *El Maastrichtiense superior, Paleoceno e Ilerdiense inferior de la Región Vasco-Cantábrica: secuencias deposicionales, facies y evolución paleogeográfica*. PhD Thesis, University Basque Country UPV-EHU, 372 p.

Sandberg, P.A. (1983). *Nature* 305, 19-22. doi: 10.1038/305019a0

Stanley, S.M. (2006). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232, 214-236 doi:10.1016/j.palaeo.2005.12.010

Sedimentología y Palinología del intervalo Aptiense-Cenomaniense inferior en La Serranía de Cuenca, Cordillera Ibérica, España.

Sedimentology and palynology of the Aptian-lower Cenomanian time-interval from the Serranía de Cuenca, Iberian Ranges, Spain.

Carlos A. Bueno-Cebollada[1], Eduardo Barrón[1], Daniel Peyrot[2], Nieves Meléndez[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España – IGME, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid (Spain)
2 School of Earth and Environment, Centre for Energy Geoscience, University of Western Australia,6101, Crawley, Western Australia (Australia)
3 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, José Antonio Nováis 12, 28040 Madrid (Spain)

Palabras clave: Serranía de Cuenca, Cretácico medio, Cuñas Clásticas, Transgresión.

Resumen

Se ha realizado un estudio sedimentológico y palinológico en los materiales siliciclásticos del Cretácico Inferior y medio, en tres sectores en La Serranía de Cuenca: Mina Pepita-Buenache de la Sierra (MPB), La Toba-Uña (TU) y Campillos-Tejadillos (CT). Las tres cuñas siliclásticas originalmente descritas para el sector SO de la Cordillera Ibérica (Vilas *et al.,* 1982) se han identificado en La Serranía de Cuenca basándose en las asociaciones palinológicas estudiadas: i) En Mina Pepita (MPB) se ha identificado la primera cuña clástica, de edad Aptiense inferior (Fm. Contreras); ii) Los niveles estudiados en Buenache de la Sierra (MPB) coinciden con la segunda cuña siliciclástica, de edad Aptiense superior (Mb. El Burgal); iii) Las sucesiones estudiadas en los sectores TU y CT presentan una edad que oscila desde el Albiense medio al Cenomaniense Inferior, y por tanto representan la tercera cuña clástica (Grupo Utrillas). Así mismo, este estudio tiene como objetivo ahondar en los pormenores de la transgresión Albiense - Cenomaniense inferior en el área de La Serranía de Cuenca (Chamizo-Borreguero *et al.,* 2016).

Abstract

A sedimentological and palynological study has been carried out in Lower to mid-Cretaceous outcropping clastic units from the Serranía de Cuenca, Iberian Ranges, Spain. The study area has been divided into three sectors: Mina Pepita-Buenache de la Sierra (MPB), La Toba-Uña (TU) and Campillos-Tejadillos (CT). The three Aptian-lower Cenomanian clastic units described for the South-western Iberian Basin (Vilas et al., 1982) have been identified in the Serranía de Cuenca: i) Mina Pepita outcrop (MPB Sector) corresponds to the lower Aptian unit, Contreras Formation, ii) Buenache de la Sierra outcrop (MPB Sector) has been attributed to the upper Aptian unit, El Burgal Member (the second clastic unit), and iii) the successions studied in TU and CT sectors show a middle Albian to early Cenomanian age, and are assigned to the Utrillas Group (third clastic unit). Likewise, this study aims to provide new insights on the subtleties of the Albian to early Cenomanian transgression in the Serranía de Cuenca region (Chamizo-Borreguero et al., 2016).

Referencias

Chamizo-Borreguero, M., Meléndez, N., De Boer, P. L. (2016). En: *Proceedings of the Tidalites* 2012 Conference, IAS, 93–115.

Vilas, L., Mas, R., García, A., Arias, C., Alonso, A., Meléndez, N., Rincón, R. (1982). En: *El Cretácico de España*. Universidad Complutense. Madrid, 457–513.

Experimentos con tapetes microbianos lagunares: influencia de sus metabolismos en la precipitación mineral

Experiments with microbial mats from shallow lakes: Metabolic influence of the microorganisms in the precipitation of minerals

O. Cabestrero[1], M.E. Sanz-Montero[2], P. del Buey[2], C. Tebes[1], C. Demergasso[1] y P.T. Visscher

1 Centro de Biotecnología, Universidad Católica del Norte, Antofagasta (Chile). oscar.cabestrero@ucn.cl; ctebes@ucn.cl; cdemerga@ucn.cl
2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid (España). mesanz@ucm.es; pablodelbuey@ucm.es
3 Department of Marine Sciences, College of Liberal Arts y Sciences. UCONN, Groton (USA). pieter.visscher@uconn.edu

Resumen: El proceso de formación de minerales puede observarse en lagunas continentales, donde los carbonatos, sulfatos, cloruros y silicatos precipitan en asociación con tapetes microbianos. Los modelos clásicos explican la precipitación de la mayoría de las fases por mecanismos fisicoquímicos puros sin considerar la influencia biológica. Estudios recientes consideraron la influencia biológica, sin embargo, se han enfocado en aislar los microorganismos de forma individual. En nuestro estudio proponemos una serie de experimentos para crecer tapetes microbianos completos y evaluar la precipitación mineral que ocurre en los distintos tipos de lagos, especialmente sulfatos y carbonatos. En paralelo se han colocado controles diseñados para simular la precipitación abiótica pura. Por lo tanto, las observaciones realizadas en los experimentos, incluido el desarrollo de los tapetes y los minerales precipitados, pueden usarse como una herramienta para comprender las interacciones microbio-minerales en comparación con las observaciones de campo. Los precipitados de los experimentos de tapetes se parecen a los precipitados naturales en sus texturas y paragénesis.

Palabras clave: experimentos de precipitación, minerales, tapetes microbianos, metabolismos, lagunas someras.

Abstract: *The process of mineral formation may be observed in modern shallow lakes, where carbonates, sulfates, chlorides y silicates precipitate in association with microbial mats. Classical models explained the precipitation of most of the phases with pure physicochemical mechanisms without considering biological influence. Recent studies considered biological influence focusing to isolate microorganisms. Here, we propose an experimental design to incubate the whole microbial mats running in parallel with controls designed for pure abiotic precipitation. Thus, the observations made in the experiments, including the development of the mats y the minerals precipitated, can be used as a tool for understanding microbial-mineral interactions by comparison with field observations. Remarkably, the minerals precipitated in the laboratory resemble the natural precipitates in textures y paragenesis.*

Keywords: *precipitation experiments, minerals, microbial mats, metabolisms, shallow lakes.*

INTRODUCCIÓN

Resulta común observar minerales recién formados en asociación espacial con tapetes microbianos que proliferan en lagunas alcalinas, salinas (*playa-lakes*) y salares. Los modelos clásicos explican que la precipitación de la mayoría de las fases ocurre por factores fisicoquímicos que están controlados por el clima, como la concentración de iones (evaporación) y la temperatura (Eugster y Hardie, 1978).

Desde comienzos del siglo XXI, cada vez más autores coinciden en que las fases que precipitan dentro de los tapetes microbianos alcanzan la sobresaturación debido a las interacciones bioquímicas de los microorganismos con el medio (Warren, 2006; Konhauser, 2007). Para demostrar el origen biótico de las fases minerales en estos ambientes, la mayoría de los estudios realizados se han basado en el aislamiento y/o enriquecimiento de algunas especies microbianas concretas, por ejemplo, Machulás *et al.* (2008), Sánchez-Román *et al.* (2009), Gallagher et al. (2012) y Sanz-Montero *et al.* (2019). En cambio, hay pocos trabajos en donde se tenga en cuenta la comunidad al completo para establecer relaciones entre minerales y microorganismos.

Con el objetivo de conocer que metabolismos microbianos están implicados en la formación de las distintas fases, se han diseñado varios experimentos de precipitación mineral utilizando fragmentos de tapetes microbianos. Estos fragmentos de tapetes son la entidad más pequeña con la que experimentar, representativa de toda la comunidad.

MÉTODOS

Estos experimentos se han llevado a cabo incubando tapetes microbianos (Fig. 1) con diferentes parámetros (salinidad, contenido iónico, luz, presencia o ausencia de oxígeno, etc).

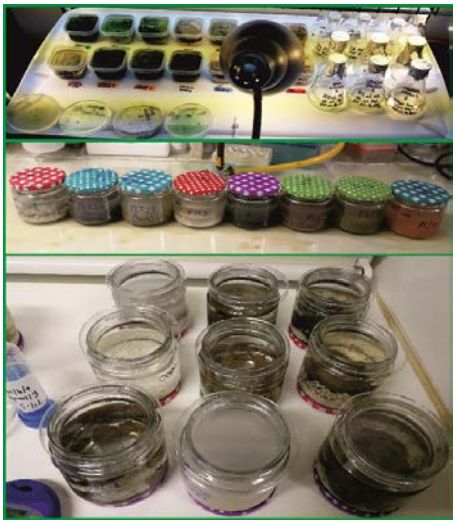


FIGURA 1.Tapetes microbianos incubados en el laboratorio. Nótese la existencia de distintos colores en función de las comunidades microbianas predominantes y los distintos minerales precipitados.

Los tapetes microbianos empleados han sido recogidos de diferentes lagunas que presentan condiciones geoquímicas variables para abarcar el máximo espectro de posibilidades de encontrar similitudes/diferencias. Algunos de los lugares elegidos están clasificados como hipersalinos (Lagunas de Lillo, Toledo, España; lagunas del Salar de Pajonales, Antofagasta, Chile), hipersalinos ácidos (lagunas del Salar de Gorbea, Antofagasta, Chile) e incluso hiperalcalinos (Lagunas de Coca-Olmedo, Segovia-Valladolid, España).

Las lagunas y salares muestreados presentan precipitados autigénicos que han sido descritos en varias publicaciones (Tabla 1), algunas de las más recientes son: en el Salar de Gorbea, Cortez-Rivera (2014); en las Lagunas de Lillo, Cabestrero *et al.* (2018); en el Salar de Pajonales, Rodríguez-Albornoz (2018) y en las lagunas de Coca-Olmedo, Sanz-Montero *et al.* (2019).

Lugar	Minerales principales	Otros minerales
L. de Lillo	Yeso y sulfatos de Mg y Na	Carbonatos de Ca y Mg, filosilicatos de Mg, y halita
L. de Coca-Olmedo	Carbonatos de Mg, Ca y Na	Sulfatos de Mg, Na, Ca y azufre nativo
S. de Pajonales	Yeso y halita	Carbonatos de Ca y azufre nativo
S. de Gorbea	Yeso y halita	Sulfatos de Mg, Na, K, Fe, óxidos

TABLA I. Minerales autigénicos que precipitan de forma natural en las lagunas estudiadas. L. = laguna. S. = Salar.

Dada la controversia en el origen biótico o abiótico de los minerales, y con el fin de poder realizar controles negativos se han realizado experimentos de precipitación puramente abiótica de forma paralela. Estos experimentos carecen de tapetes microbianos, por lo que la precipitación se simula usando únicamente las salmueras filtradas con una luz de malla de 0.45 y 0.22 μm (sin microorganismos).

La obtención de resultados se ha basado en el control periódico de la evolución de los experimentos mediante técnicas moleculares, microscópicas, y mineralógicas. Dentro de las anteriores, cabe especificar la microscopía óptica tradicional, fluorescencia, confocal y electrónica para la identificación de microorganismos, minerales y texturas. Adicionalmente se han usado técnicas moleculares para la descripción de la diversidad microbiana. La caracterización mineral se ha realizado complementada con difracción de Rayos X. A las técnicas anteriores, se suma la medición periódica de parámetros fisicoquímicos del agua de los experimentos tales como salinidad, pH y temperatura. Los parámetros medidos se modelizaron con Phreeqc para contrastar los resultados de los tres escenarios evaluados: natural, experimental y teórico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados preliminares demuestran que muchos de los minerales observados en el campo, también precipitan en los tapetes microbianos incubados en el laboratorio (Fig. 2). Entre los minerales más abundantes caben destacar los carbonatos de calcio (calcita y aragonito) que precipitan prácticamente en la totalidad de las muestras. También se ha observado abundante formación de yeso en las muestras de tapetes que provienen de ambientes hipersalinos. Además, han precipitado sulfatos magnésicos y magnésicos sódicos (epsomita, bloedita, konyaita, etc.) en las muestras de las Lagunas de Lillo. El azufre nativo ha sido encontrado en algunas muestras de ambientes hipersalinos e hiperalcalinos. Por último, se han precipitado carbonatos de magnesio (hidromagnesita-dypingita y nesquehonita) en las muestras de los ambientes hiperalcalinos.

En el caso del yeso, se ha observado frecuentemente con hábito lenticular y acicular en las muestras de tapete microbiano, a diferencia de las muestras control -sin tapete-, donde se cristalizó únicamente yeso prismático tabular. Por último, en los controles de las lagunas de Coca-Olmedo ha precipitado nesquehonita y fosfato magnésico y, en las muestras de ambientes hipersalinos, halita.

En cuanto a las comunidades microbianas se ha observado que varían sustancialmente en función de la química del medio y esto influye en los minerales que precipitan.

El predominio de metabolismos heterótrofos o mixótrofos de organismos como *Plantomycetes*, *Proteobacteria*, *Cyanobacteria*, *Firmicutes* (Sanz-Montero *et al.*, 2019) y *Chloroflexi*, influyen en la precipitación de carbonatos magnésicos en las lagunas hiperalcalinas (Coca-Olmedo).

Se ha podido corroborar mediante los experimentos que algunos organismos con metabolismos similares a los anteriores junto con arqueas metanógenas son los responsables de la cristalización de sulfatos magnésicos y magnésicos sódicos en los fangos oscuros de las

lagunas hipersalinas de Lillo, tal y como se había descrito en Cabestrero *et al.* (2018).

El desarrollo de cianobacterias y bacterias sulfoxidantes -fototróficas- se relaciona con la precipitación de carbonatos cálcicos en las Lagunas de Lillo, Coca-Olmedo y en el Salar de Pajonales.

Los últimos resultados obtenidos permiten establecer vínculos entre el azufre nativo y los sulfatos en relación con la presencia de algunas cianobacterias cocoides como *Chroococcidiopsis sp*. y *Dactylococcopsis sp*. y con bacterias sulfoxidantes bacilares parecidas a *Chromatium* y *Thiocystis*. Estos resultados preliminares han sido obtenidos tanto de las lagunas hiperalcalinas como para las hipersalinas, excepto en el Salar de Gorbea.

CONCLUSIONES

Los experimentos de precipitación realizados hasta el momento han permitido confirmar, para los ambientes estudiados, la precipitación de diversos minerales según distintos metabolismos involucrados (Fig. 2):

1. Carbonatos magnésicos, al relacionarse con procesos degradativos de forma similar a lo que ocurre con los carbonatos cálcicos precipitados a partir de la degradación de la urea.

2. Sulfatos magnésicos y magnésico-sódicos en relación con actividades degradativas de la materia orgánica.

3. Carbonatos de calcio por incremento de pH, en la matriz de tapetes microbianos donde abundan microorganismos fotótrofos, que han sido descritos y confirmados previamente de forma extensa.

Se espera que los experimentos que están en desarrollo en la actualidad desvelen información adicional sobre los mecanismos de precipitación del azufre nativo y de algunos sulfatos como el yeso.

AGRADECIMIENTOS

La colaboración del Centro de Biotecnología Profesor Alberto Ruiz (CBAR) de la Universidad Católica del Norte (UCN). El aporte del Proyecto CONICYT-POSTDOCTORADO/3190821, el Proyecto CGL2015-66455-R (MINECO-FEDER) que es parte del grupo de investigación UCM-910404 de la Universidad Complutense de Madrid, y el Proyecto 32002137 de la Donación Minera Escondida Ltda.

REFERENCIAS

Cabestrero, Ó., del Buey, P. y Sanz-Montero, M.E. (2018): Biosedimentary and geochemical constraints on the precipitation of mineral crusts in shallow sulphate lakes. *Sedimentary Geology*, 366: 32-46.

Cortez-Rivera, P.A. (2014): *Caracterización geológica de los Salares Gorbea e Ignorado y su asociación con su microbiota*. Tesis de pregrado. Universidad Católica Del Norte, Antofagasta. 234 p.

Eugster, H.P. y Hardie, L.A. (1978): Saline Lakes. En: *Physics and chemistry of lakes* (A. Lerman, ed.). Springer Verlag, 237-293.

Gallagher, K.L., Kading, T.J., Braissant, O., Dupraz, C. y Visscher, P.T. (2012): Inside the alkalinity engine: the role of electron donors in the organomineralization potential of sulfate-reducing bacteria. *Geobiology*, 10(6): 518-530.

Konhauser, K. (2007): *Introduction to geomicrobiology*. Blackwell Publications, 425 p.

Machulás García, K.C., Chong, G., y Demergasso, C. (2008). *Desarrollo de microorganismos en rocas carbonáticas de paleofuentes termales; Sierra Vaquillas Altas y Sierra Candeleros, región de Antofagasta.* Tesis Doctoral 279. Universidad Católica Del Norte, Antofagasta.

Ródriguez-Albornoz, C.A. (2018): *Caracterización geológica del Salar de Pajonales y parte de su fauna microbiana (7.209.000–7.226.500N, -510.000–530.000E), Antofagasta, Norte de Chile*. Tesis de pregrado. Universidad Católica Del Norte, Antofagasta, 99 p.

Sánchez-Román, M., Vasconcelos, C., Warthmann, R., Rivadeneyra, M. y McKenzie, J.A. (2009): Microbial dolomite precipitation under aerobic conditions: results from Brejo do Espinho Lagoon (Brazil) and culture experiments. *Perspectives in Sedimentary Geology: A Tribute to the Career of Robert Nathan Ginsburg*, 41: 167-178.

Sanz-Montero, M.E., Cabestrero, Ó. y Sánchez-Román, M. (2019): Microbial Mg-rich carbonates in an extreme alkaline lake (Las Eras, Central Spain). *Frontiers in microbiology*, 10.

Warren, J.K. (2006). *Evaporites; Sediments, Sources and Hydrocarbons*: Springer Verlag, Berli

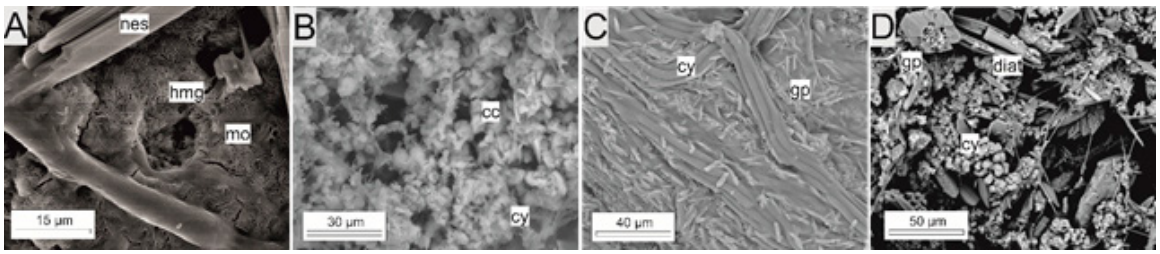


FIGURA 2. Microfotografías de algunos minerales precipitados en los tapices microbianos observados mediante microscopía electrónica de barrido. Abreviaturas: nes = nesquehonita, hmg = hidromagnesita, mo = materia orgánica, cc = calcita, cy = cianobacterias, gp = yeso, diat = diatomeas.

Factores de control de las clinoformas del Grupo Ebro (Plioceno-Holoceno) en el extremo sur del Surco de Valencia.

Controlling factors for the clinoforms of the Ebro Group (Pliocene-Holocene) in the southernmost sector of the Valencia Trough.

J.N. Castillo Ruano[1], A. Jiménez Berrocoso[2] y M. Gil Ortiz[2]

1 Repsol Technology Lab, CTRA. Extremadura Km 18, Móstoles, Madrid. E-mail: josenicolas.castillo@repsol.com
2 Repsol Exploración S.A., Calle Méndez Álvaro 44, 28045 Madrid.

Palabras clave: estratigrafía sísmica, clinotemas, Grupo Ebro, Surco de Valencia, Mediterráneo Occidental.

Resumen

El Grupo Ebro (Plioceno-Holoceno) constituye la parte superior de la estratigrafía en el Surco de Valencia. Sondeos realizados en la zona revelan litologías de tamaño de grano arcilla y limo, con intercalaciones de areniscas y margas para la mayor parte de esta sección. El presente trabajo se centra en el extremo sur del Surco de Valencia, donde la cantidad de estudios sobre el Grupo Ebro es minoritaria, siendo el objetivo principal inferir las causas de las geometrías progradantes observadas por mediación de la estratigrafía secuencial en sísmica 2D.

Dentro de la zona de estudio, el sector norte muestra clinotemas con topsets más espesos y taludes con un mayor gradiente incididos por cañones submarinos, todo ello probablemente debido a su mayor proximidad a la fuente de sedimentos del Delta del Ebro (~100 km al norte). Al contrario, el sector sur presenta clinotemas con topsets menos potentes, taludes de menor gradiente y ausencia de relieves erosivos significativos, en este caso relacionado con una mayor distancia a la fuente de sedimentos (~200 km al norte). En ambos sectores, se pueden identificar dos secuencias claramente diferentes. La inferior (Plioceno inferior) con un claro patrón de apilamiento progradante, y la superior (Plioceno superior a Cuaternaria) con una pauta agradacional superpuesta a dichas progradaciones. Esta diferencia se relacionaría con un incremento del espacio de acomodación o incremento relativo del nivel del mar para la secuencia superior, cuyas causas podrían deberse a la conexión total del Mediterráneo con el Atlántico Norte durante el Plioceno superior y/o a un incremento local en la subsidencia.

En conclusión, nuestras observaciones confirman que la causa principal de la extensión y de la geometría progradante/agradante de los depósitos del Grupo Ebro estudiados se relacionaría con el abundante aporte de sedimentos del Delta del Ebro, la granulometría fina de los mismos, y la proximidad relativa a la desembocadura de dicho delta.

Abstract

The Ebro Group (Pliocene-Holocene) belongs to the upper part of the stratigraphy in the Valencia Trough. Wells drilled in the area reveal mainly clay- and silt-sized lithologies, with interbeds of sandstones and marlstones, for most of the section. Our work focuses on the southernmost sector of the Valencia Through, where the amount of studies carried out is minor, and the priority is to understand the causes of the prograding geometries using sequence stratigraphy from 2D seismic data

Within the study area, the northern sector shows clinothems with thicker topsets and steeper slopes that are incised by submarine canyons; all of it probably due to the greater proximity to the major sediment entry point, i.e. the Ebro Delta (~100 km to the north). The southern region shows thinner topsets, more gentle slopes and an overall lack of erosive features, probably related to a larger distance to the Ebro Delta (~200 km to the north). In both regions, two distinct sequences are clearly seen. The lower one (lower Pliocene) exhibits marked prograding stacking patterns, whereas the upper one (upper Pliocene to Quaternary) shows progradation and agradation trends. Such a difference would be related to an increase in the accommodation space or a relative rise in sea level for the upper sequence that could be due to a full connection of the Mediterranean with the North Atlantic during the upper Pliocene and/or a local increase in the subsidence rate.

In conclusion, our observations confirm that the principal reason for the extension and the prograding/aggrading stacking patterns of the Ebro Group would be related to the large sediment inputs from the Ebro Delta, the fine-grained character of the sediments, and the relative proximity to the delta.

Evidencias de un glaciar salino en el diapiro de Les Avellanes (NE España). Resultados preliminares.

Evidences of a salt glacier in Les Avellanes diapir (NE Spain). Preliminary results.

G. Cofrade[1], I. Cantarero[1], Ò. Gratacós[2], A. Travé[1], E. Roca[2]

1 Institut de Recerca Geomodels, Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), c/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain.

2 Institut de Recerca Geomodels, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), c/ Marti i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain.

Palabras clave: Diapirismo, Pirineos, Sierras Marginales, Keuper, Les Avellanes.

Resumen

A lo largo del cinturón surpirenaico afloran grandes masas de evaporitas triásicas (facies Keuper) formando estructuras intrusivas asociadas a los pliegues y cabalgamientos (Muñoz *et al.*, 2018). Dentro de estas estructuras existen cuerpos formados por carbonatos del Muschelkalk y ofitas en una distribución aparentemente caótica. Por ello, han sido interpretadas como diapiros deformados y probablemente transportados en *piggy-back* (Santolaria *et al.*, 2014). Entre ellos, el diapiro de Les Avellanes (Serres Marginals, Lleida) (Burrel y Teixell, 2020) es uno de los más vastos y complejos, y está rodeado por un amplio registro de unidades sedimentarias que abarcan desde el Jurásico hasta el Oligoceno (Teixell y Muñoz, 2000). El estudio de estas unidades encajantes aporta información sobre la evolución del diapiro. En esta contribución se presentan los resultados centrados en los depósitos Oligocenos que afloran en el margen SE y SO. Esta secuencia deposicional muestra el cambio gradual de facies en la vertical desde gypsarenitas a una brecha proximal soportada por la matriz con cantos de carbonatos del Muschelkalk, de ofitas y de yesos, sobre los que se sitúa el Keuper. Esta secuencia se interpreta como el registro del avance en superficie de la sal alóctona sobre los sedimentos originados por la erosión, transporte y re-sedimentación de las mismas evaporitas, en dirección SE.

Abstract

Along the South Pyrenean belt, there are large volumes of triassic evaporites (Keuper facies) in intrusive structures associated with folds and thrusts (Muñoz et al., 2018). Embedded within the Keuper rocks, there are bodies of ophites and Muschelkalk carbonates with an apparently chaotic distribution. Hence, they have been interpreted as deformed diapirs probably transported in piggy-back (Santolaria et al., 2014). Among them, Les Avellanes diapir (Serres Marginals, Lleida) (Burrel and Teixell, 2020) is one of the largest and more complex. It is surrounded by a thick succession of sedimentary units ranging from Jurassic to Oligocene in age (Teixell and Muñoz, 2000). The study of these sediments provides information about the evolution of the diapir. In this contribution we present the results focused on the Oligocene deposits cropping out in the SE and SW margins. This depositional sequence shows Oligocene gypsarenites progressively grading vertically into a proximal mud-supported breccia (floatbreccia) with clasts of Muschelkalk carbonates, ophites and gypsum, and the Keuper facies emplaced on top. This sequence is interpreted as the record of an allochthonous salt body that flowed to the SE over the sediments originated by the erosion, transport and re-sedimentation of the same evaporites.

Referencias

Burrel, L. y Teixell, A. (2020). *Journal of the Geological Society*. Doi:10.1144/jgs2020-085

Muñoz, J.A., Mencos J., Roca, E., Carrera, N., Gratacós, O., Ferrer, O., Fernández, O. (2018) *Geologica Acta*, (16)4, 439-460

Santolaria, P., Casas-Sainz, A.M., Soto, R., Pinto V., Casas, A. (2014). *Tectonophysics*, 637, 30-44.

Teixell, A. y Muñoz, J.A. (2000). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2), 251-264.

Significado de las evaporitas del Carbonífero medio de la cuenca de antepaís Varisca (N de España y S de Francia).

Significance of mid-Carboniferous evaporitic deposits in the Variscan foreland basin (Northern Spain and Southern France).

I. Díaz-García[1], O. Merino-Tomé[1], I.E. Quijada[1], J.R. Bahamonde[1], L.P. Fernández[1], G. Della Porta[2], E. Samankassou[3], F. Ortí[4], A.G. Borrego[5], J. Martín-Llaneza[1] y M. Valenzuela[1]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo, España. diazgivan@uniovi.es
2 Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano, 20133 Milán, Italia.
3 Department of Earth Sciences, University of Geneva, CH-1205 Ginebra, Suiza.
4 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain
5 Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC), 33011 Oviedo, España.

Palabras clave: Evaporitas, cuenca de antepaís Varisca, Carbonífero, Zona Cantábrica, Pirineos

Resumen

Durante el Devónico Superior y el Carbonífero, la colisión entre Gondwana y Laurasia provocó la reducción de las dimensiones y el cierre del océano Rheico. En este contexto, entorno al tránsito Misisipiense–Pensilvaniense, en extensas áreas de la cuenca de antepaís Varisca se acumularon 60-400 m de calizas pelágicas oscuras laminadas (Fm. Barcaliente, Zona Cantábrica; Fm. Iraty, Pirineos). En ellas, se reconoce un intervalo de hasta 20 m de espesor con yesos intrasedimentarios pseudomorfizados cuya abundancia aumenta gradualmente hacia el techo llegando a superar el 60% del volumen de roca. La presencia de biomoldes de radiolarios en este intervalo y las estructuras sedimentarias sugieren un ambiente submareal abierto, aunque la escasez de organismos bentónicos impide determinar con precisión la profundidad del fondo marino. En estas condiciones, la precipitación de las evaporitas podría estar relacionada con la existencia de una marcada estratificación de las aguas, con salmueras profundas y aguas marinas normales superficiales. Localmente, a techo de la sucesión evaporítica se han reconocido rasgos de exposición subaérea que registran una importante bajada del nivel del mar relativo que podría ser coincidente con el mínimo eustático del Bashkiriense temprano registrado en otras partes del mundo.

Abstract

During the Variscan Orogeny, the Gondwana-Laurentia collision led to the narrowing and closure of the Rheic Ocean. Under this scenario, a 60-400 m-thick pelagic succession of dark laminated calci-mudstones was accumulated over the distal realms of the Variscan foreland basin (Barcaliente Fm, Cantabrian Zone; Iraty Fm, Pyrenees) around the Mississippian-Pennsylvanian boundary. The upper part of this succession is characterized by the presence of an up to 20 m-thick stratal package with pseudomorphs after intrasediment gypsum, which become more abundant upwards even representing the 60% of the rock volume at the top. The common presence of radiolaria biomolds in this stratal package and the sedimentary structures suggest that evaporite deposition took place in an open subtidal marine environment, although the scarcity of benthic biota prevents further paleobathymetric interpretations. In such conditions, gypsum precipitation could have been related with a strong ocean stratification, with deep brines and shallow normal marine waters. Locally, subaerial exposure features are observed atop the evaporitic package, which record a significant relative sea-level fall that could be coincident with early Bashkirian eustatic lowstand recognised world-wide.

Financiación: Proyectos SV-PA-13-ECOEMP-45, CGL2013-46458-C2-2-R, MINECO-13-CGL2013-44458-P, MCIU-19-PGC2018-099698-B-I00, GRUPIN IDI-2018-000216, financiación FEDER y becas PRX19/00423 y PAPI-19-PF-14.

La Formación Ermita en el sinclinal de Vega de los Viejos

The Ermita Formation in the Vega de los Viejos Syncline

L. P. Fernández[1], J. L. García-Alcalde[1] y J. L. Alonso[1]

1 Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005, Oviedo. lpedro@geol.uniovi.es, jalcalde@uniovi.es, jlalonso@geol.uniovi.es

Resumen: La distinción entre las formaciones Nocedo, Fueyo y Ermita, de edad Devónico Superior, en el Sinclinal de Vega de Los Viejos (extremo suroccidental de la Zona Cantábrica) es un tema controvertido en la literatura geológica, en lo que se refiere tanto a la continuidad estratigráfica de la sucesión como a la asignación o no de centenares de metros a la última formación. En este trabajo se ha reconocido la discordancia basal de la Formación Ermita con criterios estratigráficos y estructurales. A nivel local dicho contacto muestra una laguna estratigráfica que involucraría parte del Frasniense y el Fameniense inferior, debido al hallazgo de braquiópodos como Atrypida indet y *Araratella* sp bajo y sobre la discordancia, respectivamente. La Formación Ermita tiene un espesor variable, generalmente menor de 20 metros, se organiza en una secuencia granodecreciente compuesta integrada por cuarciarenitas, areniscas calcáreas y calizas de diferentes texturas, incluidas calizas *grainstone* encriníticas culminantes, de edad Carbonífero inferior y también denominadas como Fm Baleas o Candamo. Ambos tipos de variaciones son debidos, al menos en parte, al paleorrelieve de la discontinuidad basal, representando paleovalles. El ángulo de discordancia se ha estimado en unos 3 grados a partir de un corte geológico restituido.

Palabras clave: Devónico Superior, Formación Ermita, discordancia angular, Zona Cantábrica.

Abstract: *The distinction amongst the Upper Devonian Nocedo, Fueyo and Ermita formations in the Vega de los Viejos Syncline (SW Cantabrian Zone) is controversial. Either the continuity of the stratigraphic record and the thickness of the Ermita Fm (a few metres vs several hundreds of metres) is a matter of debate. In this work, the basal unconformity of the Ermita Fm has been recognized by means of stratigraphic and structural data. In the area of study a time gap involving part of the Frasnian and early Famennian has been detected on the basis of the presence of the brachiopods Atrypida indet. and Araratella sp below and above the unconformity, respectively . The Ermita Fm displays a variable thickness, rarely exceeding 20 m, and is organized into a composite fining-upward sequence made up of quartzarenites, calcareous sandstones and limestones with variable textures, including an uppermost crinoidal grainstone of Early Carboniferous age, also named as Baleas or Candamo Fm. All these variations are at least partly explained by the geometry of the basal unconformity (incised valleys). Additionally, the retrodeformation of the syncline shows that the unconformity angle is about 3º.*

Keywords: *Upper Devonian, Ermita Fm, angular unconformity, Cantabrian Zone*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se sitúa en la Zona Cantábrica (Fig. 1), la parte más externa del Macizo Varisco Ibérico. El Devónico Superior de dicha zona está representado por las formaciones Nocedo, Fueyo y Ermita (Comte, 1959), aunque Fueyo solamente se ha reconocido claramente en el borde meridional de la misma. La Formación Ermita, de edad Fameniense Superior (ver García-Alcalde, 1996 y referencias allí contenidas), se dispone en discordancia angular de muy bajo ángulo, dando lugar a una geometría en cuña de la sucesión previa, la cual se adelgaza hacia el centro del arco astúrico, donde llega a faltar toda la sucesión pre-Ermita excepto el Cámbrico, mientras que en los extremos occidental y meridional de la Zona Cantábrica la sucesión paleozoica se considera prácticamente completa.

En el Sinclinal de Vega de Los Viejos, situado en el extremo SO de la Zona Cantábrica (Fig. 1), la diferenciación entre las tres formaciones es un tema controvertido. Mientras algunos autores las engloban en una unidad denominada Areniscas del Devónico Superior, arguyendo la dificultad de reconocer sus límites (Julivert *et al.*, 1968), otros (Bosch, 1969, Loevezijn, 1986) asignan a la Formación Ermita casi la mitad del espesor total del conjunto de areniscas del Devónico Superior. Todos ellos consideran que la sucesión es completa en el flanco oeste del sinclinal.

En este trabajo se ha reconocido la discordancia basal de la formación en ambos flancos, así como un paleorrelieve asociado a la misma. Las faunas de braquiópodos recogidas han permitido identificar tentativamente la laguna estratigráfica que conlleva dicha discordancia.

ESTRATIGRAFÍA

Se han estudiado cuatro secciones próximas entre si (VV1, VV2-E, VV2-C y VV2-O) en el flanco SO del sinclinal y una (PF1) en el flanco NE (Fig. 2). Estas secciones muestran una acusada variación lateral de facies y un espesor que oscila entre 3 y más de 18 m, debido a la geometría canaliforme de la discontinuidad basal, visible en el flanco

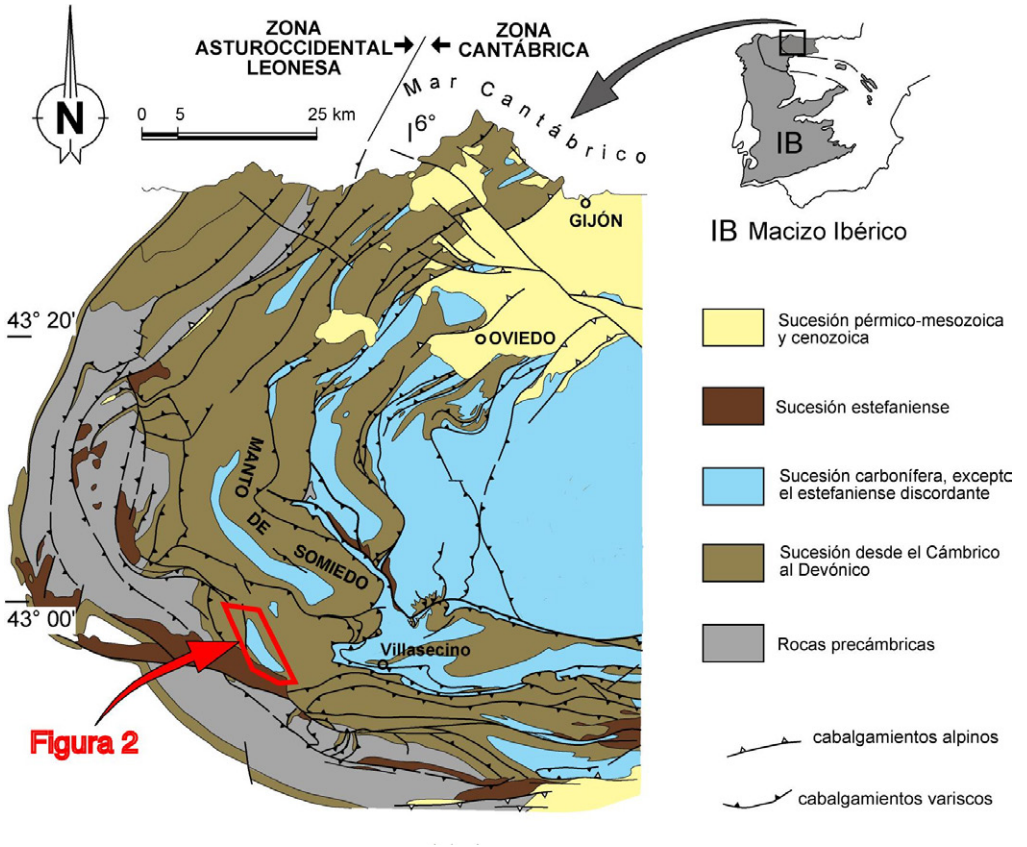


FIGURA 1. Esquema geológico del sector occidental de la Zona Cantábrica (tomado de Alonso *et al.*, 2015, modificado) mostrando la ubicación del Sinclinal de Vega de los Viejos (polígono rojo.

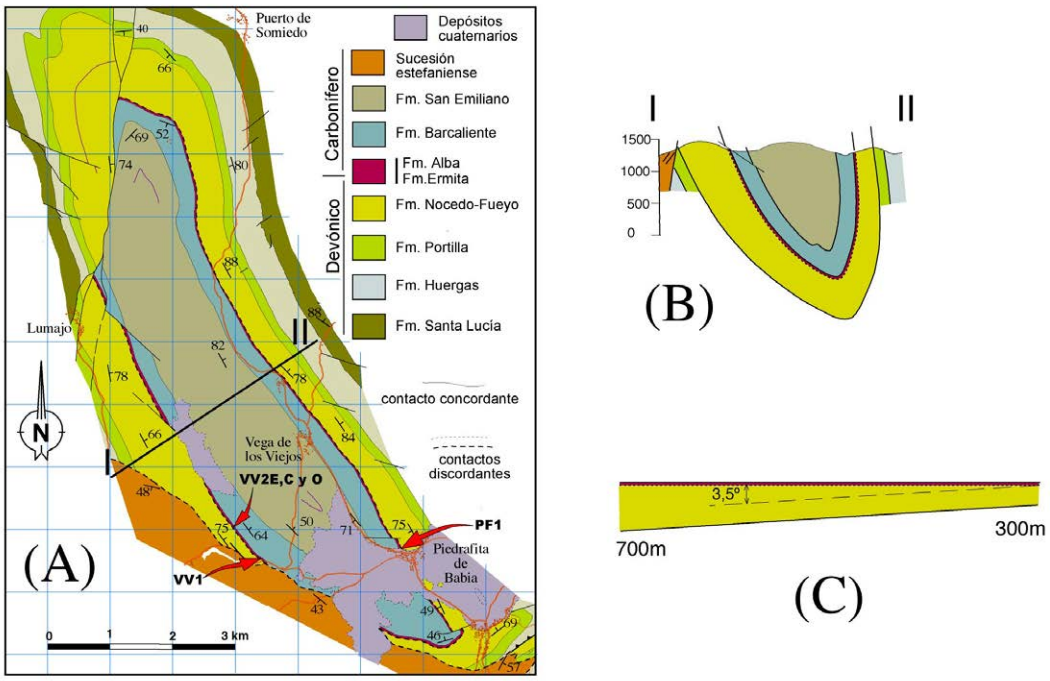


FIGURA 2. (A) Mapa geológico del Sinclinal de Vega de los Viejos (modificado de Alonso et al,. 2015). (B) Corte geológico, cuya traza se muestra en el mapa anterior. (C) Desplegamiento del sinclinal ilustrando la variación de espesor de las formaciones Nocedo y Fueyo a causa de la discordancia angular de la Formación Ermita. Las flechas rojas en el mapa señalan la ubicación de las secciones estratigráficas de la Figura 3

SO (Fig. 3). La discontinuidad está recubierta por clastos centimétricos de las cuarciarenitas blancas de la formación infrayacente con una matriz cuarzosa mal calibrada. En la sección VV1 tras 12 m cubiertos se extienden 6 m visibles de calizas *mudstone-wackestone* peloidales con biomoldes esféricos y ostrácodos, raros fragmentos de equinodermos, trilobites y braquiópodos, y alguna intercalación de areniscas calcáreas a calizas arenosas. En la sección VV2-O sobre un intervalo basal cubierto (0,8 m), afloran calizas bioclásticas *packstone-grainstone* con fragmentos de equinodermos, briozoos, braquiópodos y trilobites (2,1 m), cubiertas de modo erosivo por areniscas calcáreas/calizas arenosas laminadas (2,4 m), que finalmente dan paso a calizas *grainstone* de grano grueso (2,7 m) con fragmentos de equinodermos, y subordinadamente de briozoos, braquiópodos y trilobites, que se extienden hasta el contacto con la Fm Alba y son asimilables a la Fm Baleas o Candamo. Hacia la sección VV2-C, las calizas *packstone-grainstone* basales desaparecen en gran parte por onlap contra la discontinuidad basal (Fig 3), de modo que sobre un intervalo cubierto (0,8 m) se disponen las areniscas calcáreas/calizas arenosas laminadas (1,3 m) y, finalmente, las calizas *grainstone* de grano grueso (1,95 m), cuyo techo bajo la Fm Alba es un *hardground*. Por último, en la sección VV2-E únicamente ha podido constatarse el espesor de la sucesión (3 m) entre la discontinuidad basal y la base de la Fm. Alba. Ninguna de estas secciones del flanco SO del sinclinal ha librado fauna clasificable.

En la sección de Piedrafita de Babia (PF1, flanco NE del sinclinal; figs 2 y 3), las cuarciarenitas superiores de la Fm Nocedo son cortadas por una discontinuidad de geometría planar sobre la que se dispone un primer tramo (10,5 m) que comienza por areniscas ferruginosas con ooides ferruginosos y granos de cuarzo dispersos de tamaño arena muy gruesa, sigue con cuarciarenitas finas blancas a grises con estratificación cruzada y bioturbación y con fauna ocasional en su parte baja (muestra PF1-1P), y finaliza con alternancias de areniscas ferruginosas finas y lutitas. El segundo tramo (6 m) es una secuencia granodecreciente de base neta, con cuarciarenitas blancas de grano medio a grueso, conteniendo arenas muy gruesas a gravas finas en la base y fauna dispersa en el techo (muestra PF1-2P). El resto de la sucesión bajo la Fm Alba está tapado.

La muestra FP1-1P ha proporcionado un fragmento de molde interno, quizás dorsal (DPO 50175; Fig 4A), de morfología general próxima a la de un braquiópodo Atrypida Rzhonsnitskaia, 1960, lo que indicaría una edad pre-Fameniense, puesto que los Atrypida desaparecieron durante el evento Kellwasser (Eder *et al.*, 1977). Por su parte, la

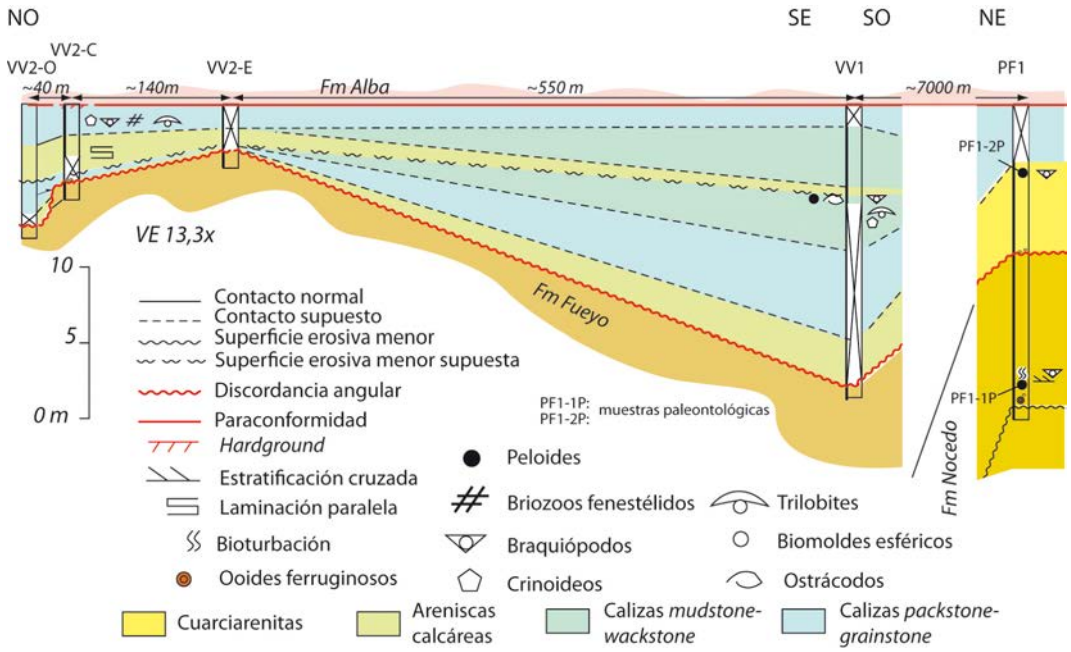


FIGURA 3. Panel de correlación de las distintas secciones medidas en los flancos SO (secciones VV1, VV2-E, VV2-C y VV2-O) y NE (sección PF1) del sinclinal de Vega de los Viejos. La distancia entre las secciones PF1 y VV1 ha sido restaurada palinspásticamente mediante un corte restituido. Nótese la exageración vertical del panel.

muestra PF1-2P proporcionó numerosos fragmentos de moldes de braquiópodos rinconélidos (DPO 50176-50179) que incluyen parte de dos moldes internos dorsales (DPO 50177-50178) y de otro externo dorsal (DPO 50179; Fig. 4B), atribuibles al género *Araratella*. *Araratella* es un género propio del Fameniense Superior y, quizás, del Carbonífero más bajo, ubicuo en el Devónico terminal de la región asturleonesa (Alonso *et al.*, 2008). De esta manera, su presencia en el corte demostraría la existencia de una laguna estratigráfica notable, comprendiendo, al menos, todo el Fameniense Inferior, lo que confirma la asignación de los tramos descritos a las Formaciones Nocedo y Ermita respectivamente.

El ángulo de discordancia de la Fm Ermita en el sinclinal de Vega de Los Viejos se ha determinado mediante el

desplegamiento de dicho sinclinal (Fig. 2 B y C). La profundidad que alcanza la charnela del sinclinal se ha estimado a partir de la inclinación del eje a lo largo de la línea de charnela. Las formaciones Nocedo y Fueyo suman unos 700 m de espesor en el extremo occidental del corte y en torno a 300 m en el oriental, donde falta el Fameniense Inferior (Fm Fueyo), lo que debe atribuirse a la discordancia de la Fm Ermita. Este adelgazamiento implica un ángulo de discordancia de unos 3,5º, menor que los 0,6º obtenidos en el Anticlinal de Villasecino (Alonso *et al.,* 2008) situado en la unidad tectónica infrayacente al Manto de Somiedo (Fig. 1)

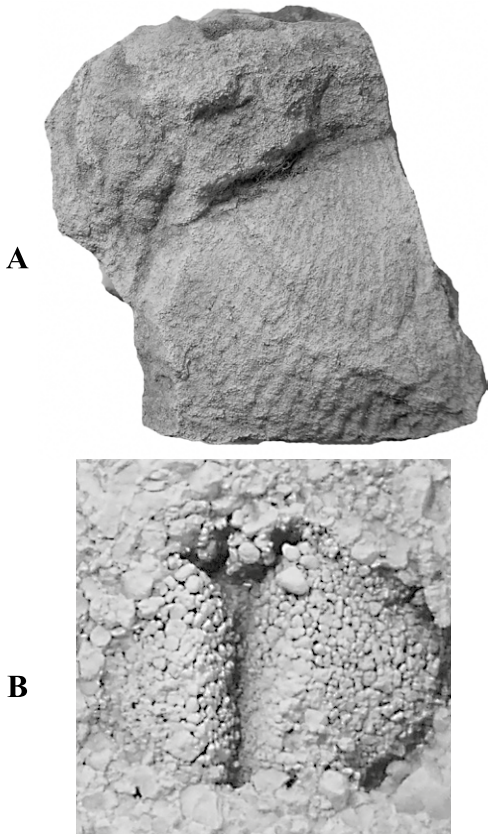


FIGURA 4. A) Fotografía del ejemplar de atrípido de la muestra PF1-1P (DPO 50175). B) Fotografía del ejemplar de Araratella de PF1-2P (DPO 50179). La barra horizontal mide 1 cm.

CONCLUSIONES

La sucesión estudiada presenta los rasgos de la Fm Ermita en su definición original (Comte, 1959; ver también García-Alcalde, 1996), en la que la formación se dispone sobre una discontinuidad basal y presenta una secuencia granodecreciente que permite separarla de las cuarciarenitas que en muchos puntos se encuentran bajo ella, como las que culminan la secuencia granocreciente del flanco SO del sinclinal. La sucesión de la Fm Ermita es delgada, discontinua y compleja, formada por una secuencia granodecreciente compuesta, integrada por cuarciarenitas, areniscas calcáreas a calizas arenosas y calizas con diversas texturas, incluidas las calizas *grainstone* encriníticas culminantes también denominadas fms Candamo y Baleas. La aparición de unas u otras litologías y las variaciones de espesor del conjunto se explican, al menos en parte, por su disposición sobre una superficie erosiva irregular, canaliforme, de relieve métrico a decamétrico, asimilable a paleovalles incididos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de los trabajos de campo y preparación del manuscrito al proyecto GRUPIN IDI/2018/000216.

REFERENCIAS

Alonso, J.L., García-Alcalde, J.L., Aramburu, C., García-Ramos, J.C., Suárez, A. y Martínez-Abad, I. (2008): Sobre la presencia de la Formación Naranco (Devónico Medio) en el Manto de Bodón (Zona Cantábrica): implicaciones paleogeográficas. *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, 28: 159–169.

Alonso, J.L., Marcos, A. Villa, E., Suárez, A., Merino-Tomé, O.A., y Fernández, L.P. (2015): Mélanges and other types of block-in-matrix formations in the Cantabrian Zone (Variscan Orogen, northwest Spain): origin and significance. *International Geology Review*, 57: 563–580.

Bosch, W.J. van den (1969): Geology of the Luna-Sil region, Cantabrian Mountains (NW Spain). *Leidse Geologische Mededelingen*, 44: 137–225.

Comte, P. (1959): *Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique*. Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, 60: 1–440.

Eder, W., Engel, W., Franke, W., Langensträssen, F., Walliser, O.H. y Witten, W. (1977): Überlick über die paläogeographische Entwicklung des östlichen Rheinischen Schieferfebirges. *Exk.- Führer Geotdagung ´77*, I, Exk. A, 2–11, Göttingen.

García-Alcalde, J.L. (1996): El Devónico del Dominio Astur-Leonés en la Zona Cantábrica (N de España). *Revista Española de Paleontología*, nº extraordinario, 58–71.

Loevezijn, G.B.S. van (1986): Stratigraphy and facies of the Nocedo, Fueyo and Ermita formations (Upper Devonian to lowermost Carboniferous) in Leon, N Spain. *Scripta Geologica*, 81: 1–116.

Rzhonsnitskaya, M.A. (1960): Order Atrypida. En: *Mshanki, Brakhiopody [Bryozoa, Brachiopoda], Osnovy Paleontologii vol. 7* (T.G. Sarytcheva, asst. ed., Y. A. Orlov, ed.), Akademia Nauk SSSR. Moscow, 257–264.

Estudio de procedencia de las areniscas carboníferas de la Unidad Poboleda (Cadena Costera Catalana).

Provenance analysis of the Poboleda Unit in central Priorat (Catalan Coastal Ranges).

A. Filella[1], G. Alías[1], J.D. Martín-Martín[1], D. Gomez-Gras[2] y S. Valenzuela[1]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. adrifilella@gmail.com, galias@ub.edu, juandiegomartin@ub.edu, sergiovalenzuela@ub.edu
2 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). david.gomez@uab.cat

Palabras clave: Paleozoico, Carbonífero, procedencia, Priorat.

Resumen

Se ha llevado a cabo un estudio estructural, estratigráfico y petrológico combinado con un análisis de procedencia de las areniscas carboníferas y los microconglomerados de la Unidad Poboleda, en el Priorat central (Cadena Costera Catalana). Los datos de campo indican que la Unidad de Poboleda se vio afectada por dos fases de deformación de edad Varisca (D1) y Alpina (D2), como ha sido descrito recientemente por Valenzuela *et al.* (2016). D1 se caracteriza por la formación de un sinclinal vertical de dirección NW-SE, mientras que D2 forma pliegues abiertos de dirección NE-SW. La Unidad Poboleda tiene un espesor de 200 m aprox. y muestra dos litofacies de arenisca en función de la composición detrítica QFL. La parte inferior de la Unidad Poboleda está representada principalmente por areniscas cuarzo-líticas y tiene una composición promedio $Q_{58}F_{11}L_{31}$. La parte superior de la Unidad muestra una marcada transición a areniscas cuarzo-líticas-feldespáticas con una composición promedio $Q_{52}F_{21}L_{27}$. Siguiendo las ideas propuestas por Garzanti (2019), el análisis de procedencia se ha basado preferentemente en la tipología de fragmentos líticos de las rocas estudiadas. El análisis petrográfico indica que la Unidad Poboleda tiene un alto contenido en fragmentos metamórficos en comparación con los ígneos y sedimentarios. La presencia de fragmentos de cuarcitas, gneis, lutitas, filitas, esquistos y rocas miloníticas de composición cuarcítica y cuarzo-feldespática son indicativos de áreas fuentes constituidas en gran medida por rocas típicas de metamorfismo regional y dinámico.

Los resultados muestran la importancia de los estudios petrográficos en el análisis de procedencia de sedimentos y en la caracterización de la paleogeografía de las áreas fuente. Esto es especialmente importante para aquellos casos como el Carbonífero de las Cadena Costera Catalana donde los afloramientos correspondientes al orógeno Varisco son muy limitados.

Abstract

A structural, stratigraphic and petrological study combined with provenance analysis have been carried out on the Carboniferous sandstones and microconglomerates of the Poboleda Unit in central Priorat (Catalan Coastal Ranges). Field data indicates that the Poboleda Unit was affected by two main deformation phases of Variscan (D1) and Alpine (D2) age, as previously suggested by Valenzuela et al. (2016). D1 is characterized by a NW-SE kilometric upright synclinal, whereas D2 forms NE-SW open folds. The Poboleda Unit is up 200 m thick and shows two sandstone lithofacies based on the detrital QFL composition. The lower part of the Poboleda Unit is mainly represented by quartz-lithic sandstones and have an average composition $Q_{58}F_{11}L_{31}$. The upper part of the Poboleda Unit shows a marked transition to quartz-lithic-feldspatic sandstones with an average composition $Q_{52}F_{21}L_{27}$. Following Garzanti (2019), the provenance analysis was preferentially based on the typology of lithic fragments of the studied rocks. Petrographic analysis indicate that the Poboleda Unit has high contents of metamorphic fragments compared to igneous and sedimentary. The presence of quartzites, gneiss, shales, phyllites, schists, and milonitic rocks of quarzitic and quartz-feldspar composition are indicative of a source area constituted of abundant regional and dynamic metamorphic rocks.

Results highlight how important petrographic studies are for the provenance analysis of sediments and for inferring the paleogeography of source areas. This is especially important for those case studies like the Carboniferous of the Catalan Coastal Ranges where the exposures of the Variscan fold and thrust belt are very limited.

Referencias

Garzanti (2019). *Earth Sciences Review*, 192, 545-563.

Valenzuela, S., Alías, G., Casas, J.M. (2016). *Geotemas*, 16, 109-112.

Análisis secuencial en el Barremiense superior-Aptiense de la subcuenca de Oliete (Cretácico Inferior, Cuenca del Maestrazgo).

Sequence analysis of the upper Barremian-Aptian of the Oliete sub-basin (Lower Cretaceous, northern Maestrazgo Basin).

Á. García-Penas[1], M. Aurell[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. alvarogpenas@gmail.com. maurell@unizar.es

Palabras clave: Iberia, sequence stratigraphy, extensional tectonics, shallow marine.

Resumen

Se presenta el análisis secuencial y de facies de las formaciones Alacón, Forcall y Oliete, que conforman el registro marino del intervalo Barremiense superior-Aptiense en la subcuenca de Oliete (Cuenca del Maestrazgo). El estudio y correlación de diez perfiles levantados capa a capa ha permitido identificar tres grandes ciclos transgresivo-regresivos de tercer orden con espesores medios comprendidos entre 30 y 100 m, limitados por importantes discontinuidades sedimentarias, con exposición subaérea local, caracterizadas por abundante bioturbación e incrustación, perforaciones, glauconita, costras de óxidos, o karstificación. Estos ciclos están a su vez integrados por secuencias elementales de espesor métrico, limitadas por superficies de discontinuidad/exposición de menor magnitud y saltos bruscos en la evolución de las facies. Las facies predominantes son bioclásticas con contenido variable de fango carbonatado (packstones-wackestones) y abundantes restos de fósiles bentónicos (ostreidos, orbitolínidos, bivalvos, gasterópodos, equinodermos, crustáceos), indicativos de medios marinos someros protegidos. En torno a los picos transgresivos de las secuencias pueden aparecer margas de ambientes marinos abiertos, mientras que los intervalos regresivos pueden venir marcados por la presencia de niveles de paleosuelos. El análisis secuencial ha permitido establecer con precisión la evolución vertical y lateral de las facies, y así reconstruir la evolución paleogeográfica de la subcuenca de Oliete para el intervalo estudiado, ligada a la tectónica extensional del *rifting* Ibérico y a las variaciones del nivel del mar.

Abstract

Sequence and facies analyses have been carried out on the Alacón, Forcall and Oliete formations, which constitute the upper Barremian-Aptian marine record of the Oliete sub-basin (Maestrazgo Basin). The study and correlation of ten detailed stratigraphic logs has led to the identification of three third-order transgressive-regressive cycles with thicknesses of 30-100 m, limited by discontinuity surfaces linked to low sedimentation rates and/or subaerial exposure. These discontinuities are commonly associated to bioturbation and incrustation, borings, glauconite, oxide crusts, karstification. These cycles are in turn integrated by meter-scale elemental sequences limited by abrupt facies changes and surfaces of interruption of sedimentation/subaerial exposition of lesser magnitude. Most of the studied interval is dominated by bioclastic wackestone-packstones with abundant debris of benthic fossils (ostreids, orbitolinids, bivalves, gastropods, echinoderms, chrustaceans), indicative of shallow marine protected environments. Marly dominated intervals deposited in open marine environments also occur locally around the transgressive peaks of the cycles. Regressive intervals can be associated occasionally with emersion and the development of paleosols. The sequential analysis has allowed to accurately establish the vertical and lateral facies evolution, and so reconstruct the paleogeographical evolution of the Oliete sub-basin during the studied time interval, which was controlled by extensional tectonics linked to the Iberian Rift development and sea level variations.

Sedimentología y arquitectura sedimentaria de la Formación Hawaz. El paradigma del uniformismo contra las cuerdas en un caso de estudio del Ordovícico Medio.

Sedimentology and sedimentary architecture of the Hawaz Formation. The uniformitarian paradigm on the ropes; a Middle Ordovician case study.

M. Gil-Ortiz[1,3], P. Cabello[2,3], N. D. McDougall[4], M. Marzo[2,3], E. Ramos[2]

1 Repsol Exploración S. A. c/Méndez Álvaro, 44, 28045 (Madrid) amarquitus@gmail.com
2 Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona, c/Martí i Franquès s/n, 08028 (Barcelona) pcabello@ub.edu, mariano.marzo@ub.edu, emilio.ramos@ub.edu
3 Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona, c/Martí i Franquès s/n, 08028 (Barcelona)
4 Consultant Sedimentologist (Madrid) neil85mcdougall@gmail.com

Palabras clave: Actualismo, Paleozoico, marino somero, Cuenca de Murzuq, estratigrafía secuencial

Resumen

La Formación Hawaz constituye un excelente reservorio de hidrocarburos en la Cuenca de Murzuq (SO Libia). La morfología de las trampas en forma de paleoaltos aislados y rodeados por valles glaciares del Ordovícico Superior, hacen que un análisis sedimentológico detallado y una correlación estratigráfico secuencial entre dichos paleoaltos, sean necesarios para evaluar la continuidad lateral del reservorio.

En este estudio se ha llevado a cabo una caracterización sedimentológica de estos depósitos en el subsuelo de la Cuenca de Murzuq por mediación de datos de testigo, diagrafías convencionales y de imagen, de 35 pozos diferentes. Se han identificado hasta 15 litofacies en un primer estadio descriptivo, que han sido agrupadas posteriormente en siete asociaciones de facies correlacionables entre pozos, correspondientes a un ambiente marino somero y marginal. Tras la interpretación de estas asociaciones de facies, se ha llevado a cabo un análisis de estratigrafía secuencial con el objetivo de caracterizar cinturones de facies a lo largo del área de estudio por mediación de paneles de correlación de alta resolución entre pozos.

Después de realizar la descripción e interpretación sedimentológica y las correlaciones regionales de la Formación Hawaz, se propone un modelo sedimentario no actualístico donde se discute el efecto de los factores de control clave para justificar la complicada comparación de estos depósitos con ningún análogo actual.

Abstract

The Hawaz Formation is an excellent hydrocarbon reservoir in the Murzuq Basin (SW Libya). It typically occurs as isolated paleohighs or "buried hills", surrounded by Upper Ordovician glacial valley fill, and requires a detailed sedimentological analysis as well as a high resolution sequence stratigraphic correlation between paleohighs, in order to evaluate the lateral continuity and character of this reservoir.

To address these issues a sedimentological characterization of these deposits was carried out in the subsurface of the Murzuq Basin using core, wireline and image log data from 35 different wells. Up to 15 lithofacies were identified in a first purely descriptive stage. Subsequently, these were grouped into seven correlatable facies associations, corresponding to a marginal to shallow marine depositional environment. Following the interpretation of these facies associations, a sequence stratigraphic analysis was carried-out with the aim of distinguishing facies belts across the study area by means of high resolution correlation panels.

On the basis of both facies analysis and regional correlations a non-actualistic sedimentary model is proposed and the key factors distinguishing this model from any modern analogue highlighted and discussed.

Redes de estilolitos: controles geométricos de facies sedimentarias y sus efectos en la permeabilidad y diagénesis de carbonatos.

Stylolite networks: geometrical controls exerted by sedimentary facies and their effects on carbonate rock permeability and diagenesis.

E. Gomez-Rivas[1], J.D. Martín-Martín[1], E. Humphrey[2], P.D. Bons[3], J. Neilson[2], A. Griera[4], A. Travé[1] and D. Koehn[5]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona. e.gomez-rivas@ub.edu, juandiegomartin@ub.edu, atrave@ub.edu
2 School of Geosciences, University of Aberdeen AB24 3UE Aberdeen. e.humphrey@abdn.ac.uk, j.neilson@abdn.ac.uk
3 Department of Geosciences, University of Tübingen, Wilhelmstr. 56 72074 Tübingen. paul.bons@uni-tuebingen.de
4 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona 08193 Cerdanyola del Vallès. albert.griera@uab.cat
5 GeoZentrum Nordbayern, University of Erlangen-Nuremberg, Schlossgarten 5 91054 Erlangen. daniel.koehn@fau.de

Palabras clave: estilolitos, presión-disolución, facies sedimentarias, permeabilidad, diagénesis.

Resumen

Los estilolitos paralelos a la estratificación son superficies rugosas formadas por procesos de presión-disolución durante el enterramiento progresivo de sedimentos. Mediante el análisis de carbonatos aptienses-albienses del área de Benicàssim (Cuenca del Maestrazgo), esta contribución presenta: (i) un análisis cuantitativo de cómo litofacies típicas de carbonatos marinos someros controlan el tipo, geometría y distribución estadística de redes de estilolitos, y (ii) un estudio de los efectos de estas estructuras cuando actúan como barreras y/o conductos de fluidos que producen otros procesos diagenéticos.

La mayoría de estilolitos en esta zona son de los tipos *suture and sharp-peak* y *wave-like* (*sensu* Koehn *et al.*, 2016). Los estilolitos en facies fango-soportadas presentan alta amplitud y suelen formar redes anastomosadas, mientras que las facies grano-soportadas contienen estilolitos poco conectados, con mayor espaciado y menor amplitud (Humphrey *et al.*, 2020). Los frentes de dolomitización coinciden con estilolitos, mostrando que estas estructuras actuaron como barreras de fluidos dolomitizantes. Algunos estilolitos se abrieron posteriormente permitiendo la circulación de fluidos que causaron disolución y cementación de dolomita barroca y calcita de alta temperatura (Martín-Martín *et al.*, 2018).

Abstract

Bedding-parallel stylolites are rough surfaces that form by pressure solution during progressive sediment burial. Through the analysis of Aptian-Albian shallow-marine carbonates of the Benicàssim area (Maestrat Basin), this contribution presents (i) a quantitative analysis of how typical shallow-marine lithofacies control the type, geometry and statistical distribution of bedding-parallel stylolite networks, and (ii) a study of how such structures can act as barriers and/or conduits for other diagenetic fluids.

Most stylolites in the study area are of the suture-and-sharp peak and wave-like types (sensu Koehn et al., 2016). Stylolites in muddy facies tend form anastomosing networks with high amplitudes, while grainy facies contain less connected stylolites with larger spacing and low amplitudes (Humphrey et al., 2020). Stylolites coincide with dolomitization fronts, revealing that such structures acted as barriers for hydrothermal dolomitizing fluids. Some stylolites were opened later and underwent dissolution and cementation by saddle dolomite and high-temperature calcite (Martín-Martín et al., 2018).

Referencias

Humphrey, E., Gomez-Rivas, E., Neilson, J., Martín-Martín, J.D., Healy, D., Yao S., y Bons, P.D. (2020). *Marine and Petroleum Geology* 114, 104203.

Koehn, D., Pataki-Rood, M., Beaudoin, N., Chung, P., Bons, P.D., y Gomez-Rivas, E. (2016). *Sedimentary Geology* 346, 60–71.

Martín-Martín, J.D., Gomez-Rivas, E., Gómez-Gras, D., Travé, A., Ameneiro, R., Koehn, D., y Bons, P.D. (2018). *Geological Society of London Special Publication* 459, 157-176.

Dolomías de reemplazamiento de escala sísmica en los carbonatos del Jurásico Superior en la Serra d'Espareguera (Cuenca del Maestrat).

Seismic-scale replacive dolostone geobodies in the Upper Jurassic platform carbonates of the Serra d'Espareguera (Maestrat Basin).

E. Humphrey[1], J.D. Martín-Martín[2], E. Gomez-Rivas[2], J. Neilson[1], R. Salas[2] y J. Guimerà[3].

1 School of Geosciences, King's College, University of Aberdeen, AB24 3UE Aberdeen, UK. e.humphrey@abdn.ac.uk, j.neilson@abdn.ac.uk
2 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. juandiegomartin@ub.edu, e.gomez-rivas@ub.edu, ramonsalas@ub.edu
3 Dpt. de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. joan.guimera@ub.edu

Palabras clave: dolomías, calizas, Jurásico, reemplazamiento, Cuenca del Maestrat.

Resumen

Las dolomías de reemplazamiento son abundantes en la Cuenca del Maestrat (Cordillera Ibérica), siendo las más importantes por volumen aquellas que reemplazan las calizas del Jurásico Superior (Nadal, 2001) y del Cretácico Inferior (Martín-Martín *et al.*, 2015). Este trabajo presenta la caracterización de un nuevo ejemplo de dolomías asociadas a fracturas que afectan a la serie jurásica en la Serra d'Espareguera (subcuenca de la Salzadella, Castelló de la Plana) y que focaliza en el estudio de: (i) la distribución superficial y estratigráfica de la dolomitización, (ii) su petrografía y geoquímica, y (iii) el análisis de los controles deposicionales, diagenéticos y estructurales de la dolomitización.

Los resultados muestran que las dolomías jurásicas de Serra d'Espareguera afloran en una extensión aproximada de 10 km^2 y aparecen con morfologías que varían entre estratiformes a masivas cuando se localizan cerca de fallas o fracturas. El reemplazamiento afecta a un tramo estratigráfico de 175 m aproximadamente que comprende las calizas micríticas de la formación Polpís y las calizas oncolíticas de la formación Bovalar.

Abstract

Replacive dolostones are abundant in the Maestrat Basin (Iberian Chain), being the most important in volume those replacing Upper Jurassic (Nadal, 2001) and Lower Cretaceous limestones (Martín-Martín et al., 2015). This contribution presents the characterization of a new case study of fault-associated dolostones replacing the Jurassic carbonate succession of Serra d'Espareguera (Salzadella sub-basin, Castelló de la Plana), specifically focusing on the study of: (i) the areal and stratigraphic extent of the dolostones, (ii) their petrology and geochemistry, and (iii) the depositional, diagenetic and structural controls on dolomitzation.

Results show that the Jurassic dolostones of Serra d'Espareguera crop out in an approximate extent of 10 km^2, and appear as numerous dolostone bodies with morphologies ranging from stratabound to massive patches next to faults and fractures. The replacement affects a stratigraphic interval of 175 m that includes the top of the micritic limestones of the Polpís Fm and dominantly the oncolitic limestones of the Bovalar Fm, suggesting that the increase in depositional heterogeneities towards the latter partially controls the dolomitization.

Referencias

Martín-Martínn, J.D., Travé, A., Gomez-Rivas, E., Salas, R., Sizun, J.P., Vergés, J., Corbella, M., Stafford, S.L. y Alfonso, P. (2015). *Marine and Petroleum Geology*, 65, 83-102.

Nadal, J. (2001). *Estudi de la dolomitització del Juràssic superior-Cretaci inferior de la Cadena Ibèrica oriental y la Cadena Costanera Catalana: relació amb la segona etapa de rift mesozoica*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 445 pp

Evidencias petrológicas y geoquímicas de hidrotermalismo sinsedimentario cretácico en un margen continental hiperextendido (Depresión Intermedia, Cuenca Vasco Cantábrica oriental).

Petrological and geochemical evidence of synsedimentary Cretaceous hydrothermalism in a hyperextended continental margin (Central Depresión, eastern Basque Cantabrian Basin).

E. Iriarte[1*], M. A. López-Horgue[2], A. Aranburu[3], A. Ceriani[3], A. Bodego[2] y M. Ladron de Guevara[2]

1 Laboratorio de Evolución Humana, Dpto. de Historia, Geografía y Comunicación, Universidad de Burgos, 09001 Burgos.eiriarte@ubu.es
2 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bº Sarriena, s/n, 48940 2 Leioa, Bizkaia. mikel.lopezhorgue@ehu.eus; martensldg@gmail.com; arantxa.bodego@ehu.eus
3 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bº Sarriena, s/n, 48940 2 Leioa, Bizkaia. arantza.aranburu@ehu.eus
4 Department of Earth Sciences, Khalifa University, P.O. Box 127788, Abu Dhabi, UAE. andrea.ceriani@ku.ac.ae

Palabras clave: hidrotermalismo, inclusiones fluidas, margen hiperextendido, Cretácico, Cuenca Vasco Cantábrica.

Resumen

La caracterización estratigráfica, sedimentológica y tectosedimentaria de los materiales cretácicos (Aptiense a Coniaciense) de la Depresión Intermedia (Lamare, 1936), condujo a la identificación de una sedimentación de plataforma carbonatada somera, seguida de una plataforma siliciclástica a carbonatada depositada de forma transgresiva en el margen sur del macizo paleozoico Bortziri-Cinco Villas (Bodego *et al.*, 2015). La evolución de los sistemas deposicionales fue controlada por 5 fases tectosedimentarias extensivas. Los estudios petrológicos y geoquímicos de los materiales sedimentarios del Albiense y Turoniense Superior muestran signos de alteración ligada a fluidos hidrotermales. Este hidrotermalismo podría ser consecuencia de la creación de un margen continental hiperextendido al sur del macizo paleozoico Bortziri-Cinco Villas (DeFelipe *et al.*, 2018).

Abstract

The stratigraphic, sedimentological and tectosedimentary characterization of the Cretaceous sediments (Aptian to Coniacian) of the Central Depression (Lamare, 1936), lead to the identification of a shallow carbonate platform deposits, followed by a mixed siliciclastic platform to basinal carbonate sediments deposited transgresivelly on the southern margin of the Bortziri-Cinco Villas Palaeozoic massif (Bodego et al., 2015). The evolution of those depositional systems was controlled by 5 extensional tectosedimentary phases. Petrological and geochemical studies of the Albian and Late Turonian sediments show diagenetic alteration features due to hydrothermal fluid-flow. This hydrothermalism features could be correlated to the onset of a hyperextended continental margin to the south of the Bortziri-Cinco Villas Palaeozoic massif (DeFelipe et al., 2018).

Referencias

Bodego, A., Iriarte, E., Agirrezabala, L.M., García-Mondéjar, J., López-Horgue, M.A. (2015). *Cretaceous Research* 55, 229–261.

DeFelipe, I., Pulgar, J.A., Pedreira, D. (2018). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 31 (2): 69-82.

Lamare, P. (1936). *Mémoires de la Société géologique de France*, nouv. sér., II-27.

Evidencias de hidrotermalismo diagenético en la formación Oiartzun (Cretácico Superior), margen NE de la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Diagenetic hydrothermalism evidences in the Oiartzun Fm. (Upper Cretaceous), NE margin of the Basque Cantabrian Basin.

M. Ladron de Guevara[1], A. Bodego[1], A. Aranburu[2], L. Damas-Mollá[3] y E. Iriarte[4].

1 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bº Sarriena, s/n, 48940 2 Leioa, Bizkaia. martensldg@gmail.com; arantxa.bodego@ehu.eus
2 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bº Sarriena, s/n, 48940 2 Leioa, Bizkaia. arantza.aranburu@ehu.eus
3 Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bº Sarriena, s/n, 48940 2 Leioa, Bizkaia. laura.damas@ehu.eus
4 Laboratorio de Evolución Humana, Dpto. de Historia, Geografía y Comunicación, Universidad de Burgos, 09001 Burgos.eiriarte@ubu.es

Palabras clave: diagénesis, alteración hidrotermal, Cretácico, tectónica salina, calizas rojas.

Resumen

El sistema deltaico (*braidplain*) del Albiense superior-Cenomaniense inferior de la Fm. Oiartzun se extiende a lo largo del límite NO del Macizo de Cinco Villas (margen NE de la Cuenca Vasco-Cantábrica). Entre los sedimentos terrígenos (frente deltaico) se intercalan materiales carbonatados marinos (plataforma somera), probablemente relacionados con la formación de pliegues anticlinales halocinéticos (Bodego *et al*, 2018a), los cuales presentan productos de alteración diagenética. El objetivo de este estudio es caracterizar e interpretar los procesos responsables de las modificaciones diagenéticas identificadas de la Fm. Oiartzun, en la zona de Txoritokieta (Donostia). Los distintos procesos diagenéticos y su evolución han sido definidos mediante relaciones de *cross-cutting* tanto a partir de observaciones en afloramiento como en lámina delgada (estudio petrológico, mediante tinciones, catodoluminiscencia y SEM), además de análisis geoquímicos y análisis estructural. La incorporación de hierro pigmentario, procesos de recristalización/neomorfismo de la matriz micrítica, varios sistemas de fracturación y precipitación de dolomita, o reemplazamientos minerales tanto silíceos como carbonatados, son algunos de los rasgos fruto de una posible actividad hidrotermal, en relación a episodios tectónicos extensivos (Bodego *et al,* 2018b).

Abstract

The upper Albian-lower Cenomanian braidplain delta system of the Oiartzun Formation expands alongside the NW Bortziriak Massif border (NE margin of the Basque Cantabrian Basin). Shallow marine carbonate patches are embedded between terrigenous delta-front sediments, probably linked to the halokinetic forced-fold anticlines developed during that time (Bodego et al, 2018a), which show altered diagenetic products. The objective of this study is to characterize and interpret the processes responsible for such diagenetic modifications from the Oiartzun Fm. in Txoritokieta area (Donostia). Diagenetic processes and their evolution have been defined based on cross-cutting relationships from both field outcrop and thin section observations (petrological study through staining, cathodoluminescence and SEM), as well as geochemistry and structural analysis. Pigmentary iron inflow, recrystallization/neomorphism of the micritic matrix, several fracture systems and either dolomite precipitation or mineral replacement (siliceous and carbonaceous), are some features resulting from possible hydrothermal activity in relation to extensive tectonic episodes (Bodego et al, 2018b).

Referencias

Bodego, A., Iriarte, E., López-Horgue, M. y Álvarez, I. (2018). *Marine and Petroleum Geology* 91, 667-682.

Bodego, A., Aramburu, A., Iriarte, E., López-Horgue, M. y Damas-Mollá, L. (2018). *Geogaceta* 64, 35-38.

La Unidad de Anhidrita Basal de la Cuenca Potásica Surpirenaica (Priaboniene, Sallent, Barcelona).

Basal Anhydrite Unit from Southpyrenean Potash Basin (Priabonian, Sallent, Barcelona).

M. López[1], E. Playà[1], L. Gibert[1],

1 Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona. marclopezrio@gmail.com, eplaya@ub.edu, lgibert@ub.edu

Palabras clave: Cuenca del Ebro, Evaporitas, Anhidrita, Priaboniense.

Resumen

Por vez primera se dispone de un registro completo de la Unidad de Anhidrita Basal del Priaboniense en el depocentro catalán en la Cuenca Potásica Surpirenaica; esta unidad se conocía por sondeos parciales y por su supuesta continuidad lateral en el margen de cuenca, aflorando como yesos secundarios (Rosell y Pueyo, 1997). Los 8 metros recuperados en el sondeo C83D, realizado en Súria por la empresa ICL Iberia (Iberpotash), han permitido realizar el estudio petrológico y geoquímico de esta unidad. Los resultados obtenidos contribuyen a refinar el modelo y ambiente sedimentario durante el episodio de precipitación evaporítica en el Priaboniense de la Cuenca del Ebro (López, 2019).

Se han diferenciado 5 litofacies, de muro a techo: laminada estromatolítica (F1), bandeada/laminada-micronodular (F2), pseudomorfos de selenitas centimétricos intersticiales (F3), masiva/nodular (F4) y laminada estromatolítica (F5). Ésta es una secuencia que resulta de la progresiva restricción y la disminución de la profundidad de la salmuera de la cuenca marina evaporítica, traduciéndose también en un empobrecimiento en isótopos pesados (O y S) hacia techo.

En base a las similitudes de facies entre el margen y el centro de la cuenca, se revela una continuidad estratigráfica entre los dos contextos, y se propone un modelo de rampa evaporítica durante la deposición del sulfato, con la posible influencia de fallas en el fondo de la cuenca que habrán inducido a diferencias de potencia dentro de la Unidad de Anhidrita Basal.

Abstract

For the first time a full record of the Priabonian Basal Anhydrite Unit from the Catalan depocenter of the South Pyrenean Potash Basin is available; this unit has only been known through partial cores and for its supposed lateral continuity in the basin margin outcropping as secondary gypsum (Rosell and Pueyo, 1997). The 8 meters retrieved in C83D drill hole, carried out by ICL Iberia (Iberpotash) company, have allowed to perform the petrological and geochemical study of the unit. The results obtained contribute to refine the model and sedimentary environment during the Priabonian evaporitic precipitation episode in the Ebro Basin (López, 2019).

Five lithofacies have been described, from base to top: stromatolithic laminated (F1), micronodular banded-laminated (F2), interstitial centimeter pseudomorphic selenites (F3), massive/nodular (F4), stromatolithic laminated (F5). This sequence results from the progressive restriction of the evaporitic marine basin and brine deep decrease. This is also registered as a depletion in heavy isotopes (O and S) towards the top of the unit.

Regarding the similarities between the margin and the center of the basin, a stratigraphic continuity of the two environments is revealed. Thus, suggesting an evaporitic ramp model during the deposition of the sulphates, along with a possible influence of faults at the bottom of the basin that would control thickness changes in the Basal Anhydrite Unit.

Referencias

López, M. (2019). *Estudi de l'Anhidrita Basal de la Conca Potàssica Catalana Sudpirinenca a la zona de Sallent*, Trabajo de Fin de Grado, Univ. de Barcelona, 47 p.

Rosell, L., Pueyo, J.J. (1997). En: *Sedimentary Deposition in Rift and Foreland Basins in France and Spain (Paleogene and Lower Neogene)* (G. Busson y C. Schreiber, Eds.). Columbia University Press, 358-387.

Evolución de las tasas de sedimentación a lo largo de una cuenca de antepaís y sus dominios tectonosedimentarios: Eoceno, Cuenca de antepaís surpirenaica (Tremp-Graus-Ainsa-Jaca).

Sedimentation rate evolution along a Foreland Basin System and its tectosedimentary domains: Eocene, South-Pyrenean Foreland Basin (Tremp-Graus-Ainsa-Jaca).

M. López-Blanco[1,2], M. Garcés[1,2], P. Arbués[1,2], L. Valero[3], A. Vinyoles[1,2], R. Silva-Casal[1,2], E. Beamud[2,4]

1 Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. m.lopezblanco@ub.edu.
2 Institut de Recerca Geomodels. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.
3 Department of Earth Sciences, University of Geneva, Rue des Maraichers 13, 1205 Genève
4 Paleomagnetic Laboratory CCiTUB-ICTJA CSIC, C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.

Palabras clave: Foreland basin, Eocene, Sedimentation rates, Pyrenees, Depozones.

Resumen

Recientes estudios magnetoestratigráficos de alta resolución (secciones de Yebra de Basa, Olsón y Planiello-Aguilar), junto con otros registros previamente publicados, han permitido realizar un estudio detallado de las tasas de sedimentación (SR) a lo largo de la cuenca de antepaís surpirenaica.

En este análisis se han reconocido tres tipos principales de depocentro: (a) un depocentro regional asociado a la flexión de la placa en la depozona de *foredeep*; (b) depocentros locales relacionados con el crecimiento de estructuras tectónicas en la depozona de *wedge-top*; y (c) un depocentro móvil, relacionado con la construcción de plataformas siliciclásticas, con diferentes situaciones asociadas con apilamientos progradacionales o retrogradacionales y episodios de estabilidad e inestabilidad en los taludes.

Nuestro estudio evidencia la ausencia de una correlación directa entre los valores de SR y la subdivisión clásica de las cuencas de antepaís en depozonas. Así, la progradación de plataformas siliciclásticas, en ocasiones, tiene un impacto en las SR mayor que la pertenencia a una depozona estructural específica. El crecimiento de estructuras tectónicas en la depozona de *wedge-top* y el apilamiento de unidades en el *hinterland* puede dar lugar a escenarios de SR más complejos de lo esperado.

Abstract

Recent high-resolution magnetostratigraphic studies (Yebra de Basa, Olsón and Planiello-Aguilar sections), together with other previously published logs have allowed a thorough assessment of the sedimentary rates (SR) along the South-Pyrenean foreland basin -.

From this analysis three main types of depocenter have been recognized: (a) a regional depocenter associated to the foredeep depozone; (b) local depocenters related with thrusting, folding and salt tectonics in the wedge-top depozone; and (c) a mobile depositional-dominated depocenter related to the clastic shelf building, with different situations associated with progradational or retrogradational stacking trends and graded and non-graded episodes.

Our study evidences a non-direct correlation between SR values and the classic depozone subdivision of foreland basins. We conclude that prograding clastic shelves often have an impact in SR greater than the location of the observation site in a specific structural depozone. Structure growth in the wedge-top and tectonic stacking in the hinterland can lead to more complex SR scenarios than expected.

El contaje de puntos como método de estimación de la cantidad de agua de las inclusiones fluidas en espeleotemas

Point counting as a method for estimating water amount in fluid inclusions of speleothems

M. Lopez-Elorza[1], M. B. Muñoz-García[1] y J. Martín-Chivelet[1,2]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. maialelo@ucm.es, mbmunoz@ucm.es y j.m.chivelet@geo.ucm.es
2 Instituto de Geociencias IGEO (CISC-UCM), C/ Severo Ochoa 7, 28040 Madrid.

Resumen: Las inclusiones fluidas albergan el agua que originó el crecimiento del mineral huésped, y su estudio proporciona información relevante sobre las condiciones de crecimiento del propio mineral. En el caso de los espeleotemas, las inclusiones fluidas primarias atrapan el agua de goteo que originó el crecimiento del espeleotema. Esta agua proviene del agua meteórica que se infiltró desde el epikarst hasta la cueva, lo que supone que las inclusiones fluidas albergan el agua fósil derivada de la que precipitó en los alrededores de la cueva durante el periodo de crecimiento del espeleotema. Estas inclusiones de agua presentan una estrecha relación genética con la fábrica calcítica, y su distribución o la cantidad de agua que contienen dependen de las condiciones de crecimiento del cristal colindante. Para poder analizar todo ello, en este trabajo presentamos un nuevo método de estimación de la cantidad de agua de las inclusiones fluidas de los espeleotemas basada en el contaje de puntos petrográfico. Esta técnica permite 1) caracterizar la fábrica de calcita; 2) determinar la relación espacial entre inclusión-calcita; y por último, 3) cuantificar la cantidad de agua y aire que contienen las inclusiones. La técnica pretende ser una herramienta de gran utilidad previa a los diferentes estudios geoquímicos que se llevan a cabo en las inclusiones fluidas de los espeleotemas.

Palabras clave: estalagmita, cueva, petrografía, fábrica calcítica, lámina petrográfica

Abstract: *Fluid inclusions host the formation water of the surrounding mineral, and their study provides relevant information about the growth conditions. In the case of speleothems, the primary fluid inclusions host the drip-water that fed the speleothems, which corresponds to the same meteoric water that went through from the epikarst to the cave. This means that primary fluid inclusions of the speleothems host the fossil water derived from the water that precipitated outside the cave during the growth periods of the speleothems. These water inclusions have a close relationship with the surrounding calcite fabric, and commonly their distribution or their water amount depend on the growth conditions of the surrounding calcite crystals. To analyse all these aspects, we present a new method based on the point counting. This technique allows us to 1) characterize the calcite fabric; 2) analyse the spatial relationship between fluid inclusions and calcite; and 3) calculate the water amount of fluid inclusions. The technique aims to be a helpful tool if used previously to the geochemical measurements based on the study of water fluid inclusions of speleothems.*

Keywords: *stalagmite, cave, petrography, calcite fabric, petrographic section*

INTRODUCCIÓN

Las inclusiones fluidas son pequeñas cavidades que albergan los fluidos que originaron el crecimiento de los cristales (Roedder, 1984). Estos huecos son muy comunes en la mayoría de los minerales y presentan tamaños muy diversos: desde 1-2 µm hasta dimensiones que superan los 0.5 mm. Las condiciones físico-químicas de atrapamiento de las inclusiones fluidas son tan variables como lo son las condiciones de formación y alteración de los distintos minerales. Si el atrapamiento de las inclusiones fluidas tiene lugar durante el crecimiento del mineral, se denominan inclusiones primarias (Goldstein, 2003) y, normalmente su análisis permite identificar las condiciones físico-químicas del crecimiento mineral. En cambio, si la formación de la inclusión fluida está relacionada con procesos post-deposicionales que afectan a los minerales ya formados (procesos de cementación o recristalización…), se conocen como inclusiones secundarias (Goldstein, 2003) y permiten obtener información sobre esos procesos específicos.

En el caso de los espeleotemas, las inclusiones primarias recogen el agua de goteo que originó el crecimiento del espeleotema (Fig. 1). Esta agua proviene del agua meteórica que recargaba el acuífero durante el periodo de crecimiento del espeleotema, y en ocasiones se utiliza como indicador de paleoprecipitaciones. (McDermott *et al.*, 2006). Por lo tanto, el estudio petrográfico de todas estas inclusiones, y el estudio geoquímico del agua que contienen, aportan información valiosa sobre las condiciones de

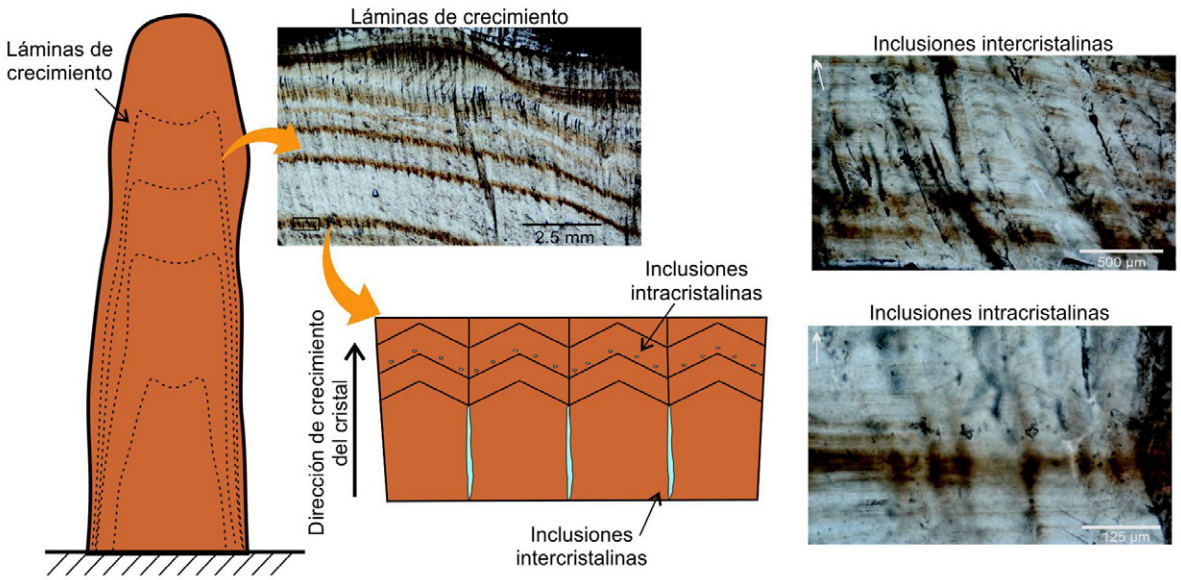


FIGURA 1: Inclusiones primarias, intercristalinas e intracristalinas, a lo largo de las láminas de crecimiento. Las fotografías corresponden a una estalagmita de la Cueva del Tortero, Valencia y las flechas de color blanco indican la dirección de crecimiento de los cristales.

crecimiento de los espeleotemas y sobre las características de las paleoprecipitaciones.

En la mayoría de los casos, las inclusiones que quedan atrapadas entre los cristales y cristalitos de calcita (inclusiones intercristalinas) suelen localizarse a lo largo de las láminas de crecimiento (Fig. 1). Estas láminas representan las fases de crecimiento del espeleotema y abarcan toda su superficie. Las inclusiones que se localizan en estas láminas presentan una morfología alargada, y normalmente su eje principal se posiciona en paralelo al eje de crecimiento de los cristales colindantes (Fig. 1). En otros casos, las inclusiones primarias pueden formarse dentro de los cristales y cristalitos de calcita (inclusiones intracristalinas) (Fig. 1). Estas inclusiones también pueden aparecer cerca de las láminas de crecimiento, pero son de menor tamaño y presentan morfologías algo más equidimensionales (Fig. 1). Como los anteriores, su eje principal se alinea en paralelo con el eje de crecimiento de los cristales de calcita (Fig. 1). En la mayoría de los casos, la tipología, la distribución y la cuantía de las inclusiones fluidas viene determinada por el tipo de fábrica calcítica que compone el espeleotema. Las fábricas abiertas (foto superior derecha en la fig. 1) acogen inclusiones tanto intercristalinas como intracristalinas, y normalmente albergan cantidades de agua más grandes. Por el contrario, las fábricas cerradas (foto inferior derecha en la fig. 1) solo albergan inclusiones intracristalinas, y generalmente aportan menos cantidad de agua.

Dado que siempre existe una estrecha relación entre el tipo de fábrica calcítica, el tipo de inclusión fluida y la cantidad de agua que albergan las inclusiones fluidas, todos estos parámetros deben analizarse de una manera conjunta y sistemática. Con ese propósito presentamos un nuevo método de estimación de la cantidad de agua de las inclusiones fluidas basada en el contaje de puntos petrográfico. Esta metodología también permite 1) caracterizar la fábrica de calcita; 2) diferenciar las inclusiones intracristalinas de las intercristalinas e 3) identificar las diferentes tipologías en cada una de ellas.

LA ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA MEDIANTE EL CONTAJE DE PUNTOS

El contaje de puntos es un método cuantitativo para determinar los constituyentes (mineral, inclusión fluida…) de una roca en un plano petrográfico 2D (Arribas, 2010). El número de puntos representa el volumen de este constituyente respecto al volumen total de la roca. Para la aplicación de la técnica se utiliza una platina graduada que permite el movimiento de la lámina petrográfica en un intervalo específico. El salto entre puntos se establece en función del tamaño del constituyente en estudio. En este caso se ha utilizado un salto de 0.5mm.

En nuestro caso, el contaje de puntos se utiliza para contabilizar todas las inclusiones de agua presentes en 0.25cm^2 de un mismo plano petrográfico 2D de un espeleotema. Antes de ello, es necesario realizar un estudio petrográfico de la muestra para definir las clases a las que se asignará cada inclusión fluida. Seguiremos la clasificación propuesta por Lopez-Elorza *et al.*, (2016), que distingue: 1) la relación temporal entre inclusión y calcita (primaria o secundaria), 2) la relación espacial entre inclusión y calcita (intercristalina o intracristalina) y 3) la morfología de la inclusión fluida. Con todo ello, identifican seis tipos de inclusiones fluidas en los espeleotemas, de los cuales cuatro son comunes en las estalagmitas (elongada, *thorn-shaped*, piriforme y *boudin-type*).

Una vez que las clases de las inclusiones fluidas que se utilizarán para el contaje están definidas, la morfología externa de cada una de ellas se compara con un polígono 2D (Fig. 2). Esta comparación nos permite calcular el área que abarca una inclusión fluida de una manera rápida y cuantitativa.

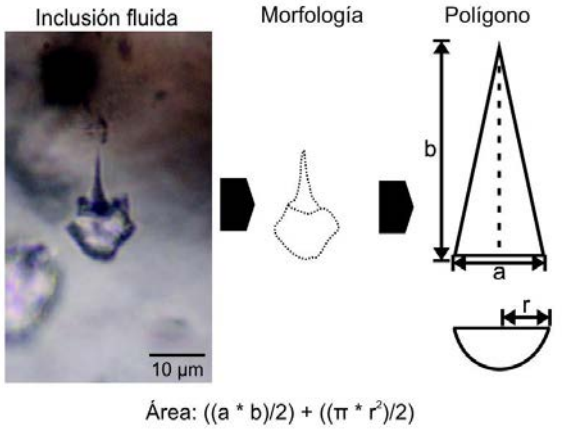


FIGURA 2: Para calcular el área que abarca una inclusión, su morfología se compara con un polígono. En este caso, la inclusión de tipo piriforme (Lopez-Elorza *et al.*, 2016), se compara con un semicírculo y con un triángulo isósceles.



FIGURA 3: Tamaños de referencia (grande y pequeño) para la tipología piriforme (Lopez-Elorza *et al.*, 2016). Si se encuentran tres inclusiones piriformes con tamaños como 3x1 µm, 4x1 µm o 5x2µm, todas ellas se agruparán en el tamaño "pequeño" y se asimilarán a las mismas dimensiones (4x2 µm) para el cálculo final de área. Las dos inclusiones corresponden a una estalagmita de la Cueva del Tortero, Valencia.

Dado que el tamaño de cada tipo de inclusión fluida puede variar dentro de la misma muestra, es preferible establecer varios tamaños de referencia (ejemplo de la figura 3). Estos tamaños representan los ejes de mayor y menor tamaño en cada tipología. Siguiendo el ejemplo de la figura 3, las inclusiones que presenten tamaños parecidos se agruparán en la misma categoría (pequeño o grande) y, para el cálculo final de área, todas ellas se asimilarán a las mismas dimensiones. Por lo tanto, el área que abarca cada tipo de inclusión se calcula sumando el área que abarcan todos los tamaños de referencia.

Después de cuantificar el área que abarca cada tipo de inclusión fluida, sumaremos el área de todos los tipos de inclusiones para calcular el área total que abarcan las inclusiones fluidas presentes en un mismo plano (Fig. 4).

Para el cálculo final del volumen de agua (µl/g) se asume que el área calculada es representativa del volumen de inclusiones fluidas y se tiene en cuenta la densidad del mineral (calcita = 2.7 g/cm^3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 5 muestra los resultados obtenidos en tres muestras con fábricas de calcita diferentes. La muestra que presenta fábrica abierta alberga un gran número de inclusiones, principalmente intercristalinas, y proporciona la mayor cantidad de agua (13 µl/g; Fig. 5), mientras que la muestra con fábrica cerrada atrapa pocas inclusiones, únicamente intracristalinas y, por lo tanto, proporciona menor cantidad de agua (0,2 µl/g; Fig. 5). La fábrica micrítica alberga más cantidad de inclusiones intracristalinas y más grandes que la fábrica cerrada, y en general presenta valores de agua intermedios (3 µl/g; Fig. 5). Todas las cantidades de agua calculadas por el contaje de puntos se asemejan a las obtenidas por otros métodos (Kluge *et al.*, 2008; Verheyden *et al.*, 2008), aunque en el caso de la fábrica abierta y micrítica pueden ser más elevadas que las publicadas por otros autores (Schwarcz *et al.*, 1976). En cualquier caso, este estudio previo es especialmente valioso para cualquier tipo de análisis microtermométrico o geoquímico posterior.

Estos estudios se basan en los análisis de isótopos estables (Verheyden *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2018) y gases nobles (Kluge *et al.*, 2008) del agua de las inclusiones. En todos estos estudios, las muestras de calcita (~1 cm^3) se trituran en una celda de machaqueo para poder liberar el agua que contienen. Posteriormente, el agua se transfiere a un espectrómetro de masas con la ayuda de un gas inerte. En la mayoría de los casos, la precisión de los resultados conseguidos y la fiabilidad de cada línea de extracción dependen de la cantidad de agua que se obtiene durante todo el procedimiento. Para

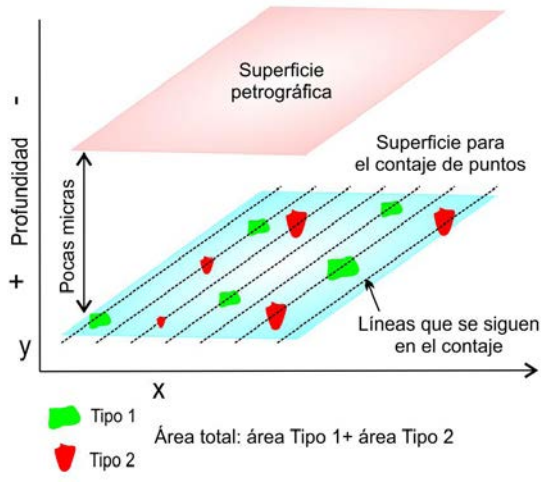


FIGURA 4: Representación esquemática del plano o superficie de contaje. Esta superficie se encuentra un poco alejada (unas pocas micas) de la superficie petrográfica de la lámina, para asegurar que las inclusiones fluidas de agua se mantienen intactas. El área total de las inclusiones fluidas de agua, es el cómputo total de las inclusiones de "Tipo 1" y las inclusiones de "Tipo 2".

evitar ambas incertidumbres es aconsejable estimar la cantidad de agua de las inclusiones fluidas mediante la metodología que proponemos en este trabajo, que es rápida y muy barata. Las cantidades de agua obtenidas mediante machaqueo suelen ser algo menores que las obtenidas mediante el contaje de puntos, especialmente en las fábricas abierta y micrítica (Lopez-Elorza, 2019). Esto puede deberse a la efectividad del proceso de machaqueo, pero también a la diferencia que hay entre una lámina petrográfica (que puede considerarse una muestra 2D) y la muestra 3D, el cubo de calcita, que se introduce en la celda de machaqueo.

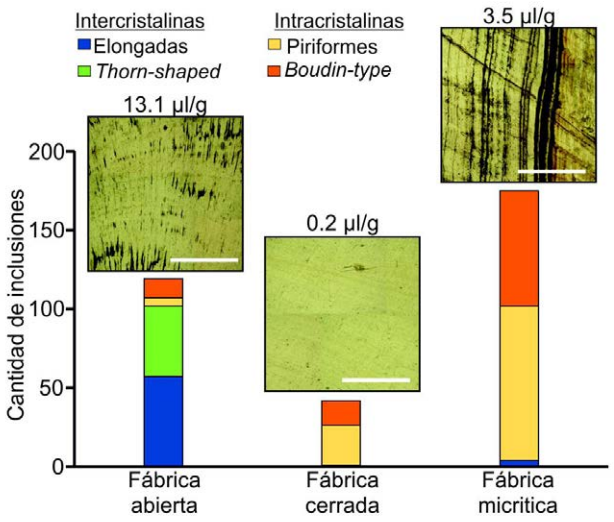


FIGURA 5: Cantidad de inclusiones fluidas, clasificadas por tipología (siguiendo la clasificación de Lopez-Elorza *et al.*, 2016), y cantidad de agua estimada para cada fábrica de calcita. La fábrica abierta contiene muchas inclusiones intercristalinas (10-100 µm) a lo largo de las láminas de crecimiento, mientras que la fábrica cerrada alberga inclusiones intracristalinas (< 10 µm). La fábrica de micrita atrapa muchas inclusiones intracristalinas (< 20 µm) entre las láminas (color negro en foto). La escala de color blanco representa 1.2 mm. Muestras de la Cueva del Tortero, Valencia.

CONCLUSIONES

El agua de las inclusiones fluidas aporta información muy valiosa sobre las condiciones físico-químicas de crecimiento del mineral huésped. En el caso específico de los espeleotemas, la cantidad de agua que albergan las inclusiones fluidas es un factor determinante para la obtención de resultados paleohidrológicos y paleotermométricos precisos. Para solucionar este problema, en este trabajo hemos presentado un método de estimación de agua (µl/g) de las inclusiones fluidas basada en el contaje de puntos. Los resultados muestran que la cantidad de agua de las inclusiones está totalmente condicionada por las características del propio mineral huésped, por lo que la técnica también es útil para 1) determinar las diferentes fábricas calcíticas que componen el espeleotema, 2) analizar la distribución de las inclusiones fluidas o 3) identificar los diferentes tipos de inclusiones fluidas presentes en una roca.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo es una contribución a los proyectos CGL2013-43257-R y CGL2017-83287-R (MINECO) y al Grupo de Investigación de 910198 de la UCM. Agradecemos a Policarp Garay y Ana Isabel Ortega su ayuda en los trabajos en la Cueva del Tortero, y a la Generalitat Valenciana las facilidades y permisos concedidos para poderlo realizar.

REFERENCIAS

Arribas, J. (2010): Análisis de la procedencia de depósitos arenosos. En: *Sedimentología. Del Proceso físico a la cuenca sedimentaria* (Arche, A., eds.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 397-440.

Goldstein, R. H. (2003): Chapter 2: Petrographic analysis of fluid inclusions. En: *Fluid Inclusions-analysis and Interpretation* (Samson, I., Anderson A., Marshall, D., eds.). Mineralogical Association of Canada, Short Couse Series, 9-53.

Johnston, V. E., Borsato, A., Frisia, S., Spötl, C., Dublyansky, Y., Töchterle, P., Hellstrom, J. C., Bajo, R., Edwards, R. L. y Cheng, H. (2018): Evidence of thermophilisation and elevation-dependent warming during the Last Interglacial in the Italian Alps. *Scientific Reports*, 8: 2680.

Kluge, T., Marx, T., Scholz, D., Niggemann, S., Mangini, A. y Aeschbach-Hertig, W. (2008): A new tool for palaeoclimate reconstruction: Noble gas temperatures from fluid inclusions in speleothems. *Earth and Planetary Science Letters*, 269: 408–415.

Lopez-Elorza, M. (2019): *Microestratigrafía de inclusiones fluidas en espeleotemas pleistocenos de la Cueva del Tortero y su uso en paleoclimatología*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense, Madrid. 225 p.

Lopez-Elorza, M., Muñoz-García, M. B., Gónzalez-Acebrón, L. y Martín-Chivelet J. (2016): Petrografía de inclusiones fluidas en espeleotemas: comparación con calcitas no espeleotémicas. *Geo-Temas*, 16: 625-628.

McDermott, F., Schwarcz, H. y Rowe, P. J. (2006): Isotope in speleothems. En: *Isotopes in in Palaeoenvironmental Research. Developments in Paleoenvironmental Research* (Leng M.J., eds.). Springer, Dordrecht, 185-225.

Roedder, E. (1984): Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy Vol. 12. *Mineralogy Society of America*, 664 pp.

Schwarcz H. P., Harmon R. S., Thompson P. y Ford D. C. (1976): Stable isotope studies of fluid inclusions in speleothems and their paleoclimatic significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40: 657-665.

Verheyden, S., Genty, D., Cattani, O. y van Breukelen, M. R. (2008): Water release patterns of heated speleothem calcite and hydrogen isotope composition of fluid inclusions. *Chemical Geology*, 247: 266-281.

Estilolitos en carbonatos de plataforma del Cretácico Inferior: efecto como barrera y conducto en la circulación de fluidos diagenéticos.

Stylolites in Lower Cretaceous shallow-marine dolomitized platform carbonates: their role as barriers and conduits for diagenetic fluids.

J.D. Martín-Martín[1], E. Gomez-Rivas[1], D. Gómez-Gras[2], A. Travé[1], D. Cruset[1], S. Yao[3], D. Koehn[4] y P.D. Bons[5]

1 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. juandiegomartin@ub.edu, e.gomez-rivas@ub.edu, atrave@ub.edu, d.cruset@ub.edu
2 Dpt. de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain. david.gomez@uab.cat
3 Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, 100083 Beijing, China. yaoshuqing15@163.com
4 GeoZentrum Nordbayern, University of Erlangen-Nuremberg, Schlossgarten 5 91054 Erlangen. daniel.koehn@fau.de
5 Dpt. of Geosciences, University of Tübingen, Wilhelmstr. 56 72074 Tübingen, Germany. paul.bons@uni-tuebingen.de

Palabras clave: estilolitos, dolomías, barrera, conducto, Cuenca del Maestrat.

Resumen

Los estilolitos y redes de estilolitos pueden jugar un papel importante en la evolución diagenética de rocas carbonatadas, hecho que ha suscitado un amplio debate durante los últimos años (Humphrey *et al.*, 2019). Esta presentación tiene como objetivo la discusión del papel que juegan los estilolitos paralelos a la estratificación en la formación y distribución de dolomías de reemplazamiento y posterior evolución diagenética de las calizas de la Formación Benassal (Cretácico Inferior) de la Cuenca del Maestrat (Cordillera Ibérica oriental).

Los resultados muestran que los estilolitos y las redes de estilolitos jugaron un papel fundamental en la formación de las dolomías y su posterior alteración hidrotermal. Durante el estadio de dolomitización (Cretácico medio), los estilolitos paralelos a la estratificación actuaron como barreras para los fluidos dolomitizantes y, por lo tanto, controlaron la componente lateral de circulación de fluidos y la distribución estratigráfica de las dolomías. Durante el estadio post-reemplazamiento (Cretácico Superior), algunos estilolitos actuaron como conductos de fluidos hidrotermales a sobrepresión que causaron corrosión y facilitaron la circulación posterior de fluidos mineralizantes. Como resultado aumentó la porosidad, y seguramente también la permeabilidad, asociada a estos estilolitos (Martín-Martín *et al.*, 2018).

Abstract

The role of stylolites and stylolite networks on fluid flow during the diagenetic evolution of carbonate rocks is controversial, according to recent heated debate in the literature (e.g., Humphrey et al., 2019). This contribution aims to discuss the role of bedding-parallel stylolites on the formation and distribution of replacive dolostones and subsequent diagenetic evolution of shallow-marine platform carbonates from the Lower Cretaceous Benassal Fm of the Maestrat Basin (E Iberian Chain).

The results show that stylolites and stylolite networks played an active role on the formation of dolostones and post-replacement hydrothermal alterations. During the dolomitization stage (middle Cretaceous), stylolites acted as baffles for Mg-rich fluids, which in turn controlled the lateral fluid flow component and resulted in a stratabound dolostone distribution. During the post-replacement stage (Late Cretaceous), some stylolites acted as preferred pathways for overpressured hydrothermal corrosive and subsequent mineralizing fluids, which resulted in the significant increase of the porosity, and most probably permeability, associated with bedding-parallel stylolites (Martín-Martín et al., 2018).

Referencias

Humphrey, E., Gomez-Rivas, E., Neilson, J., Martín-Martín, J.D., Healy, D., Yao S., y Bons, P.D. (2020). *Marine and Petroleum Geology* 114, 104203.

Martín-Martín, J.D., Gomez-Rivas, E., Gómez-Gras, D., Travé, A., Ameneiro, R., Koehn, D., y Bons, P.D. (2017). *Geological Society of London Special Publication* 459, 157-176.

Parasecuencias T-R de los depósitos costeros de las cuencas holocenas de Almenara-Nules y Benicasim (Castellón, España).

T-R parasequences of coastal deposits of the Holocene Almenara-Nules and Benicasim Basins (Castellón, Spain).

J.F. Mediato[1], J.I. Santisteban[2], B. del Moral[3], R. Mediavilla[1], C.J. Dabrio[2]

1 Departamento de Investigación en Recursos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. jf.mediato@igme.es ; r.mediavilla@igme.es
2 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. UCM, C/José Antonio Novais 12, 28040. Madrid. j.i.santisteban@geo.ucm.es; cristinodabrio@gmail.com
3 Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios. IGME C/ Calera 1 y 2. Tres Cantos 28760. Madrid. b.delmoral@igme.es

Palabras clave: Parasecuencias T-R, estratigrafía, Holoceno, nivel del mar, Castellón

Resumen

Los marjales de Almenara-Nules y Benicasim se sitúan en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica. El registro sedimentario de los depósitos costeros holocenos de las cuencas de Almenara-Nules y Benicasim, se ha separado en 6 parasecuencias transgresivas-regresivas (T-R) que se a su vez se han agrupado en dos cortejos sedimentarios. El inferior, en el que aparecen depósitos litorales, corresponde a un cortejo transgresivo (TST) y el superior, en el que domina la sedimentación lacustre, a un cortejo de nivel del mar alto (HST). Ambos cortejos están limitados por una superficie máxima inundación datada ca. 7.000 a. cal. BP. Las variaciones glacio-eustáticas controlaron la sedimentación hasta los 7 ka y a partir de entonces pasaron a dominar los factores locales comunes del Mediterráneo occidental, en especial las corrientes marinas superficiales gobernadas fundamentalmente por el clima.

Abstract

Almenara-Nules and Benicasim marshes are located on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula. The sedimentary record of the Holocene coastal deposits of the Almenara-Nules and Benicasim basins has been separated into 6 transgressive-regressive sequences (T-R). Parasequences have been grouped into two sedimentary system tracts. The lower, in which coastal deposits appear, corresponds to a transgressive system tract (TST) and the upper one, in which lake sedimentation dominates, to a high sea level system tract (HST). Both system tracts are limited by a maximum flood surface dating to ca. 7,000 cal. BP. Glacio-eustatic variations controlled sedimentation up to 7 ka and there after they dominated the common local factors of the western Mediterranean, especially surface sea currents governed primarily by climate.

Interpretación genética de tres estalagmitas de la Cueva de Don Juan (Valencia): aplicación del Análisis Arquitectural de Espeleotemas.

Genetic interpretation of three stalagmites from Don Juan Cave (Valencia): application of Speleothem Architectural Analysis.

A. Molero[1, 2], M. B. Muñoz-García[1], J. Martín-Chivelet[1, 2], M.J. Turrero[3]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. anmolero@ucm.es, j.m.chivelet@geo.ucm.es, mbmunoz@geo.ucm.es

2 Instituto de Geociencias (UCM-CSIC), C/Severo Ochoa 7, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

3 Unidad de Geología Ambiental, Dpto. de Medioambiente, CIEMAT, Av. Complutense 40, 28040 Madrid. mj.turrero@ciemat.es

Palabras clave: Espeleotema, Microestratigrafía, Método paleoclimático, Paleohidrología

Resumen

El potencial de las estalagmitas como registros paleoclimáticos radica en la posibilidad de obtener, a partir de ellas, series temporales de alta resolución de diferentes tipos de indicadores paleoclimáticos, basadas principalmente en isótopos estables y elementos traza. El estudio integrado de la microestratigrafía interna de las estalagmitas mejora la comprensión sobre los procesos asociados a su crecimiento y permite obtener información paleoclimática adicional. Martín-Chivelet *et al.* (2017) propusieron el Análisis Arquitectural de Espeleotemas como herramienta para analizar desde un punto de vista genético el crecimiento de los espeleotemas a distintas escalas temporales. Este método consiste en la identificación de distintos "elementos arquitecturales", que conforman unidades de diferente jerarquía y duración: unidades limitadas por discontinuidades (6º orden), unidades morfoestratigráficas (5º orden), *sets* de patrones de apilamiento (4º orden), fábricas espeleotémicas (3º orden), láminas de crecimiento (2º orden) y cristalitos (1º orden). En este trabajo se utiliza este método para analizar tres estalagmitas procedentes de la Cueva de Don Juan (Valencia), con el objetivo de obtener una reconstrucción detallada de las fases de crecimiento de cada espeleotema y analizar cambios en los condicionantes genéticos que las causaron a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos han permitido identificar intervalos con tendencias evolutivas de significado paleohidrológico.

Abstract

The potential of stalagmites as paleoclimate record resides in the possibility to obtain accurate time series of high resolution paleoclimate proxies, typically based in stable isotopes and trace elements. The integrated study of the internal microstratigraphy of stalagmites improves the understanding of the processes associated with their growth and allows to obtain additional paleoclimate information. Martín-Chivelet et al. (2017) proposed the "Speleothem Architectural Analysis" as a tool to interpret the stalagmites growth processes that take place at different time scales. This method consists of describing the stalagmites according to six hierarchical architectural elements: unconformity bounded units (6th order), morphostratigraphic units (5th order), stacking pattern sets (4th order), speleothem fabrics (3rd order), growth layers (2nd order) and crystallites (1st order). We used this method to analyse three stalagmites from Don Juan Cave (Valencia) in order to obtain a detailed reconstruction of the growth phases of each speleothem and to analyse changes in genetic factors over time. The results obtained have allowed us to identify intervals with evolutionary trends of paleohydrological significance.

Referencias

Martín-Chivelet, J., Muñoz-García, M.B., Cruz, J.A., Ortega, A.I. y Turrero, M.J. (2017). *Sedimentary Geology* 353, 28-45.

Emersión de una plataforma carbonatada aislada. Un ejemplo en el Prebético de Jaén (Hauteriviense-Barremiense, Zonas Externas Béticas).

Emersion of an isolated carbonate platform. An example from the Prebetic of Jaén (Hauterivian-Barremian, Betic External Zones).

J.M. Molina[1], C. Jiménez de Cisneros[2], L.M. Nieto[1], P.A. Ruiz Ortiz[1], J.M. Castro[1], G.A. de Gea[1] y M. Company[3]

1 Dpto. de Geología y Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente. Universidad de Jaén. 23071 Jaén. jmmolina@ujaen.es, lmnieto@ujaen.es, paruiz@ujaen.es, jmcastro@ujaen.es, gadegea@ujaen.es
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada. 18100 Armilla (Granada). cjimenezdecisneros@ugr.es
3 Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Universidad de Granada. 18071 Granada. mcompany@ugr.es

Palabras clave: Cretácico Inferior, Prebético de Jaén, sedimentos hemipelágicos, paleosuelos, isla

Resumen

Durante el Cretácico Inferior, en el Paleomargen Sudibérico se desarrollaron plataformas carbonatadas aisladas sobre bloques basculados delimitados por fallas lístricas; uno de los cuales está representado actualmente por la Sierra de Bedmar-Jódar (Prebético de Jaén). En estos afloramientos, el Valanginiense está caracterizado por una alternancia de caliza margosa y marga (Fm Los Villares). A techo de esta alternancia hay una superficie irregular sobre la que se dispone un nivel lutítico rojo (25 cm de potencia máxima) discontinuo lateralmente. Por encima de este nivel, aparecen areniscas asignadas a la base de la Fm Llopis que, por correlación, podrían atribuirse al Barremiense superior o al Aptiense inferior.

Se ha muestreado la parte superior de la Fm Los Villares y el nivel rojo para obtener datos geoquímicos y mineralógicos que puedan indicar cambios ambientales. En el nivel rojo se ha encontrado caolinita e illita, concentraciones elevadas de Fe, Al y Mn, y contenidos bajos en $CaCO_3$ y en Sr. El contenido en $\delta^{13}C$ varía entre -2 y -5 ‰ correspondiendo los valores más negativos al nivel rojo. Los resultados de $\delta^{18}O$ son muy negativos y oscilan entre -4 a -6 ‰. Los valores de TOC varían entre 0.2 y 0.5 % en peso. Los datos geoquímicos y de campo parecen indicar que se produjo una emersión y erosión de los materiales de la Fm los Villares, con desarrollo de incipientes lateritas. Estos procesos fueron consecuencia de una bajada relativa del nivel del mar controlada por un evento tectónico extensivo.

Abstract

During the Early Cretaceous, isolated carbonate platforms developed on tilted blocks bounded by listric faults in the Southern Iberian Palaeomargin. One of them corresponds to the present Sierra de Bedmar-Jódar (Prebetic of Jaén). The Valanginian of this unit is represented by a marly limestone-marl rhythmite (Los Villares Fm). The top of this formation is an irregular surface covered by a laterally discontinuous lutitic red bed (25 cm maximum thickness). Above this red level, there are sandstones assigned to the base of Llopis Fm, which, by correlation, could be dated as late Barremian or early Aptian

The uppermost part of the Los Villares Fm and the red level have been sampled to obtain geochemical and mineralogical data to investigate environmental changes. In the red level, there are kaolinite and illite, an enrichment in Fe, Al and Mn, and a reduction in the content of $CaCO_3$ and in the Sr with respect to Los Villares Fm. The values of $\delta^{13}C$ show variation from -2 ‰ in Los Villares Fm to close to -5 ‰ in the red level. The values of $\delta^{18}O$ shows range from -4 to -6 ‰. TOC values range between 0.2 to 0.5 %. Geochemical and field data seem to indicate that there was an emersion and erosion of the materials of the Los Villares Fm with development of incipient laterites. These processes were a consequence of a relative sea level fall linked to a tectonic extensional event.

Ambientes sedimentarios después de la ruptura de la plataforma carbonatada del Jurásico Inferior (Pliensbachiense-Toarciense, Subbético Externo, Zonas Externas Béticas).

Sedimentary environments after the break-up of a Lower Jurassic carbonate platform (Pliensbachian-Toarcian, Betic External Zones).

J.M. Molina[1] y L.M. Nieto[1]

1 Dpto. de Geología y Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente. Universidad de Jaén. 23071 Jaén. jmmolina@ujaen.es, lmnieto@ujaen.es

Palabras clave: Jurásico Inferior, Subbético Externo, fracturación de la plataforma, sedimentos hemipelágicos, provincias de Murcia y Granada

Resumen

Se estudian dos secciones estratigráficas de la Fm Zegrí (Pliensbachiense superior-Aaleniense) en el Subbético Externo (Zonas Externas Béticas) y su interpretación paleoambiental. Estas rocas se depositaron en el Paleomargen Sudibérico del Tethys occidental. Se han diferenciado cinco litofacies: 1) alternancia de calizas margosas y margas de color gris a amarillo; 2) margas oscuras; 3) calizas tableadas de color gris amarillento, localmente con sílex y slumps; 4) margas y calizas margosas grises; y 5) calcilimolitas y calcarenitas de color amarillo y marrón, que se encuentran intercaladas dentro de las facies 3 y 4. Las facies 1 a 4 son interpretadas como hemipelagitas. La facies 2 se depositó en condiciones de poco oxígeno en fondos marinos con aguas dysóxicas pero descartando condiciones completamente anóxicas. El Evento Anóxico del Toarciense (T-OAE) aparece registrado en esta facies 2 en la Zona de Serpentinum. La facies 5 son grainstone y packstone-wackestone con peloides, bioclastos, ooides y foraminíferos; localmente con estratificación cruzada de tipo hummocky, y se interpretan como depósitos de tempestitas y/o internalitas,

La distribución de facies estuvo controlada por la influencia de plataformas carbonatadas y áreas emergidas adyacentes, subsidencia diferencial por tectónica local, clima, acción de las corrientes, tasas de sedimentación, bioturbación y diagenesis. La evolución de la cuenca sedimentaria estuvo influida principalmente por la tectónica después de la ruptura de la plataforma carbonatada del Jurásico Inferior en el Pliensbachiense, junto con los cambios relativos del nivel del mar y el inicio del volcanismo basáltico submarino en áreas meridionales próximas.

Abstract

We study two sections of the Zegrí Fm (upper Pliensbachian-Aalenian) in the External Subbetic (Betic External Zones) and their palaeoenvironmental interpretation. These rocks were deposited in the South Iberian Paleomargin (Western Tethys). Five lithofacies are differentiated: 1) grey-yellow marl-marly limestone rhythmite; 2) dark marls; 3) thin bedded grey-yellow limestones, locally with chert and slumps; 4) grey marls and marly limestones; and 5) yellow-brown calcisiltites and calcarenites, intercalated in facies 3 and 4. Facies 1 to 4 are interpreted as hemipelagites. Facies 2 was deposited in rather depleted oxygen conditions with slightly dysoxic bottom waters but discarding completely anoxic conditions. The Toarcian Oceanic Anoxic Event (T-OAE) is recorded in this facies 2 at the Serpentinum Zone. Facies 5 are grainstone and packstone-wackestone with peloids, bioclasts, ooids and foraminifera. These facies 5, locally with hummocky cross stratification, are interpreted as tempestites and/or internalites.

The local facies distribution was controlled by the influence of adjacent emerged lands and carbonate platforms, differential subsidence, local tectonics, climate, sediment winnowing by currents, sedimentation rates, bioturbation, and diagenesis. The sedimentary basin evolution was mainly influenced by tectonics after the Pliensbachian break-up of the Lower Jurassic platform, together with relative sea-level changes and the beginning of basaltic submarine volcanism in some nearby southern areas.

Nuevas evidencias sobre la antigüedad del desierto del Sahara registradas en paleosuelos del Plioceno en Canarias.

New evidences on the Sahara Desert antiquity from Canary paleosols records.

D.R. Muhs[1], J. Meco [2], J.R. Budahn [1], G.L. Skipp [1], J.F. Betancort [2] y A. Lomoschitz [3*]

1 U.S. Geological Survey, Federal Center, Denver, Colorado 80225 USA. dmuhs@usgs.gov
2 Dpto. Biología (Paleontología), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017-Las Palmas de Gran Canaria, España. joaquinfrancisco.meco@ulpgc.es, juanbetancort@gmail.com,
3* Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Unidad Asociada ULPGC-CSIC, 35017-Las Palmas de Gran Canaria, España. alejandro.lomoschitz@ulpgc.es

Palabras clave: paleoclima, aridez, polvo sahariano, minerales arcillosos, Islas Canarias.

Resumen

El Sahara es el desierto cálido más grande de la Tierra, pero su edad ha sido objeto de discusión, con estimaciones que varían desde el Mioceno al Holoceno. Nuevos datos mineralógicos y geoquímicos indican que los paleosuelos del Plioceno al Pleistoceno medio de Fuerteventura y Gran Canaria (Islas Canarias) se han desarrollado en parte por entradas de polvo de Africa. Los paleosuelos contienen cuarzo y mica, minerales que son abundantes en el polvo africano, pero que son raros en las rocas basálticas que predominan en las Islas Canarias. Además, se han analizado elementos traza de baja movilidad (Sc, Cr, Hf, Th y Ta) así como tierras raras que indican que los paleosuelos tienen composiciones que son intermedias entre las de las rocas locales y el polvo proveniente de África. Por ello, los resultados obtenidos en nuestra reciente publicación, junto a otro trabajo reciente de otros autores, indica que en 9 paleosuelos ha quedado registrado el trasporte de polvo de África hacia las Islas Canarias en los intervalos de tiempo ~4,8-2,8 Ma, ~3,0-2,9 Ma, ~2,3-1,46 Ma y ~0,4 Ma. Los aportes de polvo africano durante largos intervalos de tiempo concuerdan con los registros de sedimentos marinos profundos fuera de la costa africana que implican que se incrementó el flujo de polvo hacia el Océano Atlántico hace ~4,6 Ma. Se concluye que el desierto del Sahara ha existido como región árida y fuente de polvo, al menos de manera intermitente, a lo largo de gran parte del Plioceno y continuó en el Pleistoceno.

Abstract

The Sahara is the largest warm desert in the world, but its age has been controversial, with estimates ranging from Miocene to Holocene. Mineralogical and geochemical data show that paleosols of Pliocene to mid-Pleistocene age on Fuerteventura and Gran Canaria in the Canary Islands have developed in part from inputs of dust from Africa. Paleosols contain quartz and mica, minerals that are abundant in African dust but are rare in the basaltic rocks that dominate the Canary Islands. Trace elements with minimal mobility, Sc, Cr, Hf, Th, and Ta as well as the rare earth elements show that paleosols have compositions that are intermediate between those of local rocks and African-derived dust. Thus, results reported here and in a recently published study by others indicate that 9 paleosols record delivery of African dust to the Canary Islands between ~4.8-2.8 Ma, ~3.0-2.9 Ma, ~2.3-1.46 Ma, and ~0.4 Ma. A long-term paleosol record of African dust input agrees with deep-sea records off the coast of western Africa that imply increased dust fluxes to the eastern Atlantic Ocean at ~4.6 Ma. It is concluded that the Sahara Desert has been in existence as an arid-region dust source, at least intermittently, for much of the Pliocene and continuing into the Pleistocene.

Referencias

Muhs, D.R., Meco, J., Budahn, J.R., Skipp, G.L., Betancort, J.F. and Lomoschitz, A. (2019).. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533,109245

Cicloestratigrafía del Grupo Enciso. Cuenca oriental de Cameros (N de España).

Cyclostratigraphy of the Enciso Group. Cameros Basin (N Spain).

A. Muñoz[1], A. Angulo[2], C. L. Liesa[1], Mª A. Luzón[1], Mª J. Mayayo[3], A. Pérez[1], A. R. Soria[1], V. Val[1] y A. Yuste[3]

1 Grupo de Investigación *Geotransfer*, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. armunoz@unizar.es, carluis@unizar.es, aluzon@unizar.es, anperez@unizar.es, anasoria@unizar.es, victorval17@gmail.com

2 IES Rey Don García, Carretera de Uruñuela, 2, 26300 Nájera, Spain. anaangulo@outlook.com

3 Grupo de Investigación Aragosaurus, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. mayayo@unizar.es, alfon@unizar.es

Palabras clave: Grupo Enciso, Cicloestratigrafía, análisis espectral, Cretácico Inferior, Cuenca de Cameros

Resumen

El Grupo Enciso (Cretácico Inferior) se localiza en la parte oriental de la Cuenca de Cameros. Está formado por areniscas, limolitas, margas y calizas organizadas en ciclos de diferente rango que han sido interpretados como de origen orbital (Angulo y Muñoz, 2013; Hernán, 2018; Muñoz *et al.*, en prensa). En los alrededores de Navalsaz (La Rioja) se ha levantado un perfil estratigráfico de 1.371 m donde se han medido valores de susceptibilidad magnética cada 50 cm y se han tomado muestras cada metro para la medida en laboratorio del contenido en carbonato y de parámetros de color (CIE L*a*b*).

Se han construido series de tiempo continuas cuantitativas de la susceptibilidad magnética, el contenido total de carbonato, la luminosidad (L*), y las coordenadas rojo/verde (a*) y amarillo/azul (b*). El análisis espectral de estas series de tiempo ha puesto de manifiesto la existencia de ciclos referibles a las frecuencias de Milankovitch de excentricidad, oblicuidad y precesión.

Abstract

The Enciso Group (Lower Cretaceous) is located in the eastern part of Cameros Basin. It is made up of sandstones, limolites, marls and limestones organized in different rank cycles which have been interpreted as orbitally-controlled cycles (Angulo and Muñoz, 2013; Hernán, 2018; Muñoz et al., in press). Magnetic susceptibility was measured every 50 cm in a 1,371 m-thick stratigraphic column made nearby of Navalsaz (La Rioja), and samples, spaced every meter, taken for carbonate content and colour parameter measurements (CIE L a* b*) in the laboratory.*

Continuous quantitative time series were built based on magnetic susceptibility values, total carbonate content, luminosity (L), as well as red/green (a*) and yellow/blue (b*) coordinates. The spectral analysis of such series reveals the existence of cycles that can be referred to eccentricity, obliquity and precession Milankovitch frequencies.*

Referencias

Angulo, A. y Muñoz, A. (2013). Análisis de la periodicidad climática de baja frecuencia registrada en los sedimentos lacustres del Grupo Enciso (Cretácico inferior de la Cuenca de Cameros, La Rioja). Aplicaciones a la correlación y datación de la serie. *Bol. Geol. y Minero de España* 124(2), 203-219.

Hernán, J. (2018). *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones con icnitas de dinosaurios del Grupo Enciso (Cameros, La Rioja, Aptiense)*. Tesis doctoral, Univ. Politécnica de Madrid, 521pp.

Muñoz, A., Angulo, A., Liesa, C.L., Luzón, A.A., Mayayo, M.J., Pérez, A., Soria, A.R., Val, V. y Yuste, A. (2020). Periodicidad climática y datación astrocronológica del Grupo Enciso en la cuenca oriental de Cameros (N de España). *Bol. Geol. y Minero de España*.

Middle-Upper Triassic successions in the eastern Iberian Chain (Alt Palància and Manzanera areas): Stratigraphic precisions.

Sucesiones del Triásico Medio-Superior en la Cadena Ibérica oriental (áreas de Alt Palància y Manzanera): Precisiones estratigráficas.

F. Ortí[1], J. Guimerà[2], C. Benedicto[3], y A. Pérez-López[4]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB) C/ Martí Franquès s/n, 08028 Barcelona. f.orti@ub.edu

2 Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Uni-versitat de Barcelona (UB). Martí i Franqués s.n., 08028 Barcelona. joan.guimera@ub.edu

3 Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG), 7557. El Castillo 83, bajo, 12429 El Toro (Castelló de la Plana). conbb2@gmail.com

4 Departamento de Estratigrafia y Paleontología, Facultad de Ciencias, Avda. Fuentenueva, 18071 Granada, Spain.

Abstract: *Cartographic, stratigraphic and structural studies in the Alt Palància and Manzanera areas indicate that the Middle-Upper Triassic successions entirely belong to the 'Mediterranean type of Triassic'. The two carbonate units of the Muschelkalk facies have carbonate-marl alternations both at the base and at the top. The palynological study of claystones and marls allows dating the Röt facies and the three Mus-chelkalk units. The isotopic study of gypsum samples allows distinguishing the middle Muschelkalk unit from the Keuper unit despite the facies similarity and tectonic disruption.*

Keywords: *Triassic. Stratigraphy. Palynology. Sulfate isotopy. Iberian Chain.*

Resumen: Los estudios cartográficos, estratigráficos y estructurales muestran que las sucesiones del Triásico Me-dio-Superior en las áreas de Alt Palància y Manzanera pertenecen en su totalidad al 'tipo Mediterráneo' de Triásico. Las dos unidades carbonatadas de la facies Muschelkalk presentan alternancias de margas y carbonatos en la base y en el techo. El estudio palinológico de la arcillas y margas permite datar la facies Röt y las tres unidades del Muschelkalk. El estudio isotópico de los yesos permite distinguir la unidad del Muschelkalk medio de la del Keuper, a pesar de la similitud de facies y la distorsión tectónica.

INTRODUCTION

In the 'Mediterranean type' of the Triassic Iberian basin, the evaporite units of the middle Muschelkalk and the Keuper facies are very similar, and difficulties arise to distinguish them when the stratigraphic successions have been affected by tectonism or diapirism. Difficulties also appear to differentiate be-tween the two carbonate Muschelkalk units in disrupted outcrops. In the eastern Iberian Chain, confu-sions concerning the middle Muschelkalk and the Keuper facies were documented by Boulouard and Viallard (1981) in the Serranía de Cuenca, and by Doubinger et al. (1990) in the Cuenca-to-Manzanera area. Regarding the carbonate Muschelkalk units, stratigraphic assignments of the units (López-Gómez et al., 1992) followed by re-assignments are recorded (Escudero-Mozo et al., 2015).

This paper provides new information on the Middle-Upper Triassic successions in specific areas of the eastern Iberian Chain, i.e. the Alt Palància (Castelló de la Plana province) and the Manzanera (Teruel province) areas, where these stratigraphic controversies remain. The Triassic outcrops in these areas (Fig. 1) were mapped at 1:10,000 scale and geological cross-sections were constructed. Twenty stratigraphic sections of the Middle-Upper Triassic succession were studied, whose results are summarized in Fig. 2. Samples were taken for petrographic studies, palynological dating, and isotopic determination of sulfates. The results concerning the Alt Palància area were taken from Ortí et al. (2020). A summary of new results obtained by us in the Manzanera area (Benedicto et al., in prep.) are included in this paper.

CARTOGRAPHIC RESULTS

In the Alt Palància area, the major Espina-Espadà Fault separates a southwestern Triassic domain char-acterized by block faulting (Andilla-Bejís, Almarja, Torás, and Caudiel outcrops) from a northeastern one (Montán outcrop) characterized by thrusting and folding. In a large portion of the southern domain (Almarja and Torás outcrops, and a large portion of the Andilla-Bejís outcrop) the Middle-Upper Triassic succession is found variably eroded, and angular unconformities occur between the Triassic rocks and the overlying Mesozoic rocks (Jurassic carbonates of different ages, or siliciclastics of the Lower Cretaceous). In the Caudiel outcrop and also in the Montán outcrop, only an unconformable contact between the Imón Fm. and the Lower Jurassic carbonates (Cortes de Tajuña Fm.) is observed. In the Manzanera area, a unique, antiformal Triassic outcrop is present. The nucleus of this structure, however, is characterized by intense thrusting and folding. Here again, the Middle-Upper Triassic succession is unconformably covered by the Cortes de Tajuña Fm., and the Imón Fm. is found variably eroded. Locally,

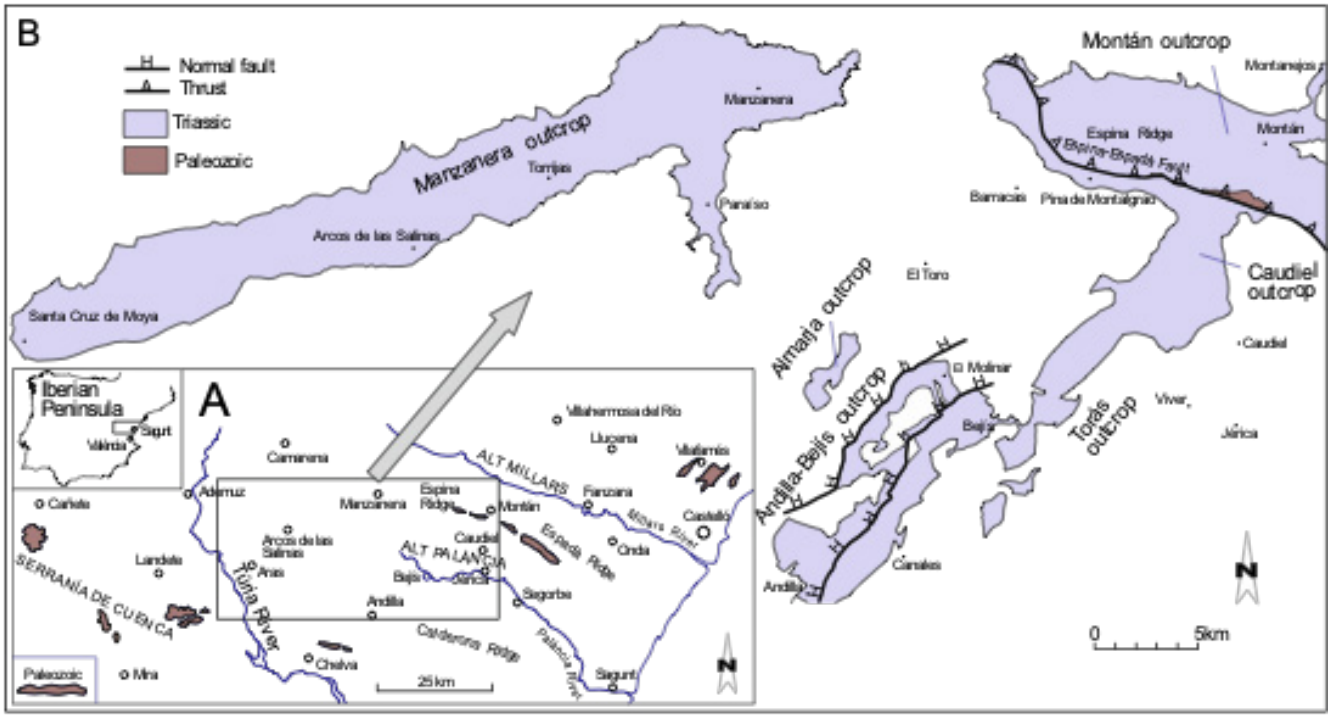


FIGURE 1. (A) Location map of the study area. (B) Map of the Triassic outcrops studied.

also Lower Cretaceous materials rest unconformably onto the Triassic materials.

STRATIGRAPHIC RESULTS

Virgili et al. (1977), Sopeña et al. (1983) and López-Gómez et al. (1998) assigned the Triassic rocks in the València sector of the eastern Iberian Chain to the 'Mediterranean type' of Triassic, in which the presence of two carbonate Muschelkalk units separated by a siliciclastic-evaporitic unit is recorded. In this sector, however, the lithostratigraphic terminology for the Middle Triassic succession is not consistent. Initially, López-Gómez and Arche (1992) used the terms Landete Fm. (lower Muschelkalk), Mas Fm. (middle Muschelkalk), and Cañete Fm. (upper Muschelkalk). Later, the terms Oronet Fm. (lower Muschelkalk), Azúebar Fm. (middle Muschelkalk), and Cirat Fm. and Pina de Montalgrao Fm. (upper Muschelkalk) were introduced by Garay Martín (2001, 2005) in the Calderona and Espadà ridges, which are adjacent to the Alt Palància area. To avoid this terminological duality, here we use the classic terms 'lower Mus-chelkalk unit', 'middle Muschelkalk unit', and 'upper Muschelkalk unit' for the Landete Fm., the Mas Fm., and the Cañete Fm. of López-Gómez and Arche (1992), respectively.

In the Alt Palància area, the Middle-Upper Triassic succession comprises the following units from base to top (Ortí and Guimerà, 2015): Röt evaporites (uppermost Buntsandstein facies), lower Muschelkalk carbonates, middle Muschelkalk evaporites, upper Muschelkalk carbonates, Keuper evaporites, Imón Fm., and Canales Claystone unit (only in the Andilla-Bejís outcrop). The same succession, excluding the Canales unit, is present in the Manzanera Triassic outcrop.

As regards the carbonate Muschelkalk units, three types of sub-units were distinguished in both the Alt Palància and Manzanera areas: lower carbonate-marl alternation, (intermediate) carbonate sub-unit, and upper carbonate-marl alternation. The carbonate sub-unit is present in all the section of the two study areas, but regarding the carbonate-marl alternations, some precisions should be highlighted (Fig. 2). In the Alt Palància area: the lower alternation of the lower Muschelkalk was found in all the outcrops; the upper alternation of the lower Muschelkalk was observed only in the Caudiel outcrop; the lower alternation of the upper Muschelkalk was observed only in the Montán outcrop; and the upper alternation of the upper Muschelkalk was present in all the outcrops. In the Manzanera outcrop: the lower alternation of the lower Muschelkalk does not crops out; ii) the upper alternation of the lower Muschelkalk is present in the Parai-so Bajo section; and both the lower and the upper alternations of the upper Muschelkalk are present in several sections. The local absence of these alternations in some sections is a structural feature.

In the Alt Palància area, the thickness of the units are as follows (Fig. 2). Only small variations (20-25 m) were observed in the Röt unit in all the outcrops. The thickness variation of the lower Muschelkalk unit (70-115 m) is of great paleogeographic relevance given that it has remained uneroded in all the outcrops. The original thickness of the middle Muschelkalk unit is difficult to estimate due to the tectonic migration of its plastic materials. Minimum

values of 80 m were estimated in the Andilla-Bejís outcrop, and 100-200 m in the Montán outcrop. The thickness variation of the upper Muschelkalk unit is also difficult to estimate because of local erosion, but a thickness up to 190 m was estimated in the composite section of the Montán outcrop. The original thickness of the Keuper unit probably varies between 50 and 100 m. The thickness variation of the Imón Fm. (15-40 m) suggests partial erosion below the Jurassic-Cretaceous cover. Its maximum thickness is found in the Montán outcrop (Pina de Montalgrao village). The Canales Claystone unit has a thickness of about 40 m near the Canales village (Andilla-Bejís outcrop). As a whole, the thickest succession is exposed in the Montán outcrop (about 290 m accumulated for the two Muschelkalk carbonate units, and more than 300 m for the assemblage of the Keuper and the middle Muschelkalk units) indicating a synsedimentary control of the Espina-Espadà Fault. Values similar to these in the Montán outcrop were also found in the Manzanera outcrop (Fig. 2).

PALYNOLOGICAL RESULTS

Palynological analyses of clayey, marly and carbonatic lithologies were done. Most of the samples were taken in

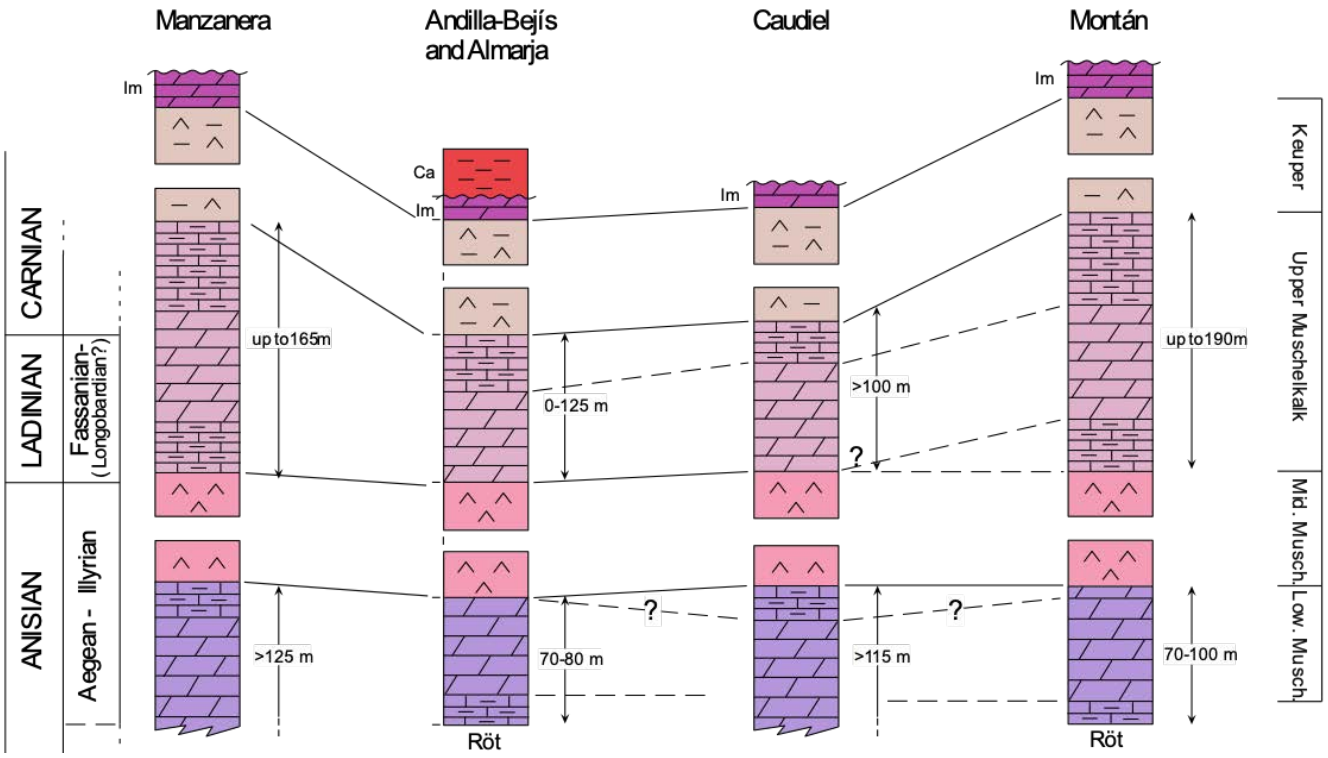


FIGURE 2. Compilation of representative stratigraphic sections of the Middle-Upper Triassic exposed in the Manzanera and Alt Palància outcrops. For location see Fig. 1. Im: Imón Formation. Ca: Canales Claystone unit.

the lower and upper carbonate-marl alternations of the two carbonate Muschelkalk units. In the Alt Palància area, 49 samples were collected and from them 32 were productive. The results can be found in Ortí et al. (2020). In the Manzanera outcrop, 24 samples were collected and from them 13 were pro-ductive. In the two cases, the palynological determinations were done by A. Götz (School of Earth and Environmental Sciences, Portsmouth University, U.K.). The assemblage of the results indicates that the ages of the units and sub-units are as follows: the Röt unit is Anisian; in the lower Muschelkalk unit, the lower carbonate-marl alternation is Anisian or early Anisian (Aegean/Bithynian) and the upper alterna-tion is Anisian (Bithynian-Pelsonian); the middle Muschelkalk is Anisian (mainly Illyrian); in the upper Muschelkalk unit, the samples of the lower carbonate-marl alternation are Ladinian (undetermined), although all the samples of the upper alternation are early Ladinian (Fassanian). The presence of Longo-bardian (late Ladinian) could not be proved palynologically.

ISOTOPIC RESULTS

Sulfur and oxygen isotopes (δ34SV-CDT and δ18OV-SMOW) of gypsum samples were analyzed. In the Alt Palància area 22 samples were studied, and for comparative purposes also 22 samples coming from other adjacent Triassic outcrops (Segorbe, Villahermosa del Río, Fanzara, Chelva) were analyzed (Ortí et al. (2020). For the present paper, 30 additional gypsum samples coming from the Manzanera outcrop were studied. In the assemblage of results, the δ34SV-CDT values revealed fundamental for distinguishing be-tween the middle Muschelkalk and the Keuper evaporites. In the Alt Palància area, the gypsum samples of the middle Muschelkalk unit yielded δ34S values ranging from 15.6 to 17.8‰ with a mean of 16.4‰

(δ18O values 12.8-18.0‰), and those of the Keuper unit from 14.0 to 15.5‰ with a mean of 14.4‰ (δ18O values 11.5-16.4‰). In the other Triassic outcrops, the assemblage of samples of the middle Muschelkalk unit yielded δ34S values ranging from 15.7 to 16.7‰, and those of the Keuper unit from 13.3 to 15.6‰ (Ortí et al., 2020). In the additional samples studied for the present paper in the Manzanera outcrop, the samples of the middle Muschelkalk unit yielded δ34S values ranging from 15.7 to 17.4‰ with a mean of 16.4‰ (δ18O values 15.7-17.4‰), and those of the Keuper unit from 13.8 to 15.5‰ with a mean of 14.4‰. (δ18O values 12.3-17.9‰). According to all these results, δ34S values of 15.7‰ or higher correspond to the middle Muschelkalk unit and values of 15.5‰ or lower correspond to the Keuper unit. Some δ34S values of 15.6‰ were found indistinctly in the two units.

CONCLUSIONS

The stratigraphic and isotopic results indicate that the Alt Palància and adjacent Triassic areas (Espadà Ridge, Millars Valley, Villahermosa del Río) belong to the Mediterranean Triassic. All these areas cannot be assigned to the Levantine-Balearic Triassic of Escudero-Mozo et al. (2015).

ACKNOWLEDGMENTS

*This study was supported by research projects CGL2015-66835-P and CGL2016-79458-P, and BIOGE-OEVENTS (CGL2015- 69805-P) of the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (MINECO); by the European Fund for Regional Development (EFRD); by the Project "Tectónica Salina en Cin-turones Contractivos" (SALTCONBELT-**CGL2017-85532-P), funded by Agencia Estatal de Investi-gación (AEI) and **Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); and by projects 2009GR1451 and 2014SGR-467 (GEOMODELS Research Institute and the Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques), and 2017SGR-824 (SEDIMENTARY GEOLOGY) of the Catalan Government (Departament d'Innovació, Universitats i Empresa). The authors thank Annette Götz for the palynological study and Alberto Pérez-López for help in the study of the carbonate Muschelkalk.*

REFERENCIAS

Boulouard, Ch., Viallard, P., 1981. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 5, 1, 31-42.

Doubinger, J., López-Gómez, J., Arche, A., 1990. *Review Palaeobotany Palynology,* 66, 25-45.

Escudero-Mozo, M.J., Márquez-Aliaga, A., Goy, A., Martín-Chivelet, J., López-Gómez, J., Márquez, L., Arche, A., Plasencia, P., Pla, C., Sánchez-Fernández, D., 2015. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 417, 236-260.

Garay Martín, P., 2001. Ph.D. Thesis, Universitat de València, 692 pp. Microfiche edition.

Garay Martín, P., 2005. *Geo-Temas*, 8, 159-162.

López-Gómez, J., Arche, A., 1992. *Estudios Geológicos*, 48, 123-143.

López-Gómez, J., Arche, A., Calvet, F., Goy, A., 1998. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1 (9-10), 1033-1084. Stuttgart.

Ortí, F., Guimerà, J., 2015. *Teófilo Sanfeliu Montolio, más allá de la geología.* Libro homenaje. Publicacions de la Universitat Jaume I, Homenatges 2015 (4), 109-112. Castelló de la Plana.

Ortí, F., Guimerà, J., Götz, A., 2020. *Geologica Acta,* 18.4, 1-26. doi: 10.1344/GeologicaActa2020.18.4.

Sopeña, A., Virgili, C., Arche, A., Ramos, A., Hernando, S., 1983. In: Comba, J. (ed.). Madrid, Instituto Geologico y Minero de España (IGME), *Geología de España*, 2, 47-64.

Virgili, C., Sopeña, A., Ramos, A., Hernando, S., 1977. *Cuadernos Geología*, 4, 57-88.

Geometría de los depósitos litorales en el ámbito urbano y la bahía de Gijón (NO de España).

Geometry of coastal deposits in the urban area and the bay of Gijón (NW Spain).

L. Pando[1], G. Flor-Blanco[2], A. García-Rodríguez[1] y J. Rey Díaz de Rada[3]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005, Oviedo. pandoluis@uniovi.es
2 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005, Oviedo. Grupo 639 UNESCO sobre cambios del nivel del mar. gfb@geol.uniovi.es
3 ESGEMAR, S.A., Local PP/L1-05, Puerto de Málaga, 29001, Málaga. esgemar@esgemar.com

Palabras clave: estuario, Gijón, paleovalle, relleno sedimentario.

Resumen

Una gran parte del área urbana de Gijón está localizada sobre sedimentos arenosos vinculados a un antiguo sistema estuarino de playa y dunas, bahía arenosa y marismas. Esta cobertera cuaternaria, que yace sobre un basamento rocoso jurásico, llega a alcanzar espesores superiores a 20 m en el margen septentrional de la ciudad, correspondiendo con distintas etapas climáticas del casi desaparecido estuario de Gijón. Los sedimentos se prolongan hacia el N, rellenando un paleovalle estudiado a partir de una reconstrucción batimétrica de la bahía que fue complementada con una exploración geofísica (Flor-Blanco *et al.*, 2016). Este trabajo revisa y reinterpreta los datos disponibles sobre la distribución y espesor de los sedimentos estuarinos en el subsuelo urbano (Pando *et al.*, 2016; García-Rodríguez, 2018), incorpora información procedente de nuevos sondeos, y analiza los resultados de la prospección geofísica citada, con estimaciones de espesor de sedimentos localmente por encima de 15 m. Esto ha permitido integrar los dos ámbitos de relleno y, por vez primera, evaluar la geometría conjunta de los depósitos. Asimismo, ha sido posible investigar la morfología del sustrato rocoso bajo el relleno sedimentario.

Abstract

A large part of the urban area of Gijón is located on sandy sediments linked to an old estuarine system of beach and dunes, sandy bay and marshes. This Quaternary layer, which lies on a Jurassic bedrock, reaches thicknesses greater than 20 m in the northern margin of the city, corresponding with different climatic stages of the almost disappeared estuary of Gijón. The sediments extend towards the N, filling a paleo-valley studied from a bathymetric reconstruction of the bay that was complemented with a geophysical survey (Flor-Blanco et al., 2016). This research reviews and reinterprets the available data on the distribution and thickness of the estuarine sediments in the urban subsoil (Pando et al., 2016; García-Rodríguez, 2018), incorporates information coming from new boreholes, and analyzes the results of the geophysical survey, which estimated thicknesses of the sediments locally above 15 m. This has allowed the integration of the two filling areas and, for the first time, to evaluate the geometry of the deposits as a whole. It has also been possible to investigate the morphology of the bedrock under the sedimentary filling.

Referencias

Flor-Blanco, G., Flor, G., Gallego, J.R., Sierra, C., Rey Díaz de Rada, J. y Barranco Ojeda, A. (2016). En: *IX Congreso Geológico de España.* Geo-Temas 16, 271-274.

García Rodríguez, A. (2018): *Desarrollo de un modelo geológico para el centro urbano de Gijón*. Tesis de Máster, Univ. de Oviedo, 77 p.

Pando, L., Martínez-Largo, J.A., Flor-Blanco, G. y Díaz-Díaz, L.M. (2016). En: *IX Congreso Geológico de España*. Geo-Temas 16, 973-976.

Depósitos eocenos de transporte en masa en Getxo (Bizkaia): deducciones sobre bulldozing y transformación de flujos en masa.

Eocene mass transport deposits in Getxo (Biscay): insights into bulldozing and mass flow transformation.

A. Payros[1] y V. Pujalte[1]

1 Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Sarriena s/n, 48940 Leioa. a.payros@ehu.eus, victoriano.pujalte@ehu.eus

Palabras clave: Bulldozing, Cuenca Vasca, Eoceno, Transformación de flujos, Transporte en masa.

Resumen

La evolución de flujos en masa subacuáticos implica la transformación progresiva de deslizamientos en slumps, después en flujos de derrubios, y finalmente en corrientes de turbidez. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que algunos procesos, tales como la erosión y recogida del sustrato (bulldozing), pueden alterar esta evolución. Este trabajo apoya esta hipótesis en base a los depósitos de transporte en masa (DTM) eocenos de la Cuenca Vasca (Pujalte *et al.*, 1997; Payros y Pujalte, 2020). Aquí, los procesos de derrumbe en masa eocenos desestabilizaron depósitos de plataforma y talud, creando flujos gravitacionales que se desplazaron hacia el SE. El espesor individual de los DTM varía de 10 a 33 m, con una extensión mínima estimada de $1.5x10^6$ m^2 y un volumen medio de $24x10^6$ m^3. Se han identificado cuatro tipos de DTM, que han permitido desarrollar un modelo de facies que muestra que los flujos gravitacionales cambiaron de deslizamientos a slumps, los cuales a su vez se transformaron en flujos de derrubios. Sin embargo, las transformaciones no ocurrieron en masa y no fueron lineales: los procesos de bulldozing ayudaron a mantener la heterogeneidad de los flujos e incluso produjeron transformaciones retrógradas de los flujos en masa. El efecto de estos procesos debería tenerse en cuenta al determinar el carácter proximal o distal de otros DTM.

Abstract

Subaqueous mass flow evolution is the progressive transformation from slide to slump, then to debris flow, terminating in turbidity currents. However, recent studies have shown that other processes, including substrate entrainment (bulldozing), can interfere with this standard progression. This work supports these findings using as reference Eocene mass transport deposits (MTDs) from the Basque Basin (Pujalte et al., 1997; Payros and Pujalte, 2020). Here, Eocene mass wasting processes destabilized shelfal and slope deposits, creating sediment gravity flows that moved downslope towards the SE. The individual thickness of the MTDs ranges from 10 to 33 m, with an estimated minimum extent of $1.5x10^6$ m^2 *and average volume of* $24x10^6$ m^3*. Four different types of MTDs were identified, which allowed a facies model to be conceived showing that the sediment gravity flows switched from slides to slumps, which in turn became debris flows. However, the transformations did not occur en masse and were not linear: bulldozing processes interfered by contributing to maintaining flow heterogeneity and actually produced retrograde mass flow transformation. The potential effects of bulldozing should be taken into account when determining the proximal or distal nature of other MTDs.*

Referencias

Payros, A. y Pujalte, V. (2020). En: *Submarine landslides: subaqueous mass transport deposits from outcrops to seismic profiles* (K. Ogata, A. Festa y G.A. Pini, Eds.). AGU Geophysical Monograph 246, 155-170.

Pujalte, V., Payros, A., Orue-Etxebarria, X., y Baceta, J.I. (1997). *Geogaceta* 22, 169-172.

Arrecifes de *Chondrodonta* asociados a etapas de proliferación de *Lithocodium-Bacinella* (Cretácico Inferior de Cuchía, España).

Chondrodonta reef development coeval with pervasive Lithocodium-Bacinella growth phases (Lower Cretaceous of Cuchía, Spain).

J. Pérez-Malo[1] y P.A. Fernández-Mendiola[1]

1 Dpto. de Geología, ZTF-FCT, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080, Bilbao (Spain). joanaitz.perez@ehu.eus,). kepa.fernandezmendiola@ehu.eus

Palabras clave: Chondrodonta, Lithocodium-Bacinella, arrecife, Cretácico Inferior, facies.

Resumen

Se caracterizan por primera vez biohermos de *Chondrodonta* (Bivalvia) de la cantera de Cuchía (Can-tabria), incluidos en la Fm. Reocín (Aptiense superior – Albiense inferior?) del Complejo Urgoniano. Se han reconocido tres niveles arrecifales principales, que presentan espesores máximos de 2.5 a 3.3 m y varias decenas de metros de extensión lateral. El análisis de facies revela geometrías lenticulares con complejos patrones de interdigitación que se traducen en frecuentes variaciones laterales de espesor. Los ejemplares de *Chondrodonta* aparecen predominantemente en posición de vida, densamente empaquetados y mostrando diversas orientaciones. Estas bioconstrucciones evolucionan lateral y verticalmente a facies interarrecifales constituidas por calizas micríticas con desarrollo generalizado de fábricas bacinelloides (Fernández-Mendiola *et al.*, 2015). El tránsito de las clásicas calizas urgonianas ricas en rudistas, corales y/o orbitolínidos a esta particular asociación de facies dominada por comunidades microbianas y parches arrecifales de *Chondrodonta*, refleja sin duda un cambio paleoambiental significativo en la plataforma carbonatada. La caracterización y ubicación cronológica de esta última asociación de facies son clave para determinar su posible relación con eventos paleoceanográficos y/o paleoclimáticos (*e.g.*, Immenhauser *et al.*, 2005; Millán *et al.*, 2014; respectivamente), lo cual ayudaría a esclarecer la controversia en torno a la respuesta de los ecosistemas neríticos marino-someros a dichos factores de control.

Abstract

Chondrodonta (Bivalvia) bioherms from the Cuchía quarry are described in detail for the first time. They occur in the Reocín Fm. (upper Aptian – lower Albian?) of the Urgonian Complex. Three main patch reefs have been recognized, ranging from 2.5 to 3.3 metres thick and several tens of metres wide. Facies analysis reveal lenticular geometries with complex intertonguing relationships, which result in frequent lateral thickness changes. Chondrodonta specimens are dominantly preserved in life position, forming densely packed clusters and showing diverse orientations. These boundstones grade both laterally and vertically into micritic limestones with widespread development of bacinellid structures (Fernández-Mendiola et al., 2015). The replacement of typical rudist-coral-orbitolinid urgonian limestones by microbial communities and Chondrodonta banks reflects a significant palaeoenvironmental turnover in the carbonate platform. Establishing the nature and chronology of the latter facies association is critical to clarify the ongoing debate over the response of shallow-marine neritic ecosystems to palaeoceanographic and palaeoclimatic controlling factors (e.g., Immenhauser et al., 2005; Millán et al., 2014; respectively).

Referencias

Fernández-Mendiola, P.A., Pérez-Malo, J. y García-Mondéjar, J. (2015). *Geogaceta* 57, 99-102.

Immenhauser, A., Hillgärtner, H. y Van Bentum, E. (2005). *Sedimentology* 52, 77-99.

Millán, M.I., Weissert, H.J. y López-Horgue, M.A. (2014). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 411, 167-179.

Posible influencia marina y formación de dolomita bioinducida durante el Mioceno final en la Cuenca de las Minas, SE de España

Possible marine influence and bioinduced dolomite formation during the Late Miocene in Las Minas basin, SE Spain

V. Pineda[1], L. Gibert[1], J. García-Veigas[2], J. Soria[3], M. Sanchez-Román[4] y A. Carrazana[1]

1 Dpto de Mineralogía, Petrología y Geología Aplicada., Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona, España. vpinedagon@ub.edu
2 CCiTUB, Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona, España. garcia_veigas@ub.edu
3 Dpto de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080 Alicante, España. jesus.soria@ua.es
4 Earth Sciences Department, Vrije Universiteit Amsterdam, 1081HV Amsterdam, The Netherlands. m.sanchezroman@vu.nl

Resumen: En las Cuencas Neógenas Béticas se encuentran algunas unidades evaporíticas relacionadas con sus procesos de continentalización durante el Tortoniense-Messiniense. Se ha realizado un estudio multidisciplinar en una de estas unidades evaporíticas, localizada en la Cuenca de Las Minas, Albacete. Dicha formación está compuesta por yesos, carbonatos y lutitas dispuestas cíclicamente. El estudio isotópico de $\delta^{34}S$ y $\delta^{18}O$, junto con la relación isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr$, revela que los yesos están ligados al reciclado de evaporitas triásicas, aunque con composiciones isotópicas alteradas por sulfato-reducción bacteriana, asociada también a la precipitación de abundantes niveles de dolomita bioinducida. Los valores de $^{87}Sr/^{86}Sr$ en las dolomitas son inferiores a los esperados para carbonatos marinos del Mioceno Superior debido a la contribución de aportes continentales. Las señales isotópicas 'no marinas' en yesos y carbonatos contrastan con un abundante contenido de fauna marina silícea (radiolarios, diatomeas, poríferos, etc.) en los niveles carbonatados. Se propone un modelo de cuenca intramontañosa conectada esporádicamente con el mar, pero sometida a sucesivos estadios de restricción y aislamiento, con incremento relativo de aportes continentales ricos en sulfato disuelto responsables de la sedimentación evaporítica.

Palabras clave: Evaporitas, Tortoniense, Dolomita, Estrecho Bético.

Abstract: *Some evaporite units occur in the Betic Neogene Basins related to their continentalization processes during the late Tortonian-Messinian. A multidisciplinary study has been carried out in one of these evaporite units, located in the Las Minas Basin, Albacete. This unit is composed of gypsum, carbonates and shales arranged cyclically. The isotopic study of the $\delta^{34}S$ and $\delta^{18}O$, together with the $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio, reveals that gypsum is related with the recycling of Triassic evaporites, but with altered isotopic compositions resulting from bacterial sulfate-reduction activity, also associated with the precipitation of abundant levels of bioinduced dolomite. The $^{87}Sr/^{86}Sr$ values in the dolomites are lower than expected for Late Miocene marine carbonates due to continental contributions to the basin. The 'non marine' isotopic values in gypsum and carbonates contrast with an abundant content of marine siliceous fauna (radiolarians, diatoms, porifera, etc.), in the lutitic and carbonate levels. A model of an intra-mountain basin with ephemeral marine connections is proposed. This model proposes a basin with an important marine influence but subject to successive stages of isolation, with relative increase in continental contributions rich in dissolved sulfate, responsible of the evaporitic sedimentation.*

Keywords: *Evaporites, Tortonian, Dolomite, Betic Seaway*

INTRODUCCIÓN

Durante el Tortoniense inferior y medio, el mar Mediterráneo estaba conectado con el Océano Atlántico a través del Estrecho Bético, el cual cubría una gran extensión de la actual Cordillera Bética. Debido al levantamiento de la Cordillera, el Estrecho fue cerrándose progresivamente desde el Tortoniense Superior, provocando la restricción y continentalización de las cuencas que lo componían. En este contexto, se generaron numerosas formaciones evaporíticas. El presente trabajo se centra en una de estas formaciones evaporíticas, situada en la Cuenca de Las Minas, Albacete. El relleno de esta cuenca ha sido considerado tradicionalmente como lacustre al igual que el de otras cuencas vecinas (El Cenajo, Elche de la Sierra, Híjar, etc.) (Elízaga, 1994), no obstante, algunos trabajos (Ortí *et al.*, 2014a) han descrito indicios de influencia marina en la cuenca durante la sedimentación evaporítica. En este trabajo se pretende profundizar sobre esa posible influencia marina en la cuenca durante el Tortoniense Superior.

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca de Las Minas consiste en una cuenca intramontañosa localizada en la parte oriental de la Cordillera Bética (Figura 1). Su relleno abarca edades desde el Tortoniense Superior al Plioceno, mientras que el basamento está compuesto por materiales mesozoicos del dominio Prebético y materiales marinos neógenos, de los cuales los más recientes

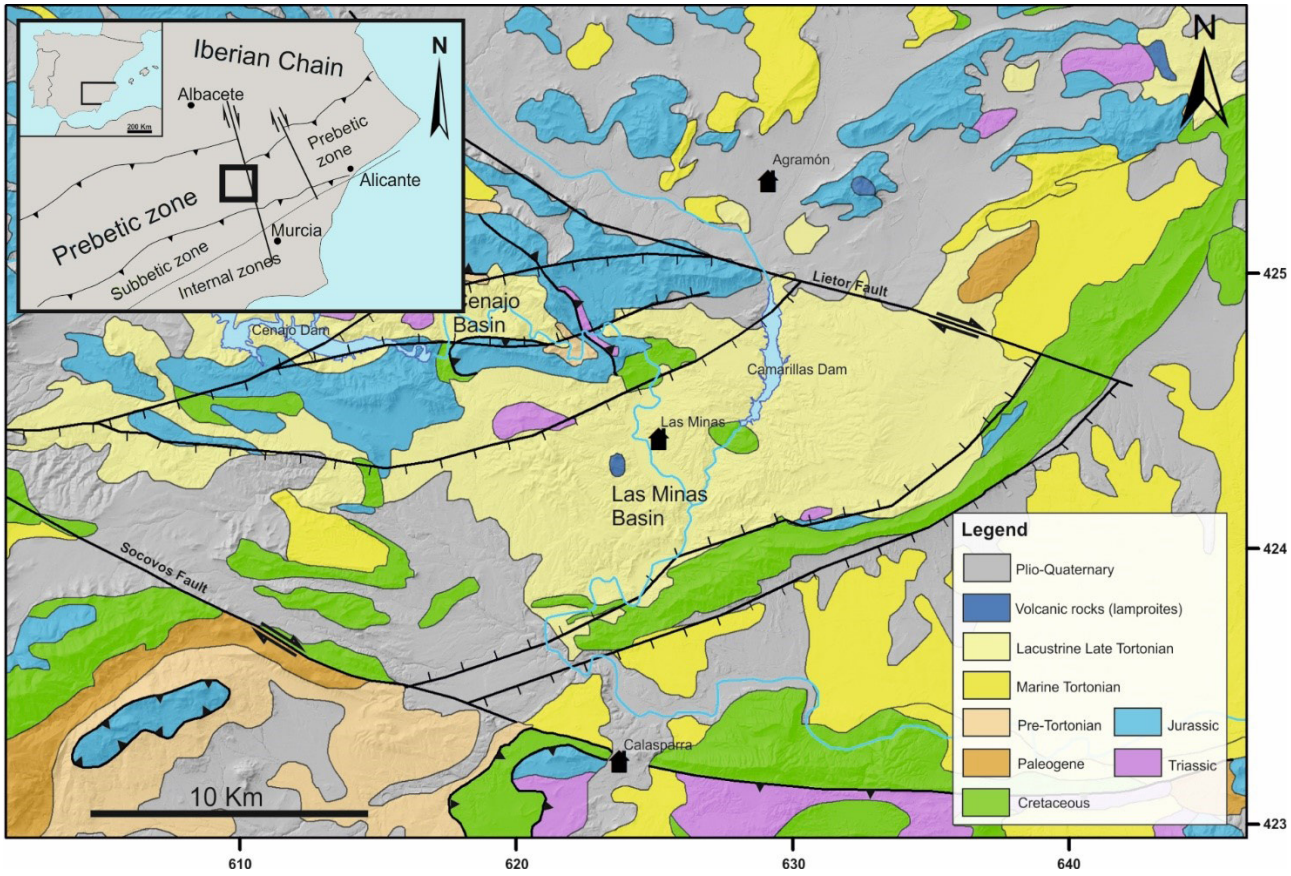


FIGURA 1: Situación Geográfica y Geológica de la Cuenca de Las Minas (Modificado de Martín-Velázquez *et al.*, 1998)

datan del Tortoniense Inferior. Al igual que otras cuencas de la zona, está limitada por unas fallas normales generadas a partir del sistema de desgarres NO-SE del Prebético Externo (Martin-Velázquez *et al.*, 1998) (Figura 1). Dichas fallas generaron una importante subsidencia en el área durante el Tortoniense, permitiendo la acumulación de grandes cantidades de sedimentos en un contexto de *horst-graben*, donde se produjo también el emplazamiento de numerosos edificios volcánicos de naturaleza lamproítica.

ANÁLISIS DE FACIES

En la sección estratigráfica estudiada, la unidad evaporítica se encuentra formada por yesos, carbonatos y lutitas dispuestos de manera cíclica. En total, se describen 14 ciclos en los que alternan intervalos yesíferos e intervalos carbonatados. Las facies yesíferas son variadas, destacando entre ellas niveles de yeso laminado formados por una alternancia de láminas milimétricas de yeso de grano fino y dolomías. También destacan niveles formados por cristales de yeso de crecimiento intersticial entre sedimento dolomítico, precipitado durante la diagénesis temprana. Los niveles yesíferos son estériles, con ausencia completa de fauna. La dolomita de estas muestras está formada por agregados de cristales de dolomita que forman esferoides (células dolomitizadas) de 1 a 10 µm de diámetro (Figura 2a).

Los intervalos carbonatados están formados principalmente por niveles blancos bien estratificados de aspecto margoso, entre los que intercalan algunos niveles de arcillas de tonos oscuros. Los niveles blancos contienen abundante fauna marina silícea entre la que destacan una gran variedad de radiolarios (Figura 2b), diatomeas y poríferos, aunque no se ha identificado fauna con esqueleto carbonatado, probablemente debido a procesos diagenéticos que han impedido su conservación. Algunos de estos niveles presentan nódulos de azufre, muchos de los cuales se encuentran reemplazados por yeso. Al microscopio electrónico de barrido, se puede observar que estos carbonatos están compuestos principalmente por esferoides de dolomita, similares a los descritos anteriormente en los niveles yesíferos. Este tipo de cristalización de la dolomita fue previamente descrito en la cuenca por Lindke *et al.*, (2011) en el área de la pedanía de Las Minas.

Esporádicamente se pueden observar también niveles carbonatados que presentan una textura de tipo wackestone con espículas de esponja, radiolarios, diatomeas y clastos detríticos de cuarzo de unos 100 µm diámetro flotando en una matriz dolomítica. Estos carbonatos presentan abundantes nódulos de azufre. La matriz dolomítica está formada por células dolomitizadas similares a las anteriormente descritas, y se observan abundantes moldes de foraminíferos en los que ha precipitado un relleno poiquilítico de yeso, el cual ocupa también otros poros de la roca, presumiblemente clastos que han sido disueltos.

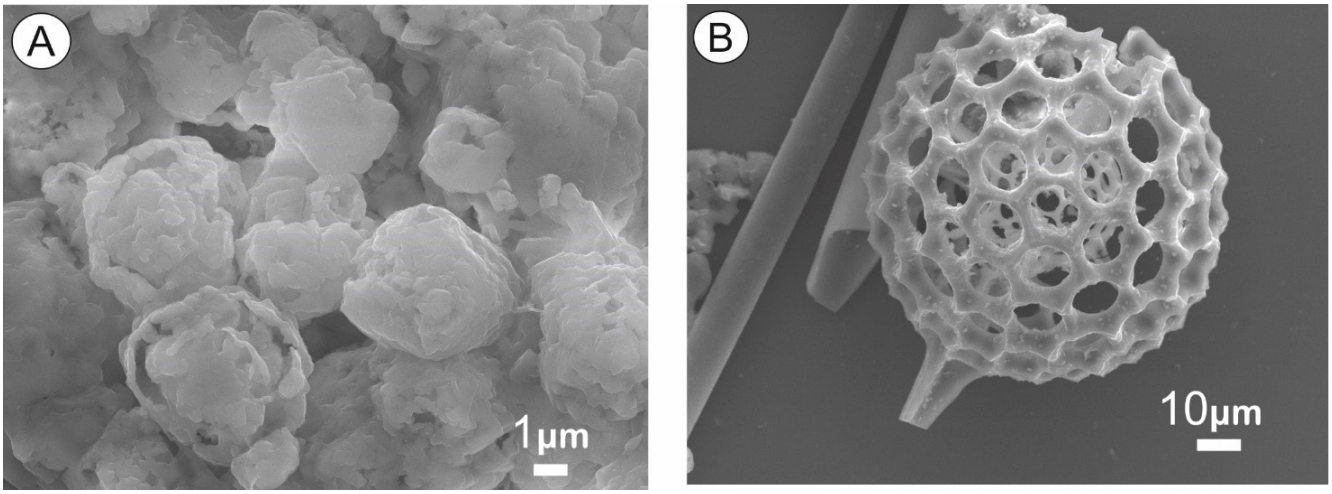


FIGURA 2: Imágenes tomadas con MEB en los sedimentos dolomíticos de los intervalos carbonatados. A) Agregados de células bacterianas dolomitizadas. B) Radiolario del género Actinomma.

DATOS GEOQUÍMICOS PRELIMINARES

Se ha realizado un estudio isotópico preliminar de $\delta^{34}S$ y $\delta^{18}O$ en los yesos. Los valores obtenidos están comprendidos entre 11,5 y 21,9 (‰VCDT) para $\delta^{34}S$ y entre 21,7 y 28,1 (‰VSMOW) para $\delta^{18}O$. Estos valores no se corresponden con los esperados para el Mioceno Superior (García-Veigas *et al.*, 2019) ni para el Triásico (Ortí *et al.*, 2014b). Mientras que los valores de $\delta^{34}S$ están comprendidos entre el Triásico y el Neógeno, los valores de $\delta^{18}O$ indican un alto enriquecimiento en el isótopo pesado 18O. En contraste, la relación isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr$ en estos yesos oscila entre 0,70797 y 0,70808, lo cual está dentro del rango esperado para las evaporitas triásicas (Ortí *et al.*, 2014b). El alto enriquecimiento en ^{18}O podría explicarse por medio de procesos de sulfato-reducción bacteriana.

La relación isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr$ ha sido también medida en los niveles dolomíticos situados en los intervalos carbonatados de la serie, obteniendo resultados que oscilan entre 0,70827 y 0,70851, lo cual constituye un rango de valores intermedios entre los esperados para el Tortoniense superior, las evaporitas triásicas y los relieves mesozoicos circundantes. Esto puede sugerir que, durante la precipitación de los intervalos carbonatados, la influencia marina es mayor que durante la precipitación de los yesos.

DISCUSIÓN

La presencia de abundante fauna marina en los intervalos carbonatados demuestra una influencia marina en la cuenca durante la sedimentación de la unidad evaporítica. Además, la presencia de poríferos hexatinélidos podría indicar una profundidad superior a los 300m (Gasse *et al.*, 1991). El posible origen resedimentado de esta fauna silícea ha sido descartado teniendo en cuenta su excepcional estado de conservación y la ausencia de otros clastos detríticos en los materiales que la contienen. Por otro lado, esta fauna marina no ha sido descrita en la unidad carbonatada que se sitúa por encima de la unidad evaporítica. Teniendo en cuenta estos datos, los valores intermedios obtenidos para la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ en las dolomitas podrían ser interpretados como el resultado de una mezcla de aguas marinas y continentales en una cuenca intramontañosa, parcialmente restringida y alimentada por ríos que erosionaban las formaciones evaporíticas triásicas y los relieves mesozoicos circundantes.

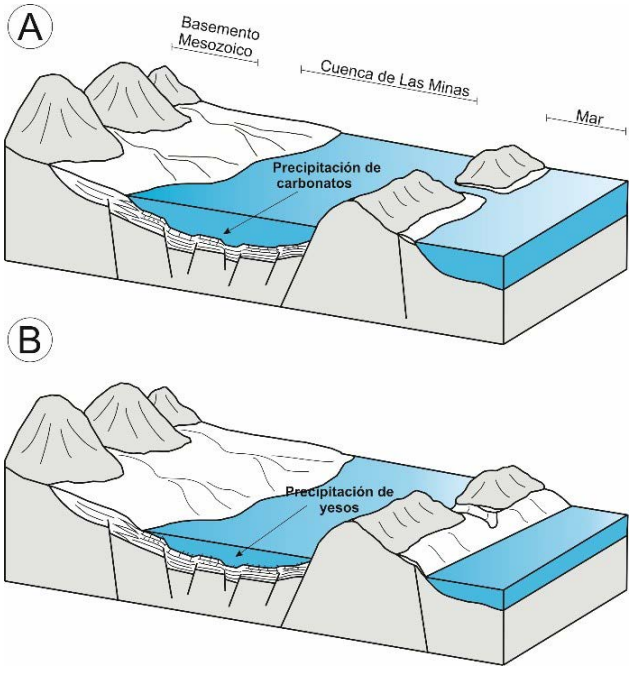


FIGURA 3: Modelo propuesto para la cuenca de Las Minas durante la sedimentación de la unidad evaporítica. A) Precipitación de los intervalos carbonatados. La cuenca está conectada con el mar y se produce mezcla entre aguas marinas y continentales. B) Precipitación de los intervalos yesíferos. La cuenca queda restringida y es alimentada exclusivamente por aguas continentales

Los esferoides de dolomita, con amplia presencia en los sedimentos estudiados, presentan una morfología similar a los descritos en algunos ambientes lacustres actuales como es el caso de los lagos de Coorong en Australia (Wright

y Macey, 2005), y está asociada a la acción bacteriana en ambientes sulfato-reductores (Sanz-Montero *et al.*, 2009). Este tipo de cristalización indica una precipitación primaria bioinducida en la que los esferoides reflejan microambientes de precipitación mineral, donde las células y la sustancia polimérica extracelular actúan como entornos de nucleación (Vasconcelos *et al.*, 1995). La presencia de este tipo de dolomita, junto a la señal isotópica del sulfato y la presencia ocasional de azufre en la serie, evidencian la existencia de sulfato-reducción bacteriana en el medio sedimentario.

CONCLUSIONES

Se ha determinado un origen continental para los yesos de la cuenca de Las Minas, los cuales proceden del reciclado de las evaporitas triásicas. Esto, junto con la marcada influencia marina de los intervalos carbonatados, indica periodos alternantes de conexión y desconexión con el mar. Durante la sedimentación de la unidad evaporítica, la cuenca de Las Minas se configuraba como una cuenca intramontañosa alimentada por ríos que erosionaban los materiales mesozoicos del basamento, y estaba conectada con el mar mediante un umbral somero. Durante los episodios de sedimentación carbonatada, la cuenca debió tener una cierta profundidad a juzgar por la asociación fósil encontrada. En esos momentos se producía la precipitación de dolomita asociada a procesos de sulfato-reducción bacteriana. Por mecanismos eustáticos o tectónicos, la cuenca quedaba aislada del mar durante algunos periodos, siendo alimentada exclusivamente por ríos con sulfato disuelto de origen triásico. En este contexto, se producía la concentración de sulfatos y la precipitación de yesos, continuando también los procesos de sulfato-reducción bacteriana.

REFERENCIAS

Elízaga, E. (1994): *Análisis de facies sedimentarias y petrología de los depósitos lacustres de edad Neógeno superior de la Zona Prebética, Albacete, España*. Instituto de estudios albacetenses. 216pp.

García-Veigas, J., Gibert, L., Cendón, D. I., Artiaga, D., Corbí, H., Soria, J. M., Lowenstein, T. K. y Sanz, E. (2019): Late Miocene evaporite geochemistry of Lorca and Fortuna basins (Eastern Betics, SE Spain): Evidence of restriction and continentalization. *Basin Research*, 00: 1-33

Gasse, W., Göcke, R. y Hilpert, K. H. (1991): The hexatinellid sponge genus Becksia Schlüter, 1868 from the Campanian of the NW Münsterland (Upper Cretaceous, NW Germany) d. In: *Fossil and Recent Sponges* (eds. Reitner, J. and Keupp, H), 1st ed. Berlin: Springer, p.27.

Lindke, J., Ziegenbalg, S. B., Brunner, B., Rouchy, J. M., Pierre, C. y Peckmann, J. (2011). Authigenesis of native sulphur and dolomite in a lacustrine evaporiti setting (Hellín basin, Late Miocene, SE Spain). *Geological Magazine*, 148(4), 655–669.

Martín Velázquez, S., Vicente Muñoz, G., Rodríguez Pascua, M. y Calvo Sorando, J. (1998): Análisis dinámico del sistema de desgarres NO-SE del Prebético de Albacete. *Revista de La Sociedad Geológica de España*, 11: 369–382.

Ortí, F., Rosell, L., Gibert L., Moragas, M., Playà, E., Inglès, M. y Gimeno, D. (2014). Evaporite sedimentation in a tectonically active basin: The lacustrine Las Minas Gypsum unit (Late Tortonian, SE Spain). *Sedimentary Geology*, 311: 17-42.

Ortí, F., Pérez-López, A., García-Veigas, J., Rosell, L., Cendón, D. I. y Pérez-Valera, F. (2014b): Sulfate isotope compositions ($\delta^{34}S$, $\delta^{18}O$) and strontium isotopic ratios (^{87}Sr / ^{86}Sr) of triassic evaporites in the Betic. *Revista de La Sociedad Geologica de España,* 27(1): 79–90.

Sanz-Montero, M. E., Rodriguez-Aranda, J. P. y García del Cura, M. A. (2009): Bioinduced precipitation of barite and celestite in dolomite microbialites. Examples from Miocene lacustrine sequences in the Madrid and Duero Basins, Spain. *Sedimentary Geology* 222: 138–148.

Vasconcelos, C., McKenzie, J., Bernasconi, S. M., Crujic, D. y Tien, A. J. (1995): Microbial mediation as possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures. *Nature*, 377: 220–222.

Wright, D. T. y Macey, D. (2005): Precipitation of dolomite using sulphate-reducing bacteria from the Coorong Region, South Australia: significance and implications. *Sedimentology*, 52: 987-1008.

Análisis integrado de una sucesión marina transgresiva (Mioceno superior, Cuenca de Guadix, Cordillera Bética).

Integrated analysis of a shallow-marine transgressive succession (late Miocene, Guadix Basin, Betic Cordillera).

M. Poyatos-Moré[1], F. García-García[2], J.M. Soria[3], F.J. Rodríguez-Tovar[2], F. Pérez-Valera[3], J.J. Peral[3], C. Viseras[2] y I. Midtkandal[1]

1 Departamento de Geociencias, Universidad of Oslo, Sem Sælands vei 1, 0371 Oslo, Noruega. miquel.poyatos-more@geo.uio.no
2 Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, 18002 Granada, España.
3 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 Alicante, España.

Palabras clave: transgresión, facies, estratigrafía, Mioceno, Guadix.

Resumen

El Mioceno superior de la Cuenca de Guadix ofrece la posibilidad de estudiar una sucesión transgresiva, dominantemente clástica, asociada a un contexto tectónico activo. Para ello se han analizado más de 600 m a lo largo de 10 km, mediante cartografía geológica, secciones y correlaciones estratigráficas, integradas con un análisis bioestratigráfico, icnológico y petrológico. La sucesión empieza con margas y areniscas de *offshore transition*, con estratificación cruzada *hummocky* y *Scolicia*. Estos depósitos son reemplazados por areniscas de *shoreface* con *ripples* de flujo combinado. Éstos son truncados por superficies de erosión transgresiva con *Thalassinoides* y *Planolites*, asociadas a barras submareales clásticas-carbonatadas, con estratificación cruzada sigmoidal y fragmentos esqueletales. Éstas presentan a techo superficies de inundación con margas y areniscas muy bioturbadas. La parte intermedia muestra areniscas gruesas de frente deltaico, con clastos extracuencales, fragmentos carbonosos y *Ophiomorpha*, alternadas con *sandwaves* mareales y conglomerados canaliformes. La parte superior presenta una *shoreface-offshore transition*, con arenas lobulares bioturbadas y con materia orgánica, reemplazadas por areniscas con estratificación cruzada *hummocky*, y finalmente por margas con foraminíferos nerítico-epibatiales. La sucesión presenta *onlap* sobre el basamento hacia el E-SE, y se engrosa hacia el O-NO. La petrología de areniscas finas indica influencia de las Zonas Internas, y los materiales gruesos fases locales de levantamiento y erosión. Estos resultados sugieren deposición sin-tectónica, en un estrecho con influencia mareal amplificada por la conexión Atlántico-Mediterránea, y donde la interacción entre áreas fuente y morfología de cuenca dinámica dio lugar a patrones de apilamiento complejos en una sucesión transgresiva.

Abstract

The late Miocene of Guadix Basin offers the possibility to study a dominantly clastic transgressive succession in a tectonically-active setting. To do this, >600 m have been studied along >10 km, with geological mapping, sedimentary logging and correlation, integrated with biostratigraphic, ichnological and petrological data. The succession starts with offshore transition marls and HCS sandstones with Scolicia. They are replaced by shoreface sandstones with combined-flow ripples. These are truncated by transgressive erosion surfaces with Thalassinoides and Planolites, associated with carbonate-clastic subtidal bars, with large-scale sigmoidal cross bedding and skeletal fragments. These bars are capped by flooding surfaces with highly-bioturbated marls and sandstones. The middle part of the succession shows medium to coarse-grained delta front sandstones, with extrabasinal clasts, coal fragments and Ophiomorpha, interfingering with tidal sandwaves, and channelized conglomerates. The upper part of the succession displays a shoreface-offshore transition, with bioturbated and organic-rich sandstone lobes, replaced by HCS sandstones, and finally by marls with benthic foraminifera from neritic-epibathyal paleobathymetry. The succession onlaps the basement to the ESE, and thickens to the W-NW. Fine-grained petrography indicates an influence of Zonas Internas, whereas coarse-grained facies indicate local phases of tectonic uplift and erosion. These results suggest a syn-tectonic deposition, in a strait where tidal influence was enhanced by the Atlantic-Mediterranean connections, and where the interaction between source areas and a dynamic basin morphology resulted in complex stacking patterns in an overall transgressive succession.

Colapso extensional de la plataforma del Jurásico Inferior en el sector sur del Valle del Turia (Valencia)

Extensional collapse of the Lower Jurassic platform in the southern part of the Turia river valley (Valencia, Spain)

C. Santisteban[1] y A. Ramos[2]

1 Geología. Universitat de València. Cl. Dr. Moliner, 50, Burjassot 4100 (València) carlos.santisteban@uv.es
2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C\ Ríos Rosas 23 28003 Madrid. a.ramos@igme.es

Palabras clave: Colapso extensional, plataforma carbonática, Jurásico Inferior, Sistema Ibérico, Valencia

Resumen

Los depósitos del Jurásico Inferior en el sector suroriental del Sistema Ibérico han sido interpretados como materiales formados en una rampa carbonática (Gómez, 1979) y constituyen una amplia secuencia deposicional entre dos discordancias (Rética y Aaleniense) relacionadas con la expansión del Tetis hacia el oeste. En esta secuencia, que comprende desde el Hettangiense hasta el Toarciense, se han reconocido cuatro ciclos sedimentarios transgresivos-regresivos de tercer orden, controlados, además de por una subsidencia tectónica, por cambios eustáticos (Aurell *et al.* 2002). Los afloramientos de esta edad en el sector sur del Sistema Ibérico, en el Valle del Turia, muestran que lejos de una sedimentación tranquila, se desarrolló una intensa actividad tectónica que conllevó al colapso extensional de la plataforma continental. Se produjo durante el Sinemuriense – Pliensbachiense, y está registrado en los depósitos de las formaciones Cuevas Labradas y Barahona, que fosilizan un conjunto de bloques fracturados y fosas tectónicas asociados a un sistema de fallas lístricas que despega en las evaporitas triásicas del Keuper, similar a los modelos experimentales de Ellis y McClay (1988). Todo el sistema está fosilizado pasivamente por los materiales de la Formación Turmiel cuyo contacto inferior representa una superficie de inundación en un ambiente marino moderadamente profundo.

Abstract

The Lower Jurassic deposits in the southeastern sector of the Iberian System have been interpreted as materials formed in a carbonatic ramp (Gómez, 1979) and constitute a wide depositional sequence between two unconformities (Rhaetian and Aalenian) related to the expansion of the Tethys towards the west. In this sequence, which ranges from Hettangian to Toarcian, four transgressive-regressive third-order sedimentary cycles have been recognized, controlled, in addition to tectonic subsidence, by eustatic changes (Aurell et al. 2002). The outcrops of this age in the southern sector of the Iberian System, in the Turia Valley, show that, far from calm sedimentation, an intense tectonic activity led to the extensional collapse of the continental shelf. It was developed during the Sinemurian - Pliensbachian, and is recorded in the deposits of the Cuevas Labradas and Barahona formations, which fossilize a set of fractured blocks and grabens associated with a listric fault system detached on the Triassic Keuper evaporites, similar to the experimental models of Ellis and McClay (1988). The entire system is passively fossilized by the Turmiel Formation deposits whose bottom contact represents a flood surface in a deep marine environment.

Referencias

Aurell, M., Meléndez, G. y Bádenas, B. (2002). En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons, W. y T. Moreno. Eds.). The Geological Society, 223-235.

Ellis, P. y McClay, K. R. (1988). *Basin Research*, 1, 55-70.

Gómez, J. J. (1979) *El Jurásico en facies carbonatadas del sector levantino de la Cordillera Ibérica*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense, Madrid, 683 p.

Dolomita y arcillas fibrosas magnésicas en microbialitas lacustres miocenas.

Mg-rich carbonates and sepiolite in Miocene lacustrine microbialites.

M.E. Sanz-Montero[1], J.P. Rodríguez-Aranda[2], P. del Buey[1]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040-Madrid
mesanz@ucm.es; pablodelbuey@ucm.es
2 IES Camilo José Cela. Pozuelo de Alarcón (Madrid). juanparo@ucm.es

Palabras clave: microbialitas, dolomita, arcillas fibrosas magnésicas, biolaminitas, lagos miocenos

Resumen

Los minerales industriales, sepiolita y palygorskita, comúnmente se encuentran asociados a dolomita en los depósitos del Mioceno medio de las cuencas de Madrid y Duero. Estos minerales se originaron en lagos salinos someros situados en el centro de estas cuencas endorreicas, sin embargo, las condiciones y procesos de formación todavía no se conocen con precisión. Algunos autores, basándose en la identificación de biosignaturas en los minerales, proponen que los microbios, que debieron de proliferar en los lagos, jugaron un papel decisivo en su origen. Además, los estudios llevados a cabo en lagos salinos recientes apoyan una génesis microbiana para las arcillas magnésicas (Del Buey *et al.*, 2018). En este trabajo, se describen fábricas de microbialitas bien conservadas a techo de la Unidad Intermedia del Mioceno de la cuenca de Madrid, zona de la Mesa de Ocaña (Toledo). Las facies están constituidas por calizas que se interdigitan con margas, que contienen proporciones variables de dolomita, magnesita, arcillas magnésicas fibrosas (sepiolita y palygorskita), yesos y detríticos. Las margas muestran una microfábrica densamente laminada y los rasgos mineralógicos e isotópicos de la dolomita (δC^{13}_{PDB} medios de -6.0 ‰) sugieren una fuente orgánica para el C. Lateralmente, las capas de calizas muestran morfologías onduladas, estructuras de escape de gases y biolaminación interna que puede estar rota por bioturbación de raíces. La buena preservación de macro y microfábricas, que son muy similares a las que se hallan en tapices microbianos modernos, ayuda a entender mejor las condiciones de formación de las rocas del techo de la Unidad Intermedia aunque presenten transformaciones diagenéticas.

Abstract

Sepiolite and palygorskite commonly occur associated with dolomite in the middle Miocene successions of the Madrid and Duero basins. These minerals were deposited in brackish to saline and shallow lakes, although the formation processes of this association are still not well constrained. By the study and identification of biosignatures in these minerals, the role of microbial processes in their genesis have gained attention among researchers. The study of microbial sediments in modern saline lakes offers additional support to the biogenetic origin of Mg-clays in the organic matrix of the microbial mats (Del Buey et al., 2018). Here we report a microbialite-bearing succession that form the top interval of the Intermediate Miocene Unit of the Madrid Basin. This succession covers a large geographic area of several km² in the Mesa de Ocaña (Toledo). The succession consists of marls interbedded with smooth to gently undulated limestone beds. The marls are made up of a mixture of dolomite and minor magnesite, fibrous Mg-clays (sepiolite and palygorskite) and silt sized detrital grains, and exhibit densely laminated microfabrics. The mineralogical and isotopic features of dolomite (average δC^{13}_{PDB} values of -6.0 ‰) confirm a potential organic carbon source. Laterally, the limestones form smooth to gently undulated beds with inner microlamination locally disrupted by root bioturbation. These well-preserved fossil microbialites can reinforce our understanding of the prevailing conditions during the deposition of the rocks forming the upper part of the Intermediate Unit, beyond diagenetic transformations.

Distribución de facies y evolución secuencial en el margen oriental de la Cuenca Ibérica al final del Cretácico (Maestrazgo, Teruel).

Facies distribution and sequential evolution in the Oriental Margin of the Iberian Basin at the end of Cretaceous (Maestrazgo, Teruel).

D. Torromé[1], M. Aurell[1] y B. Bádenas[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza 50001 Zaragoza. dtorrome@unizar.es.

Palabras clave: Análisis de facies, Secuencias, Cretácico Superior, Cuenca Ibérica

Resumen

Las unidades marinas del Cretácico Superior en la Cordillera Ibérica conforman un gran ciclo transgresivo-regresivo de primer orden, a su vez dividido en secuencias de orden mayor. Trabajos previos en las series de esta edad en el ámbito de la Cuenca Ibérica han propuesto el eustatismo como uno de los principales factores que controló esta arquitectura estratigráfica. En el presente estudio se ha realizado el análisis de facies y secuencial en las formaciones Cañadilla y Fortanete (Santoniense terminal–Campaniense?; García *et al.* 2004), correspondientes al margen oriental de la Cuenca Ibérica (sector del Maestrazgo), donde estas unidades tienen un espesor conjunto de 20 a 80 m. El análisis y correlación de diez columnas estratigráficas elaboradas capa a capa han permitido la identificación de dos ciclos transgresivo-regresivos de tercer orden, formados a su vez por secuencias de mayor orden somerizantes o profundizantes-somerizantes, de 1–3 m de espesor medio, limitadas por superficies de exposición subaérea o bien de detención. Estas secuencias incluyen una gran variedad de facies submareales e inter- supramareales. El análisis secuencial ha permitido precisar la evolución vertical y lateral de las facies, y la evolución paleogeográfica del margen oriental de la Cuenca Ibérica en relación con los factores externos, tales como el clima o la incipiente orogénesis de la Cordillera Ibérica.

Abstract

The Upper Cretaceous marine successions in the Iberian Range constitute a large transgressive-regressive first-order cycle, which can also be subdivided in higher-order sequences. Previous studies of these units in the Iberian Basin have proposed eustasy as one of the main factors controlling the observed stratigraphic architecture. This work is focussed on the sequential and facies analysis of the Cañadilla and Fortanete formations (Upper Santonian-Campanian?; García et al. 2004), located in the oriental margin of the Iberian Range (Maestrazgo), where these units have a thickness ranging from 20 to 80 m. The analysis and correlation of ten detailed stratigraphic logs have allowed the identification of two third-order transgressive-regressive cycles, which in turn are subdivided in shallowing or deepening-shallowing higher-order sequences (1 to 3 m of average thickness). These small scale sequences are limited by subaereal exposure or detention surfaces and include a high variety of subtidal and inter-supratidal facies. Sequential analysis has helped to decipher the vertical and lateral distribution of facies and the palaeogeographic evolution of the oriental margin of the Iberian Basin, in relation with external factors (climate and the Iberian Range orogeny).

Referencias

García, A., Mas, R., Segura, M., Carenas, B., García-Hidalgo, J.F., Gil, J., Alonso, A., Aurell, M., Bádenas, B., Benito, M.I., Meléndez, A., y Salas, R. (2004. En: *Geología de España* (J.A. Vera). 510-522.

Ensayo de intervención en los macrofósiles de vertebrados de los yacimientos de las “Hoces de Beteta” (Cuenca, España)

Intervention test in the macrofossil remains of the sites of the “Hoces de Beteta” (Cuenca, Spain)

M.R. Alcalde-Fuentes[1], J. Audije-Gil[2,3], F. Barroso-Barcenilla[2,4], M. Berrocal-Casero[2,4], I. Claver-Díaz[4], S. Ozkaya de Juanas[2] y J.A. Pérez-Valera[4,5]

1 Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. mariar.alcalde@uam.es
2 Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente (Grupos de Investigación PaleoIbérica e IberCreta), Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España. julia.audije@uah.es, fbarroso@uah.es, senay.ozkaya@edu.uah.es
3 Departamento de Biología (Laboratorio de Poblaciones del Pasado), Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. julia.audije@estudiante.uam.es
4 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología (Grupo de Investigación Procesos Bióticos Mesozoicos), Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España. fbarroso@geo.ucm.es, melani.berrocal@ucm.es, idclaver@ucm.es, japerezv@ucm.es
5 Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080 Alicante, España. japerezv@ua.es

Resumen: Las distintas intervenciones realizadas hasta la fecha en los yacimientos paleontológicos de las “Hoces de Beteta” han permitido recuperar, además de numerosos microfósiles y macrorrestos de invertebrados, diversos restos de vertebrados. Con el objetivo de desarrollar una capacidad de análisis que permita argumentar, en términos precisos, las decisiones tomadas con respecto al proceso restaurador más adecuado para la preparación y conservación de los ejemplares óseos obtenidos, entre éstos, se ha seleccionado, por su representatividad, un fósil procedente del yacimiento de Vadillos-1. El ejemplar elegido, correspondiente a un resto postcraneal de Dinosauria, se encontraba en un estado de preservación relativamente bueno, pero partido en siete fragmentos, presentándose uno de ellos parcialmente recubierto por una concreción carbonatada de elevada consistencia. A este fragmento se le han aplicado ciclos experimentales de limpieza química y mecánica, estableciéndose tratamientos con ácido clorhídrico (HCl) diluido del 15 al 5%, en intervalos de tiempo de 1 a 72h, seguidos de ensayos de eliminación de la matriz mediante aguja percutora. Finalizada la limpieza química y mecánica, se ha procedido a realizar una valoración estimativa de los ciclos desarrollados, mostrándose más eficaces los que incluyen un tratamiento químico más prolongado con ácido más diluido. Por último, los siete fragmentos se han unido mediante un adhesivo concentrado reversible, quedando el resto óseo siglado y depositado en condiciones de preservación adecuadas.

Palabras clave: Restauración, limpieza mecánica, limpieza química, macrovertebrados, “Hoces de Beteta”.

Abstract: *The different interventions carried out to date at the palaeontological sites of the “Hoces de Beteta” have allowed to recover, along with numerous microfossils and invertebrate macroremains, diverse vertebrate remains. Aiming to develop the analysis capacity which will allow to argument, in precise terms, the decisions made concerning the most appropriate restoration process for the preparation and preservation of the obtained bone specimens, among these, it has been selected, and due its representativeness, a fossil from the Vadillos-1 site. The chosen specimen corresponds to a postcranial remain of Dinosauria, which was in an adequate preservation state, but fragmented in seven pieces, one of them partially covered by a highly consistent carbonate concretion. Five experimental cycles of chemical and mechanical cleaning have been carried through to this piece, stablishing treatments with hydrogen chloride (HCI) diluted from 15 to 5%, in temporal intervals from 1 to 72h, followed by matrix elimination tests with a hand engraver. Once finished the chemical and mechanical cleaning, an estimative assessment of the developed cycles has been carried out, showing as more efficient those which include a more prolonged chemical treatment with more diluted acid. Finally, the seven fragments have been put together using reversible concentrated adhesive, remaining the specimen labelled and deposited in suitable preservation conditions.*

Keywords: *Restoration, mechanical cleaning, chemical cleaning, macrovertebrates, “Hoces de Beteta”.*

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos paleontológicos de las "Hoces de Beteta" incluyen tres afloramientos, denominados Vadillos-1, Vadillos-2 y El Tobar, que se encuentran localizados en el norte de la Serranía de Cuenca (centro de España). Concretamente se sitúan en el paraje denominado "Hoz de Beteta", una amplia garganta natural formada por un grupo de cañones excavados por el río Guadiela y su afluente, el arroyo Masegar. La zona se encuentra incluida en la hoja MAGNA 539 de Peralejos de las Truchas (Álvaro López y Olmo Zamora, 1989), quedando los tres yacimientos situados en materiales del Cretácico Inferior en facies "Weald", que corresponden a lutitas marrones, grises y rojizas, con intercalaciones de calizas y areniscas.

La existencia de restos de vertebrados procedentes de la localidad de Vadillos (sin ubicación geográfica precisa) ya fue apuntada por Curnelle (1968). Este autor, en su estudio sobre la Geología de la Serranía de Cuenca, citó huesos de saurópodos, terópodos y de *Iguanodon* sp. Por su parte, Lapparent *et al.* (1969) analizaron en detalle el material paleontológico recolectado por Curnelle en niveles de "arcillas rojas y gravas gruesas", asignando una edad Hauteriviense-Barremiense (Cretácico Inferior) en base al análisis de las carofitas encontradas. Los restos de vertebrados fósiles fueron atribuidos a Sauropoda indet. (seis vértebras caudales y algunos fragmentos de huesos largos), así como a Theropoda indet. (dos vértebras dorsales, una vértebra caudal y una tibia) e *Iguanodon* sp. (cuatro vértebras que actualmente sólo pueden ser atribuidas a un Styracosterna, según Lapparent *et al.*, 1969). Una parte de este material fósil histórico originario de Vadillos desapareció posteriormente, mientras que otra parte fue depositada en el *Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris* (MNHN, Francia). El material que permaneció en dicho museo fue revisado posteriormente por Ruiz-Omeñaca y Canudo (2003), quienes han asignado las vértebras de saurópodos a Titanosauriformes indet.

El posterior descubrimiento y exploración de los yacimientos de Vadillos-1, Vadillos-2 y El Tobar, ha proporcionado material paleontológico adicional atribuido a restos de algas (carofitas) y plantas (macrorrestos y palinomorfos); invertebrados, como moluscos (bivalvos y gasterópodos) y crustáceos (ostrácodos); y vertebrados, como peces, anfibios, tortugas, cocodrilomorfos y, mayoritariamente, dinosaurios (tireóforos, ornitópodos y terópodos). Esta rica flora y fauna, que está siendo estudiada en detalle en la actualidad, vivió en ambientes continentales y transicionales del Barremiense superior, en áreas correspondientes a márgenes lacustres y llanuras de inundación (Barroso-Barcenilla *et al.*, 2017; Barrón *et al.*, 2019).

En los macrorrestos de vertebrados procedentes de campañas de excavación e investigación más recientes (*e.g.*, Proyectos de Investigación del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de la Junta de Castilla-La Mancha VC/SPA/180388, SBPLY/19/180801/000071) sólo se ha procedido a una intervención restauradora en aquellos ejemplares en los que se ha considerado estrictamente necesario, después del examen científico de los mismos, y con objeto de facilitar su estudio. En estos casos, se ha dejado constancia de los procedimientos, criterios utilizados y personal que ha realizado la labor restauradora.

MATERIAL Y MÉTODOS

La toma de decisiones que permitan plantear adecuadamente una intervención restauradora (Gómez González, 1998) se fundamenta, por un lado, en la revisión bibliográfica de la documentación histórica (investigaciones previas sobre el yacimiento y el estado de su material) y de los criterios de actuación según el decálogo de restauración. Y, por otro lado, se basa en la caracterización de los materiales procedentes del yacimiento en estudio. La diagnosis de la estructura material de los fósiles, de su estado de conservación y sus características tafonómicas, se determina mediante la realización de un examen científico, desarrollando la misma metodología de análisis para conseguir un conocimiento más profundo de la técnica de intervención restauradora apropiada. Esta diagnosis parte de un análisis organoléptico y se complementa con ensayos de técnicas de limpieza en laboratorio (Gómez González, 1998).

En las Hoces de Beteta, los macrofósiles de vertebrados del Cretácico Inferior aparecen en su mayoría como restos dispersos y desarticulados, expuestos sobre la superficie de los yacimientos. Corresponden principalmente a elementos apendiculares, vertebrales y costales asignables a Dinosauria, habitualmente fragmentados y preservados en bioapatito, que en ocasiones se presentan parcialmente cubiertos por una resistente matriz carbonatada y con su interior parcialmente reemplazado por cristales de calcita con crecimiento en geoda (Prieto *et al.*, 2016; Barroso-Barcenilla *et al.*, 2017).

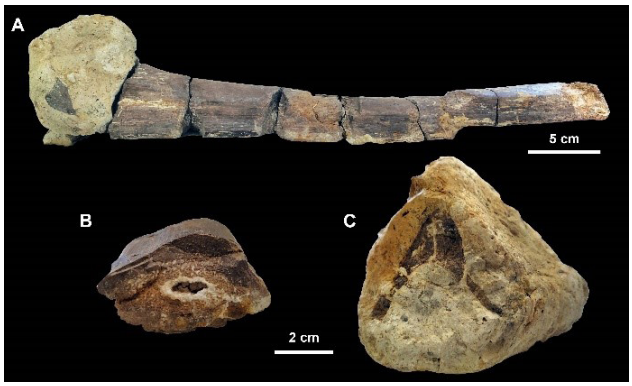


FIGURA 1. A) Macrorresto de vertebrado seleccionado, procedente del yacimiento de Vadillos-1. B) Vista en sección de uno de sus fragmentos, con el interior parcialmente reemplazado por cristales de calcita, pero adecuadamente consolidado y limpio. C) Vista en sección del fragmento recubierto por una concreción carbonatada endurecida.

Entre los macrofósiles de vertebrados obtenidos, se ha seleccionado, como elemento representativo para el ensayo de técnicas de restauración del material óseo recuperado, un resto procedente del yacimiento de Vadillos-1, que ha permitido determinar la metodología más adecuada. Este

resto se encontraba en un estado de preservación relativamente bueno, pero fracturado en siete fragmentos (Fig. 1A). Seis de ellos, aunque presentaban su interior parcialmente reemplazado por cristales de calcita, se encontraban adecuadamente consolidados y mostraban una superficie sin matriz y relativamente limpia, por lo que no ha sido necesario aplicar en el laboratorio sobre estos fragmentos más tratamiento que el de limpieza mediante un lavado con agua desmineralizada y una pequeña brocha, para retirar los escasos restos de sedimento adheridos (Fig. 1B).

Sin embargo, el séptimo fragmento se encontraba rodeado de una concreción carbonatada de naturaleza margosa que impedía una adecuada observación de su morfología, haciéndose imprescindible una eliminación de la matriz para una adecuada identificación taxonómica y anatómica del resto (Fig. 1C). Considerando la naturaleza carbonatada de la matriz y su elevada consistencia, a este fragmento se le han aplicado tratamientos experimentales de limpieza química y mecánica. Para la limpieza química se han establecido ciclos con ácido clorhídrico (HCl) al 5%, 10% y 15%, en intervalos de tiempo de 1h, 2h, 4h, 24h, 48h y 72h (Fig. 2A). Tras cada ciclo, se ha procedido a un ensayo de limpieza mecánica, realizado mediante una aguja percutora o vibroincisor, con una punta estándar de 38 mm y otra más ancha (cinceladora), unido a un compresor de aire (Fig. 2B).

El propósito de estos ensayos consiste en averiguar si la matriz carbonatada se ha debilitado lo suficiente tras aplicarle un ataque directo con ácido, y así facilitar su preparación mecánica para que sea más rápida la limpieza de los restos fósiles. Finalizada la limpieza química y mecánica los siete fragmentos se han unido con un adhesivo concentrado reversible (Fluoline A), quedando el resto óseo siglado y depositado temporalmente en el Laboratorio de Investigación Paleontológica del Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Alcalá (UAH).

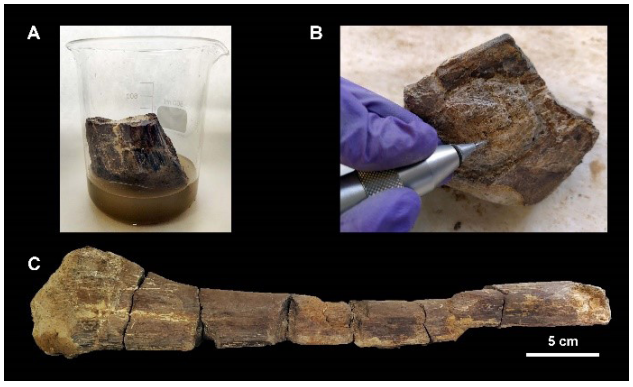


FIGURA 2. A) Limpieza química del macrorresto de vertebrado con ácido clorhídrico diluido al 5%. B) Limpieza mecánica mediante aguja percutora con punta de 38 mm. C) Detalle del fósil en conexión, tras la limpieza y la unión de sus fragmentos mediante adhesivo concentrado reversible.

DISCUSIÓN

La matriz que recubría el fragmento de resto fósil seleccionado para el ensayo se presentaba firmemente adherida a la superficie ósea y, aunque mostraba en ocasiones pequeñas áreas concrecionadas y con precipitaciones de calcita, se encontraba muy endurecida, por lo que se ha considerado que la limpieza química por inmersión total (previsiblemente prolongada o con ácido poco diluido) podría generar efectos secundarios irreversibles sobre la muestra. Por el mismo motivo, la limpieza mecánica exhaustiva (y sin previo debilitamiento químico) también podría comprometer la estabilidad y conservación del fósil. Por ello, se han realizado ensayos preliminares sistemáticos que han determinado la forma de aplicación y duración del tratamiento químico-mecánico, para que sólo afecte a la matriz sedimentaria. Así pues, se han alternado ciclos de limpieza química con limpieza mecánica parcial, y se ha mantenido el criterio más conservador posible para no comprometer la estabilidad del propio resto fósil.

Para la limpieza química se han establecido ciclos de duración determinada, de 1 a 72 h (Lindsay, 1995), y proporciones de concentración de ácido descendentes, del 15 al 5% (Tabla I), atendiendo a las medidas de seguridad y salud establecidas en la Ley (31/1995) de Prevención de Riesgos Laborales. La limpieza química se ha llevado a cabo por inmersión exclusivamente de la matriz en ácido clorhídrico en diferentes proporciones, protegiendo de este modo el resto óseo. Terminada cada limpieza química, el ácido se ha neutralizado con bicarbonato sódico, y se ha procedido a aplicar una limpieza mecánica parcial con la aguja percutora, eliminando la matriz afectada por el tratamiento previo.

De este modo, el proceso de intervención se ha demostrado progresivamente más eficaz dado que, tras cada ciclo de limpieza química y mecánica, la matriz se ha presentado cada vez menos compacta, consiguiéndose un reblandecimiento mayor de ésta, favorecido por su baja, aunque efectiva permeabilidad. Asimismo, se ha comprobado que la diferente composición y textura de la matriz, respecto a la del resto óseo, ha facilitado la finalización de la limpieza mecánica en las capas más próximas a éste, el cual no ha mostrado inestabilidad durante el progreso de la limpieza, hasta alcanzar su superficie.

Tras la aplicación de los ciclos indicados de limpieza química y mecánica, y conseguirse la eliminación completa de la matriz, no se ha observado deterioro externo ni interno del fragmento óseo seleccionado. Una vez limpio, este fragmento y los seis restantes, en los que tampoco se han apreciado señales de deterioro, se han unido mediante un adhesivo concentrado reversible (Fluoline A) (Fig. 2C).

Finalmente, el conjunto del resto óseo recuperado se ha siglado siguiendo la metodología estándar propuesta por Davidson *et al.* (2006), para facilitar su identificación y estudio posterior, y se ha guardado en un contenedor plástico preparado a tal efecto, quedando el fósil temporalmente depositado en el Laboratorio de Investigación Paleontológica del Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente de la UAH.

Puesto que el trabajo del restaurador consiste en asegurar que todos los ejemplares sean tratados con el máximo cuidado y conservados para las generaciones futuras, asegurando así su incorporación en una colección y futuras investigaciones (Leiggi y May, 2005), se ha considerado fundamental realizar un seguimiento de las condiciones ambientales del espacio de almacenamiento, para lo que se dispone de un registrador de humedad y temperatura (*data-logger*) en la instalación.

CONCLUSIONES

Para el estudio y evaluación del método más eficaz para la restauración de los macrofósiles de vertebrados del Barremiense superior de las Hoces de Beteta, se ha seleccionado un resto óseo procedente del yacimiento de Vadillos-1. El ejemplar elegido, correspondiente a un resto postcraneal de Dinosauria, se encontraba adecuadamente consolidado, pero fragmentado, presentándose uno de sus fragmentos parcialmente recubierto por una concreción carbonatada endurecida y firmemente adherida a la superficie ósea. Para favorecer el proceso de intervención restauradora, en términos de tiempo y calidad en la ejecución, se han alternado ciclos de limpieza química, con ácido clorhídrico diluido, y mecánica, con aguja percutora. La diferente composición y textura de la matriz, respecto a la del resto óseo, ha facilitado la limpieza. La valoración de los ciclos desarrollados ha demostrado como más eficaces los que incluyen un tratamiento químico más prolongado con ácido más diluido. Una vez retirada la concreción carbonatada, siguiendo el decálogo de restauración, se ha aplicado un adhesivo concentrado reversible para la unión de los fragmentos, quedando el resto óseo siglado y depositado en condiciones de conservación adecuadas.

CICLOS	Duración					
Concentración	1 h	2 h	4 h	24 h	48 h	72 h
HCl 15%	x	x				
HCl 10%			x	x	x	
HCl 5%						x

TABLA I. Ciclos del tratamiento de limpieza con ácido clorhídrico diluido.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto de Investigación del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de Castilla-La Mancha SBPLY/19/180801/000071.

REFERENCIAS

Álvaro López, M. y Olmo Zamora, P. del. (1989): *Mapa Geológico de España 1:50.000, Segunda Serie: Peralejos de las Truchas, 539 (9-13)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Barrón, E., Barroso-Barcenilla, F. y Sevilla, P. (2019): Estudio palinológico del Barremiense de las "Hoces de Beteta" (Cuenca, España). *Libro de Resúmenes de la XXIII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*: 119-120.

Barroso-Barcenilla, F., Berrocal-Casero, M., Blain, H.A., Callapez, P.M., Cambra-Moo, O., Escaso, F., Martín-Closas, C., Ortega, F., Pérez-García, A., Prieto, I., Rodríguez-Lázaro, J.M., Ruiz-Galván, A., Sanz, J.L., Segura, M. y Sevilla, P. (2017): Geological and Palaeontological context of three new Barremian vertebrate sites in the Iberian Peninsula (Lower Cretaceous, Cuenca, Spain). *Proceedings of the Geologists' Association*, 128: 256-270.

Curnelle, R. (1968): *Études géologiques dans la Serranía de Cuenca, entre Priego et Beteta (Espagne Centrale)*. PhD Thesis, Université de Bordeaux: 177 p.

Davidson, A., Alderson, S. y Fox, M. (2006): Assembling an archival marking kit for paleontological specimens. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26: 54A.

Gómez González, M.L. (1998): *La restauración: examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Cátedra, Madrid: 436 p.

Lapparent, A.F. de, Curnelle, R., Defaut, B., Miroschedji, A. de y Pallard, B. (1969): Nouveaux gisements de Dinosaures en Espagne centrale. *Estudios Geológicos*, 25: 311-315.

Leiggi, P. y May, P. (Eds.). (2005): Vertebrate Paleontological Techniques, 1. Cambridge University Press, Cambridge: 366 p.

Lindsay, W. (1995): A review of the acid technique. En: *The Care and Conservation of Palaeontological Material* (Collins, C., ed.). Butterworth-Heinemann, Oxford: 99-105.

Prieto, I., Barroso-Barcenilla, F., Cambra-Moo, O. y Sevilla, P. (2016): Taphonomic approach to the vertebrate remains of the "Hoces de Beteta" Lower Cretaceous sites (Cuenca, Central Spain). *Libro de Resúmenes del XIV Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología - I International Meeting of Early-stage Researchers in Palaeontology: 7.*

Ruiz-Omeñaca, J.I. y Canudo, J.I. (2003): Dinosaurios (Saurischia, Ornitischia) en el Barremiense (Cretácico Inferior) de la Península Ibérica. En: *Dinosaurios y otros Reptiles Mesozoicos en España* (Pérez-Lorente, F., ed.). Instituto de Estudios Riojanos, Logroño: 269-312.

Bioestratigrafía con foraminíferos planctónicos de las capas intercaladas entre los flujos de basalto distales del Decán en Rajahmundry (SE India).

Planktic foraminiferal biostratigraphy in the intertrappean beds of the distal Deccan basalt flows at Rajahmundry (SE India).

I. Arenillas[1], J.A. Arz[1], V. Gilabert[1], I.M. Fendley[2], P.R. Renne[2,3] y J. Smit[4]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza 50009 Zaragoza. josearz@unizar.es, ias@unizar.es, vgilabert@unizar.es
2 Department of Earth and Planetary Science, University of California Berkeley, CA, 94720, USA. isabel.fendley@berkeley.edu
3 Berkeley Geochronology Center, 2455 Ridge Rd Berkeley, CA, 94709, USA. prenne@bgc.org
4 Department of Sedimentary Geology, Vrije Universeit, 1081 HV Amsterdam, Netherlands. jansmit2@icloud.com

Palabras clave: foraminíferos planctónicos, Daniense, Traps del Decán.

Resumen

Los Traps de Rajahmundry son flujos distales de basalto del Decán situados en el SE India. En Government Quarry se han identificado tres flujos, los dos inferiores separados por una unidad intertrapeana de 5 m de potencia que incluyen depósitos de medios intermareales y marinos someros. Keller *et al.* (2008) asignó este intervalo a su Subzona P1a (= biozona estándar Pα) del Daniense más temprano de foraminíferos planctónicos. Nuestro objetivo es corroborar o refutar esta datación, analizando 17 muestras levigadas de las capas intertrapeanas. Los foraminíferos planctónicos están casi ausentes. Identificamos *Eoglobigerina* sp. (tal vez *Subbotina triloculinoides*), *Parasubbotina varianta*, *Globoconusa daubjergensis* y probablemente *Parasubbotina pseudobulloides*. No se encontraron las especies típicas de la Zona Pα o la Subzona P1c. Estas asociaciones sugieren que la unidad intertrapeana pertenece a la Subzona P1a, más probablemente a la P1b, en torno al límite magnetoestratigráfico C29r/29n. Los flujos medio y superior del Decán en Rajahmundry son Daniense temprano con gran certidumbre. Hay dudas sobre la edad del flujo inferior pero, teniendo en cuenta las asociaciones de foraminíferos de las capas suprayacentes, especulamos que puedan pertenecer al Daniense más temprano.

Abstract

The Rajahmundry Traps are distal Deccan basalt flows placed in SE India. In Government Quarry, three flows have been identified, the lower two flows are separated by a 5 m-thick intertrappean unit with intertidal-shallow marine deposits. Keller et al. (2008) assigned this interval to their earliest Danian planktic foraminiferal Subzone P1a (= standard Zone Pα). Our objective is to corroborate or refute this dating, analyzing 17 samples of the intertrappean beds. Planktic foraminifera are almost absent. We identified Eoglobigerina sp. (perhaps Subbotina triloculinoides), Parasubbotina varianta, Globoconusa daubjergensis, and probably Parasubbotina pseudobulloides. No typical species of the Zone Pα or Subzone P1c were found. These assemblages suggest that the intertrappean unit belongs to the Subzone P1a, but more probably P1b, around the C29r/29n magnetozone boundary. The middle and upper Deccan flows in Rajahmundry are early Danian in age with a high level of certainty. Doubts about the age of the lower flow still remain although, taking into account the foraminiferal assemblages identified in the overlying beds, we speculate that it may belong to the earliest Danian.

References

Keller, G., Adatte, T., Gardin, S., Bartolini, A. y Bajpai, S. (2008). *Earth and Planetary Science Letters* 268, 293-311.

Nuevas secciones del límite Cretácico/Paleógeno en Haití.

New sections of the Cretaceous/Paleogene boundary in Haiti.

J.A. Arz[1], I. Arenillas[1], J.M. Grajales-Nishimura[2], T. Calmus[3] y V. Gilabert[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza 50009 Zaragoza. josearz@unizar.es, ias@unizar.es, vgilabert@unizar.es
2 Dpto. Geología Regional, Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México D.F. 04510, México. mgrajales@geologia.unam.mx
3 Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM, Hermosillo, Sonora 83000, México. tcalmus@unam.mx

Palabras clave: foraminíferos planctónicos, bioestratigrafía, eyecta de impacto, Chicxulub, Caribe.

Resumen

Las secciones de Beloc (Haití) contienen tectitas con vidrio inalterado, lo que permitió a Renne *et al.* (2013) obtener dataciones con Ar^{40}/Ar^{39} (66,032 ± 0,008 Ma). Otros afloramientos con capas múltiples de tectitas han sido interpretados como resultado de múltiples impactos asteroidales (Keller *et al.*, 2001). Para evaluar la edad de estos depósitos, se ha realizado un estudio bioestratigráfico con foraminíferos planctónicos a partir de muestreos de alta resolución, en tres localidades cercanas a Beloc. En Nam Pak y Roche à Pierre aflora una única capa de tectitas de unos 15 cm. Las margocalizas subyacentes a la capa de eyecta pertenecen a la última biozona del Maastrichtiense (Zona CF1). Sobre la capa de tectitas se han reconocido las biozonas basales del Daniense (Zona P0 y parte inferior de Zona Pα), lo que demuestra la continuidad sedimentaria a través del límite K/Pg. En Piton Premon aflora un depósito complejo de entre 8 y 9 m de potencia, en el que se observan múltiples capas de eyecta entre material carbonatado deformado. El análisis sedimentológico y bioestratigráfico ha permitido demostrar que la aparente multiplicidad de niveles de eyecta es debida a slumps relacionados con los efectos sísmicos del impacto de Chicxulub en el K/Pg.

Abstract

The sections of Beloc (Haiti) contain tektites with unaltered glass, which allowed Renne et al. (2013) to perform Ar^{40}/Ar^{39} dating (66.032 ± 0.008 Ma). Other outcrops with multiple layers of tektites in this same area have been interpreted as the result of multiple asteroid impacts (Keller et al., 2001). To evaluate the age of these deposits, a biostratigraphic study with planktic foraminifera has been carried out based on high-resolution sampling at three new locations near Beloc. In Nam Pak and Roche à Pierre, a ~15 cm-thick single layer of tektites outcrops. The marly limestones underlying this layer belong to the uppermost biozone of the Maastrichtian (CF1 Zone). The basal Danian biozones (Zone P0 and lower part of the Zone Pα) have been recognized on the tektite layer, which demonstrates sedimentary continuity across the K/Pg boundary. In Piton Premon a complex 8-9 m thickness deposit outcrops in which multiple layers of ejecta are observed between deformed carbonated material. Sedimentological and biostratigraphical analysis has shown that the apparent multiplicity of ejecta levels is due to slumps related to the seismic effects of the Chicxulub impact on the KPB.

Referencias

Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Stüben, D. y Berner, Z. (2001). *Canadian Journal of Earth Sciences* 38, 197-227.

Renne, P.R., Deino, A.L., Hilgen, F.J., Kuiper, K.F., Mark, D.F., Mitchell III, W.S., Morgan, L.E., Mundil, R. y Smit, J. (2013). *Science* 339, 684-687.

Historia de las aportaciones paleontológicas del Museo Geológico del Seminario de Barcelona.

History of the palaeontological contributions of the Geological Museum of the Seminary of Barcelona.

J. F. Carrasco y S. Calzada

Museo Geológico del Seminario de Barcelona, Diputació 231, 08007 Barcelona. almeracomas@hotmail.com

Palabras clave: paleontología, invertebrados, museo, Barcelona, España.

Resumen

El Museo Geológico del Seminario de Barcelona se fundó en 1874 como resultado de la actividad docente del Dr. Jaime Almera Comas. Con motivo del centenario del Museo, Vía (1975) redactó su historia. Aquí sólo se indica el aspecto paleontológico, tomando como referencia sus cuatro directores. 1) *Obra de Almera (1874-1919)*: las monografías de la fauna del Plioceno. 2) *Obra de Bataller (1926-1962)*: especialista en corales cretácicos, creando especies nuevas. Su obra "Sinopsis de las especies nuevas del Cretácico de España" es de obligada consulta. 3) *Obra de Vía (1962-1991)*: especialista en crustáceos decápodos del Eoceno. Es uno de los pocos españoles citados en el Treatise (1969). Estudió el yacimiento triásico de Alcover-Montral, describiendo (con Villalta) nuevos taxones. En 1978 creó la Typoteca, muestra de la investigación hecha en el Museo. 4) *Obra de Calzada (1992-…)*: especialista en braquiópodos cretácicos. Creó especies y géneros nuevos, aceptados por el nuevo *Treatise* (2002). Potenció las revistas paleontológicas *Batalleria* (nº 26, 2019) y *Scripta MGSB* (nº 25, 2019) y promovió la investigación: equinoideos eocenos por Carrasco, moluscos eocenos por Abad, etc.

Abstract

The Geological Museum of the Seminary of Barcelona was founded in 1874, due to teaching activity of Dr. Jaime Almera Comas. His history was written by Vía (1975). Here only the paleontological aspect is indicated, by means of the work of four consecutive directors. 1) Palaeontological work of Almera (1874-1919): his monographs on Pliocenic fauna. 2) Work of Bataller (1926-1962): Cretaceous Anthozoa specialist who described several new species. His work "Sinopsis de las especies nuevas del Cretácico de España" is a must. 3) Work of Vía (1962-1991): specialist on Eocenic Decapoda Crustacea, with several new genera and species. His opinion is acknowledged in the Treatise (1969). Vía (with Villalta) described the Triassic outcrop of Alcover-Montral. This outcrop is very important because of relevant new taxa. Vía founded in1978 the Typoteca, which shows the museum's research. 4) Work of Calzada (1992-…): specialist on Cretaceous brachiopoda, who described several new genera and species. The genera have been accepted by the new Treatise (2002). Calzada improved the palaeontological journals Batalleria (nº 26 in 2019) and Scripta MGSB (nº 25 in 2019) and promoted research: Carrasco, specialist on eocenic echinoids; Abad, specialist on eocenic mollusks, etc.

Referencias

Vía, L. (1975). *Cien años de investigación geológica. (En el centenario del Museo Geológico creado por el Dr. Almera en 1874*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, 164 p.

Nuevos ejemplares de *Protaldonaia morenica* Sdzuy, 1961 (Trilobita) en el yacimiento cámbrico de El Pozuelo, sierra de Huelva.

New specimens of Protaldonaia morenica Sdzuy, 1961 (Trilobita) from El Pozuelo fossil site (lower Cambrian), sierra of Huelva.

L. Collantes[1], E. Mayoral[1] y R. Gozalo[2]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva 21007 Huelva. luis.collantes.geo@gmail.com; mayoral@dgeo.uhu.es

2 Dpto. Botánica y Geología, Universitat de València, Dr. Moliner 50, E-46100 Burjassot. rodolfo.gozalo@uv.es

Palabras clave: *Protaldonaia*, Ossa-Morena, Marianiense, Serie 2 del Cámbrico, Parque Natural de Sierra de Aracena y Picos de Aroche

Resumen

Protaldonaia morenica es una especie endémica del Cámbrico inferior de la Zona de Ossa-Morena, suroeste de la península Ibérica; estando descrita en diversas localidades de las provincias de Huelva y Badajoz. Inicialmente, Sdzuy (1971) la incluye dentro de la fauna superior del piso Marianiense, junto con otros trilobites Protolenidae, Ellipsocephalidae y Redlichidae. Posteriormente, Liñán (1984) y trabajos subsiguientes señalan a *Protaldonaia* como un género presente en el Marianiense medio. Por último, Liñán *et al.* (1993) indican que es un género que puede ser tanto del Marianiense medio como superior. Se describen nuevos especímenes de *P. morenica* procedentes del yacimiento cámbrico de El Pozuelo, en el municipio onubense de Arroyomolinos de León y dentro del Parque Natural de Sierra de Aracena y Picos de Aroche. Dicho yacimiento se encuentra ubicado dentro la Cubeta de Herrerías, en materiales pertenecientes a las Pizarras de Herrerías. La presencia conjunta de *P. morenica* con trilobites miómeros de los géneros *Serrodiscus* y *Calodiscus* en el yacimiento de El Pozuelo les confiere a estos materiales una edad Marianiense superior. Por otro lado, al encontrarse citada esta especie en otras localidades cámbricas de Ossa-Morena, permite la correlación a nivel regional entre distintas cubetas cámbricas. Este trabajo es una contribución al proyecto PICG 652 “Reading geologic time in Palaeozoic sedimentary rocks”.

Abstract

Protaldonaia morenica is an endemic species from the Lower Cambrian of the Ossa-Morena Zone, southwestern Iberian Peninsula; being described in several localities in the provinces of Huelva and Badajoz. Initially, Sdzuy (1971) includes it within the upper fauna of the Marianian stage, together with Protolenidae, Ellipsocephalidae, and Redlichidae. Afterwards, Liñán (1984) and subsequent works pointed out Protaldonaia as an index of the middle Marianian. Finally, Liñán et al. (1993) indicate that it is a genus that can be present in both middle and upper Marianian. New specimens of P. morenica are described from El Pozuelo fossil site, in the municipality of Arroyomolinos de León, in the Sierra de Aracena y Picos de Aroche Natural Park. This site is located within Herrerías Cubeta; in levels assigned to Herrerías shales. The joint presence of P. morenica with myomeric trilobites of the gena Serrodiscus and Calodiscus at El Pozuelo fossil site gives these materials an upper Marianian age. On the other hand, as this species is cited in other Cambrian sites into Ossa-Morena Zone, it allows regional correlations between different Cambrian cubetas. This work is a contribution to IGCP Project 652 “Reading geologic time in Palaeozoic sedimentary rocks”.

Referencias

Liñán, E. (1984). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 8, 283-314.

Liñán, E., Perejón, A. y Sdzuy, K. (1993). *Geological Magazine* 130, 817-833.

Sdzuy, K. (1971). En: *l Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica*. Sección 1, Geología, 2, 753-768.

Microperforaciones en conchas fósiles de bivalvos de agua dulce.

Microborings in fossil freshwater bivalve shells.

G. Delvene[1], R.P. Lozano[1], L. Piñuela[2], R. Mediavilla[3] y J.C. García-Ramos[2]

1 Museo Geominero (IGME), g.delvene@igme.es, r.lozano@igme.es
2 Museo del Jurásico de Asturias (MUJA), lpinuela.muja@gmail.com, jcgramos.muja@gmail.com
3 Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, r.mediavilla@igme.es

Palabras clave: bivalvos, microscopía confocal, continental, bioerosión, España.

Resumen

Las conchas de *Unio* (Bivalvia: Unionoida), que conservan su estructura aragonítica original, fueron recogidas en arcillas del Pleistoceno Superior situadas en el subsuelo del entorno del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (Villarrubia de los Ojos, Ciudad Real). Las conchas de Unionoida, cuyo aragonito ha sido reemplazado por calcita proceden de la Fm. Vega del Kimmeridgiense de Abeu (Asturias). El estudio de la microestructura de las conchas de ambos taxones, con microscopía óptica de luz transmitida y microscopía de barrido láser confocal sobre lámina delgada, ha revelado la existencia de unas estructuras que se corresponden a microperforaciones de origen orgánico. Las microperforaciones se localizan tanto en la superficie externa como en la interna de las conchas. Se han observado microperforaciones de morfologías filamentosas y cilíndricas, perpendiculares a la concha, que en profundidad se hacen más oblicuas. El diámetro de las perforaciones varía entre 1 y 40 μm en los ejemplares pleistocenos y entre 5 y 6 μm en los jurásicos. Desde el exterior de la concha, las perforaciones progresan hasta 750 μm en los ejemplares pleistocenos y hasta 110 μm en los jurásicos. Bajo el microscopio confocal las perforaciones son autofluorescentes. Aunque estas perforaciones han sido muy estudiadas en bivalvos actuales, ya sean marinos (Mao Che *et al.*, 1996) o de agua dulce (Tribollet *et al.*, 2008), el conocimiento de estas estructuras en material fósil es mucho más limitado. El análisis de los datos morfométricos junto con el estudio de la fluorescencia natural podría aportar claves para la determinación de los microorganismos endolíticos responsables de la formación de estas estructuras, que en conchas actuales suelen interpretarse como cianobacterias, algas y hongos.

Abstract

The Unio shells (Bivalvia: Unionoida) which preserve their original aragonitic structure were collected from Upper Pleistocene clays located in the subsoil around the Tablas de Daimiel National Park (Villarrubia de los Ojos, Ciudad Real). The Unionoida shells whose aragonite has been replaced by calcite come from the Vega Fm of the Kimmeridgian in Abeu (Asturias). The study of the microstructure of the shells of both taxa, with transmitted light optical microscopy and confocal laser scanning microscopy on thin section, has revealed the existence of structures that correspond to microborings of organic origin. Microborings are located both on the external and internal surface of the shells. Filamentous and cylindrical perforations penetrate perpendicular to the shell surface, which in depth become more oblique. Pleistocene specimens and Jurassic ones are 1 to 40 μm, and 5 to 6 μm in diameter, respectively. The penetration in depth is up to 750 μm in Pleistocene specimens and up to 110 μm in the Jurassic ones. The perforations are auto-fluorescent under confocal laser scanning microscope. While microboring are well known in marine marinos (Mao Che et al., 1996) or freshwater (Tribollet et al., 2008) extant bivalves, but fossil examples are much more scarce. The analysis of the morphometric data and auto-fluorescence could provide keys for the determination of the endolithic microorganisms responsible for the formation of these structures, which in extant bivalves are usually interpreted as cyanobacteria, algae and fungi.

Referencias

Mao Che, L., Le Campion-Alsumard, T., Boury-Esnault, N., Payri, C., Golubic, S. y Bézac, C. (1996). *Marine Biology* 126, 509-519.

Tribollet, A., Veinott, G., Golubic, S. y Dart, R. (2008). *Algological Studies* 126, 65-77.

Los bivalvos de agua dulce de la Mina de Ariño (Teruel, España).

Freshwater bivalves from Ariño Mine (Teruel, Spain).

G. Delvene[1], M.C. Munt[2], L. Alcalá[3], E. Espílez[3], L. Mampel[3] y R. Royo-Torres[3]

1 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. g.delvene@igme.es
2 Dinosaur Isle Museum, Culver Parade, Sandown, Isle of Wight, PO36 8QA, Reino Unido. Martin. Munt@IOW.GOV.UK
3 Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis, Avda. Sagunto s/n, 44002 Teruel. alcala@fundaciondinopolis.org; espilez@fundaciondinopolis.org; mampel@fundaciondinopolis.org; royo@dinopolis.com

Palabras clave: bivalvos, continental, Cretácico Inferior, Unionoida, Europa.

Resumen

La Mina Santa María de Ariño (Teruel) se caracteriza por su gran riqueza paleontológica en lo referente a numerosos taxones nuevos que se han definido en la Fm. Escucha de edad Albiense (Alcalá *et al.*, 2012; Tibert *et al.*, 2013). Algunos niveles de margas negras contienen un delicado material de bivalvos, posiblemente pertenecientes a nuevas especies. Los ejemplares son muy frágiles y están conservados en carbonatos pulverulentos de color blanco que contrastan enormemente con la matriz. Se pueden reconocer al menos cuatro morfotipos diferentes, uno de ellos pudiendo corresponder a elementos juveniles de uno de los otros taxones principales. El rasgo morfológico clave para su identificación taxonómica es el tipo de ornamentación umbonal bilobulada (Watters, 2001) que los caracteriza como del orden Unionoida. Algunos de los taxones pueden ser coespecíficos con los bivalvos del Cretácico Inferior de Francia e Inglaterra. Uno de los morfotipos se caracteriza por su concha fina y su morfología ovalada. Su convexidad es moderada y su umbo no prominente se sitúa anteriormente respecto a la longitud de la concha. Junto con la ornamentación umbonal bilobulada, es característico de los Anodontinae (Unionoida). Si esto se confirma, sería el tercer registro de Anodontinae del Cretácico de Europa, y el segundo de España.

Abstract

The open-cast Santa María Ariño mine (Teruel, Spain) is characterized by its significant palaeontological richness where several new taxa of different taxonomic groups were defined. The mine is cut into the Escucha Fm, which comprises black marls of Albian age (Alcalá et al., 2012; Tibert et al., 2013). Some black clays levels have yielded a rich non-marine bivalve fauna, comprising potentially new species, preserved as fragile, powdery white carbonate. At least four distinct bivalve morphotypes can be recognised, however, one could be juveniles of one of the larger forms. The most important key morphological feature for their taxonomic identification is the type of umbonal ornamentation (Watters, 2001) in double loop that characterizes them as order Unionoida. Some of the taxa maybe conspecific with Early Cretaceous bivalves from France and England. Significantly, in one form the shell is thin and oval in outline shape. The shell is only moderately inflated with a weak umbo located anteriorly respect to the length of the shell, which preserves distinct double loop ornamentation, which combined with a thin shell characterises the Anodontinae (Unionoida). If this is confirmed, it will be only the third record of the Anodontinae from the Cretaceous of Europe, and the second from Spain.

Referencias

Alcalá, L., Espílez, E., Mampel, L., Kirkland, J. I., Ortiga, M., Rubio. D., González, A., Ayala. D., Cobos, A., Royo-Torres, R., Gascó, F. y Pesquero, M. D. (2012). *Geoheritage* 4, 275-286.

Tibert, N.E., Colin, J.P., Kirkland, J.I., Alcalá, L. y Martín-Closas, C. (2013). *Micropaleontology* 59 (1), 83-91.

Watters, G. T. (2001). Bauer, G. y Wächtler, K. (eds.). *Ecological studies* 145, 281-307.

Este trabajo forma parte del proyecto PGC2018-094034-B-C2 (Gobierno de España) y Grupo de Investigación de Referencia E04_17R FOCONTUR (Dep. de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón, and FEDER Aragón 2014-2020. "Construyendo Europa desde Aragón").

Uso combinado de técnicas de imagen 2D y 3D para el análisis icnológico de sondeos de sedimentos marinos modernos

Combining 2D and 3D imaging techniques for the ichnological analysis of cores from modern marine sediments

J. Dorador[1], F.J. Rodríguez-Tovar[2] y J. Titschack[3]

1 Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London, TW20 0EX Egham, Reino Unido. Javier.Dorador@rhul.ac.uk
2 Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Av. Fuente nueva s/n 18071, Granada, España. fjrtovar@ugr.es
3 MARUM – Centre for Marine Environmental Sciences, Bremen, Germany. jtitschack@marum.de

Resumen: Durante las últimas décadas, el análisis icnológico se ha consolidado como una herramienta de gran utilidad en diferentes disciplinas geológicas, gracias a su aplicación en estudios paleoclimáticos o en la exploración de hidrocarburos, entre otros. Gran parte de estos estudios se realizan en sondeos, con las limitaciones de visibilidad que ello conlleva, especialmente cuando se trata de sedimentos marinos modernos poco consolidados. En los últimos años, tratamientos de imágenes 2D han permitido avanzar en la mejora de la visibilidad de las trazas fósiles y en la identificación de determinadas características icnológicas. Asimismo, se ha recurrido a técnicas de tomografía computarizada (CT) en 3D, pero con escaso éxito dado el bajo contraste de densidad existente entre las trazas fósiles y el sedimento que las rodea. Aquí presentamos una técnica de procesado de CT que permite aislar por primera vez algunas estructuras en este tipo de sedimentos e identificar algunos rasgos icnológicos de interés como la orientación dominante. La integración de esta información con los datos obtenidos en el estudio de imágenes de alta resolución de 2D, incrementa la resolución del análisis icnológico, mejorando las interpretaciones obtenidas.

Palabras clave: Análisis icnológico, tratamiento de imágenes, tomografía computarizada, paleoclimatología, exploración de hidrocarburos.

Abstract: *During last decades, ichnological analysis has become established as a very useful tool in several geological disciplines, due to its aplication on palaeoclimatic studies or hydrocarbon exploration, among others. Many of those studies are conducted on sediment cores, with their visibility limitations, especially when working with poorly consolidated modern marine sediments. In the last years, 2D images treatment has been successfully applied to improve the visibility of trace fossils and the identification of some ichnological features. Moreover, 3D computed tomography (CT) techniques were applied, but with less success due to the low density contrast between the biogenic structures and the host sediment. Here we show a CT processing technique that allow to isolate for the first time some structures in modern marine sediments and to identify some interesting ichnological features as the dominant orientation. Combination of this information with the data obtained using 2D images, increase the resolution of the ichnological analysis, improving the inferred interpretations.*

Keywords: *Ichnological analysis, image treatment, computed tomography, palaeoclimatology, hydrocarbon exploration.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los estudios icnológicos son con frecuencia utilizados en diferentes disciplinas de Ciencias de la Tierra. Las trazas fósiles aportan información sobre el comportamiento de los organismos bioturbadores en función de las condiciones ambientales, lo que determina su utilidad en estudios paleoecológicos, paleoclimáticos, paleoceanográficos, o en el análisis sedimentario de cuencas, entre otros (*e.g.*, Knaust y Bromley, 2012). Además de esto, la bioturbación puede modificar determinadas propiedades de la roca encajante, como la porosidad o permeabilidad, de gran importancia en la exploración de hidrocarburos (*e.g.*, Knaust *et al.*, 2020).

En un principio, la mayoría de los estudios icnológicos se basaban en muestras de afloramiento, pero a día de hoy gran parte de estos se llevan a cabo sobre sondeos marinos. Ello permite analizar un registro excepcional por su continuidad, pero conlleva una serie de limitaciones (*e.g.*, escasa extensión lateral). Además, cuando se trabaja con sedimentos modernos, la visibilidad de las trazas fósiles es reducida. Con el objeto de mejorar esta visibilidad, en los últimos años se han desarrollado con éxito una serie de técnicas basadas en el tratamiento de imágenes 2D de alta resolución (*e.g.*, Dorador y Rodríguez-Tovar, 2018). Sin embargo, técnicas de imágenes de 3D, como es el caso de la tomografía computarizada (CT) no han sido aplicadas con éxito en este tipo de sedimentos debido al bajo contraste de densidad que existe entre el material de relleno de las trazas fósiles y el material que las rodea, lo que dificulta la visibilidad de las mismas.

Aquí presentamos los resultados obtenidos al aplicar una técnica de procesado de CT en sondeos de sedimentos marinos modernos. Por primera vez se han conseguido aislar algunas estructuras en 3D e incluso diferenciar intervalos en base a determinadas características icnológicas como la orientación dominante de las mismas (Dorador *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Numerosas secciones de sondeos extraídos durante la expedición 339 del *Integrated Ocean Drilling Program (IODP)* fueron escaneadas y procesadas usando el software Amira. Los resultados obtenidos fueron similares en todas ellas, pero se ha seleccionado una sección particular (U1385A_5H_5) para ilustrar la presente contribución (Fig. 1). Se ha realizado el tratamiento y análisis de imágenes 2D de alta resolución, así como el estudio de imágenes de 3D obtenidas con CT. El análisis icnológico se ha centrado en la identificación de las trazas, el grado de bioturbación (índice de bioturbación s. Taylor y Goldring, 1993) y la orientación de las mismas.

La asociación de trazas fósiles caracterizada a partir de las imágenes de 2D está compuesta por *Chondrites*, *Planolites*, *Thalassinoides* y *Zoophycos*. El análisis de 3D permite el reconocimiento de dos nuevas trazas que no se observaban en las imágenes bidimensionales: *Trichichnus* y *Virgaichnus*, junto a numerosas estructuras cuya identificación no fue posible. Esta variación puede ser significativa desde el punto de vista de la interpretación paleoambiental. Por ejemplo, la presencia de *Trichichnus* se relaciona con condiciones de baja oxigenación y sedimentos ricos en materia orgánica. Esta información no se hubiese obtenido en determinados intervalos de la sección de no ser por la identificación de *Trichichnus* en el análisis en 3D.

En cuanto al grado de bioturbación en general muestra un patrón similar en ambos análisis, pero con diferencias en determinados intervalos. El índice de bioturbación obtenido al combinar ambas técnicas es mayor que el correspondiente al considerar solo una de ellas. En este sentido, el estudio basado exclusivamente en una de las técnicas estimaría un valor inferior al real, lo que podría determinar interpretaciones erróneas, tanto desde el científico (*e.g.*, paleoambientales), como económico (*e.g.*, explotación de hidrocarburos), para algunos intervalos.

El procesado de datos de CT permite además caracterizar algunos rasgos icnológicos, como la orientación de las estructuras, y en base a esto diferenciar determinados intervalos en la sección. Esta información es de gran interés desde el punto de vista paleoambiental y en la exploración de hidrocarburos. La orientación de las galerías es utilizada como un indicador de la energía hidrodinámica durante el depósito. Intervalos dominados por estructuras verticales son relacionados con depósitos bajo unas condiciones relativamente altas de energía, frente a aquellos dominados por estructuras horizontales asociados a medios en calma. En el caso de la industria de hidrocarburos, la orientación dominante de las trazas fósiles puede ser útil para controlar

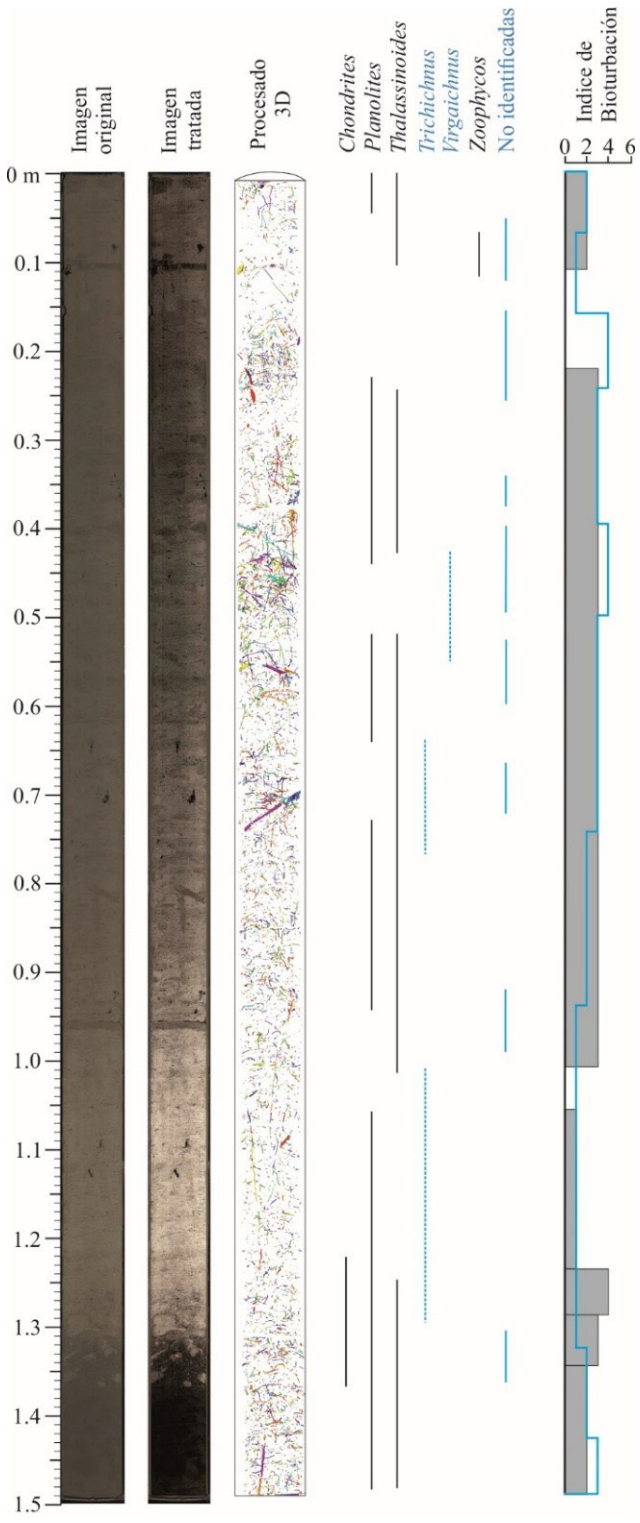


FIGURA 1. De izquierda a derecha, imagen original, imagen después del tratamiento 2D y tras el procesado 3D de la sección seleccionada. A continuación, se puede ver la asociación de trazas fósiles caracterizada y el índice de bioturbación obtenido a partir de la imagen 2D (gris) y el procesado 3D (azul).

la conectividad o las variaciones de permeabilidad vertical u horizontal de determinados intervalos, y por tanto con influencia en la dinámica de fluidos dentro del sedimento.

CONCLUSIONES

El uso combinado de técnicas de imágenes de 2D y 3D ha permitido obtener una visión más completa del contenido icnológico de sondeos marinos modernos poco consolidados. El procesado de CT aplicado permitió aislar algunas estructuras en 3D y caracterizar intervalos en base a su orientación dominante. Esta información ha sido de gran importancia para complementar aquella obtenida tras el análisis de imágenes de 2D. La integración de ambas técnicas permite mejorar las interpretaciones paleoambientales (*e.g.*, energía del medio) y obtener información importante para la exploración de hidrocarburos (i.e., conectividad y permeabilidad vertical/horizontal). Por ello se recomienda el uso combinado de ambas técnicas cuando se precise de un estudio icnológico detallado.

AGRADECIMIENTOS

La presente contribución ha sido financiada por el programa H2020 de la UE bajo el programa Marie Skłodowska-Curie IF No. 792314 (ICON-SE); por el proyecto CGL2015-66835-P (Secretaría de Estado de I + D+I, España) y la Unidad Científica de Excelencia ICE-2016-05 (Universidad de Granada).

REFERENCIAS

Dorador, J. y Rodríguez-Tovar, F.J. (2018): High-resolution image treatment in ichnological core analysis: Initial steps, advances and prospects. *Earth-Science Reviews*, 177: 226-237.

Dorador, J., Rodríguez-Tovar, F.J. y Titschack, J. (2020): Exploring computed tomography in ichnological analysis of cores from modern marine sediments. *Scientific Reports*, 10(1): 1-13.

Knaust, D. y Bromley, R. (2012): *Trace fossils as indicators of sedimentary environments.* Elsevier, Amsterdam, 924 p.

Knaust, D., Dorador, J. y Rodríguez-Tovar, F.J. (2020): Burrowed matrix powering dual porosity systems–A case study from the Maastrichtian chalk of the Gullfaks Field, Norwegian North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 113: 104158.

Taylor, A.M. y Goldring, R. (1993): Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society,* 150: 141-148.

Modularidad en el cranidio de un trilobites cámbrico protorictocefálido.

Modularity of a Cambrian protoryctocephalid trilobite cranidium.

J. Esteve y M.V. Rodríguez

Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. jv.esteve@uniandes.edu.co

Palabras clave: trilobites, Paleozoico, morfometría geométrica, integración morfológica.

Resumen

La modularidad del cranidio de un trilobites protorictocefálido cámbrico se explora utilizando métodos de morfometría geométrica para ampliar nuestro conocimiento sobre la integración morfológica responsable de la diversidad en trilobites. El objetivo es comprender cómo la estructura de la integración fenotípica fue impulsada por vías del desarrollo y/o funcionales, ya que estas interacciones pueden generar restricciones a largo plazo en la innovación evolutiva. Nos enfocamos en la hipótesis de que las partes anterior y posterior de la glabela y las partes anterior y posterior de los compartimientos de la fixigena son unidades separadas de desarrollo que varían independientemente. Medimos tanto la variación entre individuos como las diferencias aleatorias entre componentes del cranidio de individuos (asimetría fluctuante, AF). Los análisis que se centraron exclusivamente en la covarianza entre las partes anterior y posterior de los compartimentos de glabela, mediante el método de mínimos cuadrados parciales, revelaron una integración generalizada de los dos compartimentos, tanto para la variación individual como para la AF. Por tanto, los compartimentos anterior y posterior de la glabela no son unidades que varíen separadas, pero la covarianza entre los compartimentos es suficiente para explicar casi toda la variación en la glabela. En conclusión, la variación entre los individuos, así como las perturbaciones del desarrollo responsables de la AF generan variación de forma durante el desarrollo que se integran a través de ambos compartimentos. Mientras que, de la variación de forma en nuestra muestra se atribuye mucho menos a los procesos localizados que establecen la identidad de un compartimento particular. Por lo tanto, la hipótesis *a priori* de que la modularidad fue determinada por la asociación funcional entre particiones no está bien respaldada por la estructura de correlación entre compartimentos para ninguno de los componentes de la variación.

Abstract

The modularity of the cranidium of a Cambrian protoryctocephalid trilobite, is explored using geometric morphometric methods to gain knowledge into the morphological integration responsible for the shape diversity in trilobites. This work goals to understand how the structure of phenotypic integration was drove by developmental and/or functional pathways, since these interactions can generate long-term constraints on evolutionary innovation. We focus on the hypothesis that the anterior and posterior parts of the glabella compartments and anterior and posterior parts of the fixigena compartments are separate developmental units that vary independently. We measured both variation among individuals and random differences between cranidial components of individuals (fluctuating asymmetry, FA). Analyses focusing exclusively on the covariation between anterior and posterior parts of the glabella compartments, by the partial least-squares method, revealed pervasive integration of the two compartments, for both individual variation and FA. These analyses clearly indicate that the anterior and posterior compartments of the glabella are not separate units of variation, but that the covariation between compartments is sufficient to account for nearly all the variation glabella. We conclude that variation among individuals as well as the developmental perturbations responsible for FA generate shape variation through developmental processes that are integrated across both compartments. While, much less of the shape variation in our sample is attributed to the localized processes that establish the identity of particular compartment. Therefore, an a priori hypothesis that modularity was determined by functional association among partitions is not well supported by the among-partition correlation structure for either component of variation.

Evaluando la paleodiversidad de trazas fósiles de trilobites a través de modelos de locomoción y dinámica de fluidos computacional.

Assessing the palaeodiversity of trilobite trace fossils through locomotion modelling and computational fluid dynamic simulations.

J. Esteve[1], P. Rubio[2], M. López[1] y C. Ramírez-Ruiz[3]

1 Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. jv.esteve@uniandes.edu.co
2 Burashi S.L., Avda. Mª Zambrano 24 - 6B, 50018 Zaragoza, Spain.
3 Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Palabras clave: trilobites, Paleozoico, icnofósiles, Blender, simulación 3D.

Resumen

La morfología funcional y las trazas fósiles proporcionan un marco para evaluar los hábitos de vida y la paleoecología de los trilobites. Sin embargo, algunas variables como el tipo de locomoción y las corrientes de agua son difíciles de incorporar. Aquí, hacemos el primer intento de modelar la locomoción de un trilobites a través de análisis biomecánicos y de su respuesta a la variación del flujo. Para eso hemos utilizado un modelo 3D del trilobites ordovícico *Placoparia*. El modelo de locomoción muestra dos tipos de marcha que son compatibles con los animales multi-segmentados actuales (por ejemplo, miriápodos). Las pistas simuladas sugieren que los trilobites podrían haber hecho el tipo de movimientos necesarios para producir *Cruziana* (que representa la alimentación) y *Diplichnites* (que representa la marcha). La dinámica de fluidos computacional que compara el movimiento en condiciones tanto laminares como turbulentas sugiere que los pares de patas traseras podrían no haber tocado el fondo marino, y los coeficientes hidrodinámicos muestran que era posible una locomoción a saltos, al menos en *Placoparia*. Estos resultados explican la variación en el número de marcas observadas en algunas trazas fósiles atribuidos a trilobites y los aparentes saltos observados en algunas trazas (véase Seilacher *et al.*, 2005). Además, este estudio ayuda a evaluar primero la paleodiversidad de las trazas fósiles de trilobites y, en segundo lugar, la interacción entre los trilobites y el sustrato.

Abstract

Functional morphology and trace fossils provide a framework to assess the life habits and paleoecology of trilobites. However, some variables such as locomotion type and water currents are difficult to incorporate. Here, we make the first attempt to model trilobite locomotion via biomechanical attributes and their response to flow variation. For that we have used a 3D model of the trilobite Placoparia. The locomotion model shows two types of gaits which are compatible with current multilegged animals (e.g. myriapods). The simulated trackways suggest that trilobites could have made the kind of movements required to produce Cruziana (representing feeding) and Diplichnites (representing walking). Computational fluid dynamics comparing movement under laminar versus turbulent conditions suggests that the rear pairs of legs may not have touched the seafloor, and hydrodynamic coefficients show that a hopping mode of locomotion was possible, at least in Placoparia. These results explain the variation in the number of leg stretchmarks seen in some trace fossils attributed to trilobites and the putative jumps observed in some trace fossls (see Seilacher et al., 2005). Besides, this study helps to assess first the palaeodiversity of trilobite trace fossils and second the interaction between trilobites and the substrate.

Referencias

Seilacher, A., Buatois, L.A. y Mángano, M.G (2005). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227, 323-356.

Tendencias ecomorfológicas en los patrones de biodiversidad de los trilobites paleozoicos.

Ecomorphological trends in Paleozoic trilobite biodiversity patterns.

J. Esteve[1], M.G. Suárez[1] y J.J. Álvaro[2]

1 Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. jv.esteve@uniandes.edu.co
2 Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Madrid, Spain

Palabras clave: Trilobites, Paleozoico, evolución, radiación adaptativa, extinción, morfología funcional.

Resumen

El enrollamiento es un comportamiento adaptativo identificado en un número significativo de metazoos a lo largo del Fanerozoico. Este comportamiento fue utilizado por los trilobites, desde el Cámbrico hasta su extinción a finales del Pérmico. Los procesos de evolución implican cambios en la forma animal generando mecanismos adaptativos para la supervivencia. Sin embargo, los cambios morfológicos también conducen a cambios en el comportamiento, en los que los movimientos defensivos (como los desarrollados con el enrollamiento) juegan un papel importante. En este trabajo analizamos hasta seis tipos de enrollamiento en trilobites, así como diversos caracteres ecológicos y ambientales con alta influencia en la biodiversidad y abundancia, como la latitud, la batimetría y el tipo de sustrato. Se realizaron análisis estadísticos y morfométricos basados en una base de datos de aproximadamente 500 especies diferentes de trilobites desde el Cámbrico temprano hasta el Pérmico terminal y pertenecientes a todos los órdenes, latitudes y ambientes donde encontramos trilobites. Los resultados exponen patrones claros y fluctuaciones en la diversidad y disparidad morfológica durante el Paleozoico. Los datos disponibles sugieren que los tipos de enrollamiento efectivos con mejores adaptaciones que persistieron en los trilobites a lo largo de todo el Paleozoico. Por lo tanto, los trilobites con tipos de enrollamiento específicos evolucionaron para ocupar nuevos nichos ecológicos durante episodios clave de la diversificación paleozoica, tanto los relacionados con la Explosión Cámbrica, como con los Grandes Eventos de Biodiversificación Ordovícica y Carbonífero-Pérmica.

Abstract

Enrolment is an adaptive behavior identified in a significant number of metazoans over time. It was used by trilobites, from their occurrence in the early Cambrian to their extinction in the late Permian. Evolutionary processes involve changes in animal form to generate adaptive mechanisms for survival. Morphological changes also lead to changes in behavior, in which defensive movements (e.g., enrolment) play an important role. In this work, up to six types of enrolment in trilobites, as well as various ecological and environmental characters with high influence on biodiversity and abundance, such as latitude, bathymetry and type of substrate, are analyzed. Statistical and morphometric analyzes were carried out based on a dataset composed of approximately 500 different species of trilobites, ranging from the early Cambrian to the late Permian and belonging to all orders, latitudes and environments. The results expose clear patterns and changes in diversity and morphological disparity during the Paleozoic. Available data suggest that effective enrolment types with best adaptations persisted in trilobites throughout the Paleozoic. Thus, trilobites with specific enrolment types evolved to occupy new ecological niches during key episodes of Paleozoic diversification, such as the Cambrian Explosion and the Great Ordovician and Carboniferous-Permian Biodiversity Events.

Nuevo fósil de plesiosaurio del Barremiense superior de Morella (Castellón, España)

New plesiosauria remain from the upper Barremian from Morella (Castellón, Spain).

A. Jorquera-Grau[1], A. Santos-Cubedo[1,2], C. de Santisteban[3] y S. Meseguer[2]

1 Grup Guix, C/ Santa Lucia 75, E-12540 Vila-real (Castellón). anna.jorquera@gmail.com; santos.cubedo@gmail.com
2 Área de Cristalografía y Mineralogía, Dpto. de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universitat Jaume I, Av. de Vicent Sos Baynat s/n, E-12071. Castellón. smesegue@uji.es
3 Departament de Botànica i Geologia, Universitat de València, Av. Dr. Moliner 50, E-46100 Burjassot (València). carlos.santisteban@uv.es

Resumen: Los fósiles de plesiosaurios son relativamente escasos en el registro geológico europeo del Barremiense y los hallados en la Formación Arcillas de Morella constituyen la muestra más amplia para el registro de la Península Ibérica. En este trabajo se presenta nuevo material de plesiosaurios hallado en la citada formación y que se identifica aquí como Plesiosauria indet. El material fósil (una vértebra caudal anterior) proviene del yacimiento Mas Macià Querol (Morella, Castellón, España) y fueron recuperados en niveles datados como Barremiense superior (Cretácico Inferior). La presencia de facetas articulares triangulares situadas dorsalmente cerca del límite del arco neural, que no ocupan gran parte del centro, la existencia de un par de forámenes nutricios subcentrales situados muy juntos uno del otro, y la ausencia de facetas para los chevrones permiten identificar el centro vertebral como caudal anterior. Este nuevo hallazgo amplia a siete los yacimientos con fósiles de plesiosaurios en la Formación Arcillas de Morella y pone de relevancia la importancia de la misma para el estudio de estos animales en el Cretácico Inferior de la península.

Palabras clave: Sauropterygia, Formación Morella, Cretácico Inferior, Península Ibérica.

Abstract: *Plesiosaur remains are relatively scarce in the European Barremian record and fossils from the Arcillas de Morella Formation constitutes the largest sample for the Iberian record. New plesiosaur material from this unit is identified herein as Plesiosauria indet. These remains come from the Mas Macià Querol site (Morella, Castellón, Spain). They have been found in upper Barremian (Lower Cretaceous) materials. The presence of triangular articular facets located dorsally near the limit of the neural arch, which do not occupy much of the center, the existence of a pair of subcentral nutritional foramina located very close to each other, and the absence of facets for the chevrons allow us to identify the vertebral center as anterior caudal ones. This new finding extends to seven sites with fossils of plesiosaurs in the Arcillas de Morella Formation and highlights the importance of it for the study of these animals in the Lower Cretaceous of the Iberian Peninsula.*

Keywords: *Sauropterygia, Morella Formation, Lower Cretaceous, Iberian Peninsula.*

INTRODUCCIÓN

El registro fósil de plesiosaurios jurásicos en Europa es abundante, siendo mucho más escasos los fósiles del Cretácico descritos hasta la fecha (Bardet *et al.,* 2014). En la Península Ibérica, este registro también es escaso y se limita en gran medida a vértebras y dientes aislados (Quesada *et al.,* 2019). Así en la zona de estudio, la provincia de Castellón, los primeros fósiles de plesiosaurios descritos fueron dientes y vértebras de la Formación Arcillas de Morella y que provenían de los yacimientos Cantera del Mas de la Parreta (CMP) y Mas de Peteix (CMX). Yagüe *et al.* (2003) describen doce dientes de CMP que asignan a Elasmosauridae y a un pliosaurio y siete vertebras (pectorales, dorsales y caudales) que determinan como Plesiosauria indet. También identifican cinco vértebras cervicales posteriores del CMX que asignan a Elasmosauridae.

Jorquera-Grau *et al.* (2009) describieron la presencia de un centro vertebral sacral de la misma Formación en el yacimiento de Mas de Rafael (MR-To-2003), en la localidad de la Todolella, que determinaron como Plesiosauria indet. Jorquera-Grau (2010) estudia la colección de fósiles de plesiosaurios de la Cantera del Mas de la Parreta en Morella (diecinueve dientes y veintitres vértebras), identificando las vértebras CMP-3/46, CMP-3/51 y CMP-3/119 como Plesiosauroidea indet. La vértebra CMP-3c/343 la atribuye a Pliosauroidea indet., constituyendo la referencia más antigua de estos organismos en la Península Ibérica y el resto de vértebras como Plesiosauria. También reconoce dos morfologías dentarias que asigna a Plesiosauria y Elasmosauridae indet.

Ya se habían hecho referencias a Plesiosauria indet. dentro de la Formación Arcillas de Morella (Yagüe *et al.*, 2003; Jorquera Grau *et al.*, 2009) pero el hallazgo de material

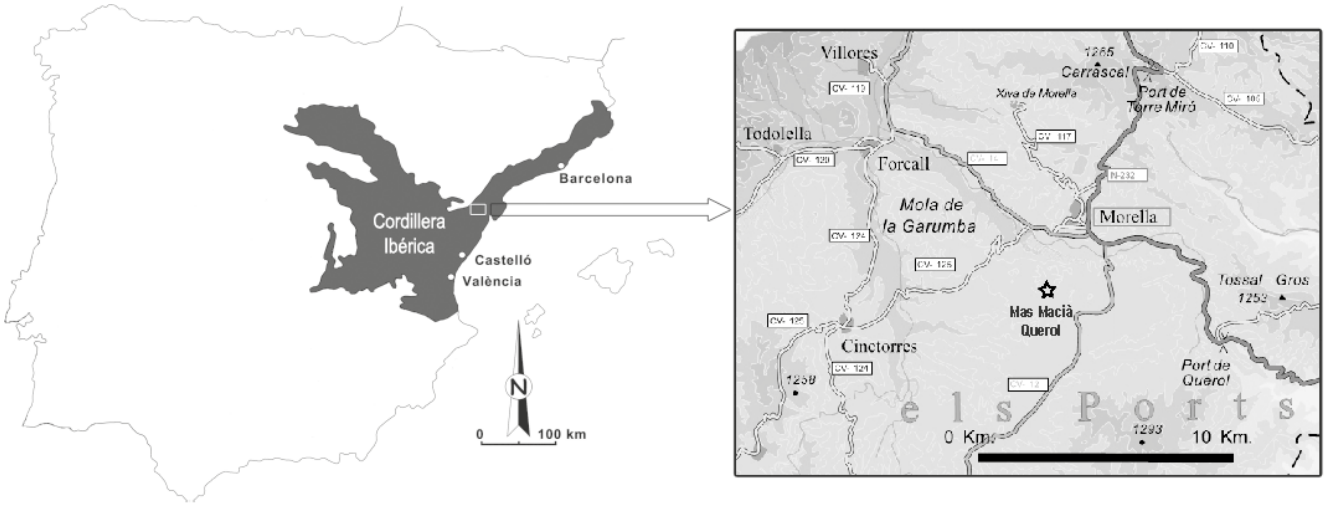


FIGURA 1. Localización geográfica del yacimiento Mas de Macià Querol, Morella (Castellón).

determinable como Pliosauroidea indet. constituía una novedad, ya que los dientes descritos por Yagüe *et al.* (2003) como pliosaurios fueron reasignados como un dinosaurio terópodo barionicino (Bardet *et al.*, 2008).

Santos-Cubedo *et al.* (2018) estudian nuevos materiales del yacimiento Bassa del Mas de Guimerà (BMG) que se encuentra en la localidad de Portell y determinan una corona dental casi completa a la que le falta la base como Elasmosauridae indet. Recientemente Quesada *et al.* (2019) reestudian parte del material de Jorquera-Grau (2010), concretamente dieciséis dientes aislados y 14 vértebras y estudian nuevos materiales de CMP (tres dientes y ocho vértebras) determinando la mayoría de fósiles como Plesiosauria indet. Sin embargo, uno de ellos, que corresponde a una vértebra cervical casi completa (CMP-3c/343) determinada por Jorquera-Grau (2010) como Pliosauroidea indet., es reasignada por estos autores como la primera evidencia de un plesiosaurio Leptocleididae del registro ibérico.

Atendiendo a esta información se concluye que en el Barremiense de la Formación Arcillas de Morella se registran al menos dos grupos diferentes de plesiosaurios: un elasmosáurido y un plesiosaurio leptocleidoideo.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

El yacimiento del Mas de Macià Querol (M-MQ) se encuentra en la localidad de Morella, a unos 100 km al noroeste de la capital Castellón, en la conocida como Vega del Moll, cerca de la Cantera del Mas de la Parreta. La mejor manera de llegar al afloramiento es tomando la carretera N-232 (Vinaroz-Vitoria) hasta Morella, y luego por la CV-125 hasta el afloramiento. Las coordenadas UTM del lugar son: 30T742697/4497880 (Fig. 1 y 2).

Geológicamente se sitúa en el sector más oriental de la Cordillera Ibérica, en la Formación Arcillas de Morella. Esta Formación es una unidad estratigráfica del Cretácico Inferior (Barremiense superior) que aflora en la Cordillera Ibérica (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2015), y se depositó en la cuenca del Maestrazgo, concretamente en la subcuenca de Morella.

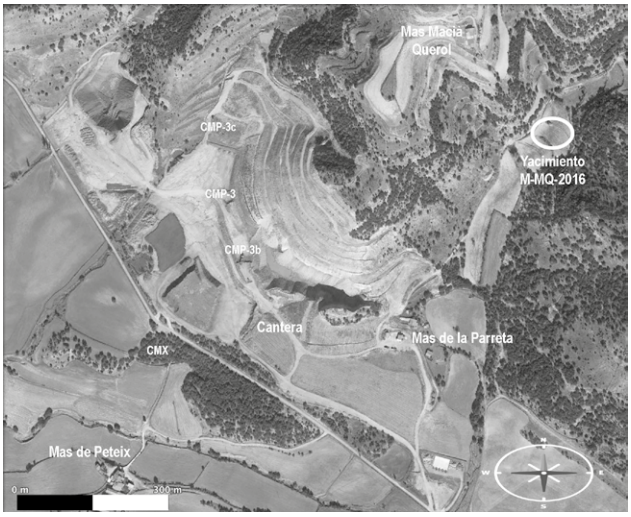


FIGURA 2. Situación del yacimiento M-MQ respecto a otros cuatro yacimientos de la Fm. Morella: CMP3, CMP3b, CMP3c y CMX.

La Fm. Morella está constituida por arcillas rojas, areniscas blanco-amarillentas, margas grises, calizas y localmente conglomerados. Estas litofacies se presentan ordenadas vertical y lateralmente formando un conjunto de secuencias deposicionales, limitadas por superficies de erosión. Estas secuencias tienen un carácter transgresivo – regresivo y están compuestas por ciclos menores del tipo de las parasecuencias, que pueden presentar límites de inundación, exposición subaérea o erosión. La Fm. Morella tiene una potencia media de unos 80 metros y en ella se han identificado un máximo de 6 secuencias deposicionales que representarían un mínimo de 60.000 años y un máximo de 3 millones de años (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011).

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

SAUROPSIDA Goodrich 1916

SAUROPTERYGIA Owen 1860

PLESIOSAURIA De Blainville 1835

Plesiosauria indet. (Tabla I; Fig. 3 A-F)

Material: M-MQ-2016-1 es un centro vertebral caudal anterior, que está depositado en la Colección Museográfica de Cinctorres (Castellón).

Localidad y horizonte: la vértebra se halló en superficie en la Formación Arcillas de Morella (30T742697/4497880) en unos campos aterrazados cerca del Mas de Macià Querol (Fig. 3 A-F).

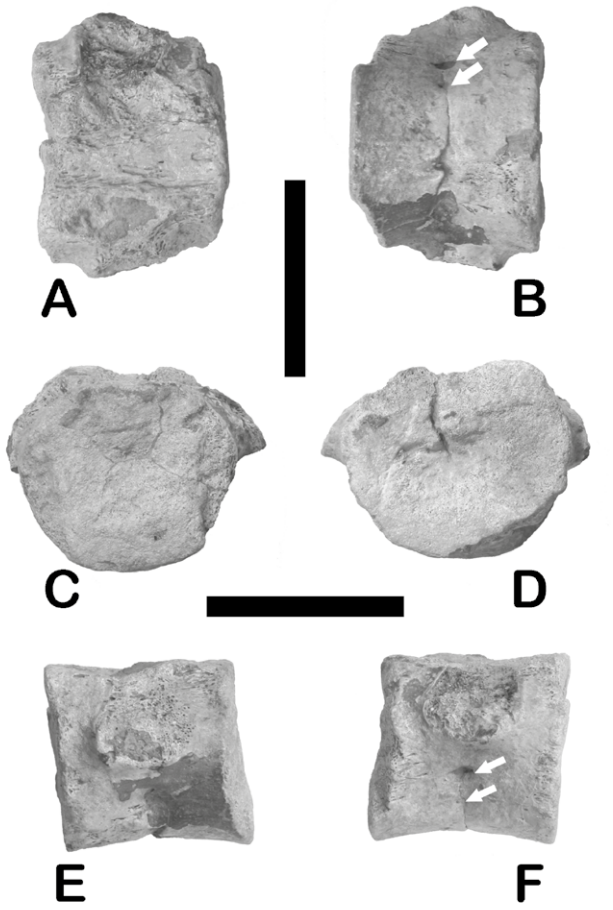


FIGURA 3. Vértebra caudal anterior M-MQ-2016-1. A: Vista dorsal view, B: Vista ventral, C: Vista anterior, D: Vista posterior, E-F: Vistas laterales. Flechas: forámenes nutricios. Escala 5 cm.

Descripción: El cuerpo vertebral es levemente anficélico, con el lado posterior ligeramente más cóncavo (Fig. 3). La apariencia general del centro es ovalada, más ancho que alto (medidas en la Tabla I) y el canal neural tiene 14 mm de ancho. Las superficies laterales son cóncavas y están ocupadas por un área triangular amplia y vertical para las zonas de inserción de las costillas caudales. Ambas superficies laterales están perforadas por un par de forámenes nutricios a cada lado (Fig. 3).

M-MQ-2016-1	En mm
Longitud	43
Anchura	51
Altura	44
Ratio Anch-Alt-Long	Anch>Alt>Long

TABLA I. Medidas del centro caudal anterior M-MQ-2016-1.

El material es demasiado fragmentario para ser identificado más allá del nivel de Plesiosauria, ya que, las vértebras caudales de los plesiosaurios son de baja relevancia taxonómica.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las vértebras de los plesiosaurios presentan ciertas características que permiten identificar, si están más o menos completas, su posición anatómica diferenciando entre cervicales, pectorales, dorsales, sacras y caudales (O'Gorman y Fernández, 2016). Las vértebras cervicales poseen las facetas para la inserción de las costillas cervicales en posición ventral o ventro-lateral en el centro. En las vértebras de transición (pectorales y sacras) las facetas de las costillas están situadas parte en el centro vertebral y en parte en los procesos laterales de los arcos neurales. En las vértebras dorsales las facetas de las costillas están situadas en los procesos laterales de los arcos neurales. En las vértebras caudales, las facetas para la inserción de las costillas caudales generalmente solo se articulan con el centro. Además estas vértebras poseen facetas adicionales para los chevrons. Sin embargo, las vértebras caudales anteriores no poseen estas facetas adicionales y las costillas caudales se insertan en el centro en una posición dorsal cerca de los arcos neurales (Quesada *et al.*, 2019).

Por otro lado, los miembros de Plesiosauria presentan en una posición ventral en los centros vertebrales forámenes nutricios. Estos están presentes en todas las especies de Plesiosauria, con la excepción de las especies cretácicas *Kronosaurus queenslandicus* y *Brachauchenius lucasi* (Quesada *et al.*, 2019). Estos forámenes nutricios también ayudan a la identificación de la posición anatómica aproximada de las vértebras, puesto que en las vértebras cervicales la posición de los mismos es ventral, aumentando la separación entre ellos hacia el final de la región dorsal. Sin embargo, en la región caudal están muy cerca el uno del otro (Quesada *et al.*, 2019).

El espécimen M-MQ-2016-1, tiene características que permiten determinarlo como una vértebra caudal anterior de un plesiosaurio: la situación de las facetas de las costillas, instaladas completamente en el centro, pero situadas muy cerca del límite del arco neural y no ventralmente, a diferencia de las vértebras cervicales. Estas facetas articulares son triangulares y no ocupan gran parte del centro a diferencia de lo que ocurre en los centros pectorales y sacros.

Finalmente la presencia de un par de forámenes nutricios subcentrales en la superficie lateral del centro situados muy juntos uno del otro, y la ausencia de facetas para los chevrones permiten identificar el centro como caudal anterior.

Como se señaló anteriormente en este documento, este material es demasiado fragmentario para ser identificado más allá del nivel de Plesiosauria indet. debido a la baja relevancia taxonómica de las vértebras caudales de los plesiosaurios. El nuevo hallazgo amplia a siete los yacimientos con fósiles de plesiosaurios en la Formación Arcillas de Morella y pone de relevancia la importancia de esta Formación para el estudio de estos vertebrados en el Cretácico Inferior de la Península Ibérica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la empresa Noverint la localización del material.

REFERENCIAS

Bardet, N., Pereda Suberbiola, X. y Ruiz-Omeñaca, J.I. (2008): Mesozoic Marine Reptiles from the Iberian Peninsula. *Geo-Temas*, 10: 1246-1248.

Bardet, N., Falconnet, J., Fischer, V., Houssaye, A., Jouve, S., Pereda Suberbiola, X., Pérez-García, A., Rage, J.C. y Vincent, P. (2014): Mesozoic marine reptile palaeobiogeography in response to drifting plates. *Gondwana Research*, 26: 869-887.

de Blainville, H.M.D. (1835): Description de quelques espèces de reptiles de la Californie, précédée de l'analyse d'une système générale d'Erpetologie et d'Amphibiologie. *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire Naturelle*, 4: 233-296.

Goodrich, E.S. (1916): On the classification of the Reptilia. *Proceedings of the Royal Society of London*, 89B: 261-276.

Jorquera-Grau, A. (2010): *Los Plesiosaurios de la Formación Arcillas de Morella (Aptiense, Cretácico Inferior, Castellón)*. Trabajo de Investigación, Univ. Autónoma de Madrid, 44 p.

Jorquera Grau, A., Santos-Cubedo, A., Santisteban, C. y Galobart, A. (2009): Plesiosaurs (Reptilia: Sauropterygia) from the Arcillas de Morella Formation (Aptian, Lower Cretaceous) of Castellón (Spain). *Paleolusitana*, 1: 229-235.

O'Gorman, J.P. y Fernández, M.S. (2016): Neuroanatomy of the vertebral column of Vegasaurus molyi (Elasmosauridae) with comments on the scervico - dorsal limit in plesiosaurs. *Cretaceous Research*, 73: 91-97.

Owen, R. (1860): On the orders of fossil and Recent Reptilia, and their distribution through time. *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 29:153-166.

Quesada, J.M., Pérez-García, A., Gasulla, J.M. y Ortega, F. (2019): Plesiosauria remains from the Barremian of Morella (Castellón, Spain) and first identification of Leptocleididae in the Iberian record. *Cretaceous Research*, 94: 8-24.

Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2011): The Geological Context: The Upper Jurassic and Lower Cretaceous. En: *Dinosaurs of Eastern Iberia* (A. Galobart, M. Suñer y B. Poza, eds.). Indiana University Press, Bloomington, 24-44.

Santos-Cubedo, A., Poza, B. y de Santisteban, C. (2018): Un poco de tierra... un mundo Cretácico: el yacimiento BMG de Portell (Barremiense superior, Castellón). *Geogaceta*, 63: 91-94.

Villanueva-Amadoz, U., de Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2015): Age determination of the Arcillas de Morella Formation (Maestrazgo Basin, Spain). *Historical Biology*, 27(3-4): 389-397.

Yagüe, P., Ortega, F., Noé, L., Gasulla, J.M. y García, M.D. (2003): Reptiles marinos (Plesiosauria) del Aptiense inferior de Morella (Castellón). *Ciencias de la Tierra*, 26: 399-404.

Increased ocean acidification and lysocline shoaling during the PETM in Roman Bridge section (Tunisia, southern Tethys)

Aumento de la acidificación oceánica y somerización de la lisoclina durante el PETM en la sección de Roman Bridge (Túnez, Tetis meridional)

N. Kotti[1], B. Mardassi[2], I. Arenillas[3] y J.A. Ouali[1]

1 Geology Department, National Engineering School of Sfax, Soukra road, Sfax 3038, Tunisia. noura1kotti@gmail.com, jamelabdennaceur.ouali@gmail.com

2 Higher Institute of Biotechnology of Sfax, Sfax 3038, Tunisia. besmamardassi@gmail.com

3 Dpto. Ciencias de la Tierra, and Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA), Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. ias@unizar.es

Abstract: *High resolution geochemical and mineralogical analyses from the Roman Bridge section (central Tunisia) have revealed relevant environmental and oceanographic changes during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) in the southern Tethyan margin. The evolution of the [Ca], calcite percentage and foraminiferal test preservation at the Roman Bridge section suggest noticeable changes in ocean pH, linked to the lysocline shoaling during the PETM. These findings corroborate the geochemical pattern recognized throughout the Tethys, where a rapid shoaling of the carbonate compensation depth is recorded. The ocean acidification was inferred by the sharp drop of [Ca] and almost absence of sedimentary calcite. The poor preservation of foraminiferal tests suggests widespread carbonate dissolution. The strong ocean acidification was triggered by the huge amount of volcanic CO_2 emitted and subsequent massive release of CH_4 from ocean methane hydrates. As the study area is part of the subtropical dry zone, the acute aridity recorded in the southern Tethys hampered the continental chemical weathering which was unable to bumper the rapid increase of atmospheric CO_2, being effectively absorbed by the ocean in this region.*

Keywords: *Paleocene, Eocene, mineralogy, geochemistry, foraminifera.*

Resumen: Los análisis geoquímicos y mineralógicos de alta resolución realizados en la sección de Roman Bridge (Túnez central) revelan importantes cambios ambientales y oceanográficos durante el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (PETM) en el margen sur del Tetis. La evolución de la [Ca], del porcentaje de calcita y de la preservación de la concha de foraminíferos en la sección de Roman Bridge sugieren cambios notables en el pH oceánico, relacionados a la somerización de la lisoclina durante el PETM. Corrobora el patrón geoquímico reconocido en el Tetis, donde ha sido identificado un rápido ascenso del nivel de compensación de la calcita. La acidificación del océano se infiere por la fuerte caída de la [Ca] y la casi ausencia de calcita sedimentaria. La mala conservación de los foraminíferos sugiere una disolución generalizada de carbonatos. La fuerte acidificación oceánica se desencadenó por la enorme cantidad de CO_2 volcánico emitido, y la posterior liberación masiva de CH_4 por la desestabilización de los hidratos de metano oceánicos. Como el área de estudio es parte de la zona seca subtropical, la extrema aridez registrada en el Tetis meridional obstaculizó la meteorización química continental, la cual no pudo contrarrestar el rápido aumento de CO_2 atmosférico, y éste fue absorbido eficazmente por el océano en esta región.

Palabras clave: Paleoceno, Eoceno, mineralogía, geoquímica, foraminíferos.

INTRODUCTION

The Paleocene–Eocene Thermal Maximum (PETM) represents a conspicuous climatic and environmental episode in Earth's history. The PETM is a period of intense global changes marked by the rapid rise of temperature (5° to 9°C in oceans and continents in less than 10000 years; Thomas and Monechi, 2007), massive inputs of carbon (CO_2 and CH_4) into the ocean-atmosphere system (Zachos et al., 2005) and the shallowing of both calcite compensation depth (CCD) and lysocline (Zachos et al., 2005). The ocean acidification caused severe paleo-environmental disturbance and obviously harmed deep-marine benthic foraminifera (Thomas and Monechi, 2007).

Based on a multidisciplinary analysis including mineralogy, geochemistry and foraminiferal preservation state in the Roman Bridge section (central Tunisia), we attempt to find out how much the lysocline shoaled during the PETM in the southern Tethyan margin and the impact of ocean acidification on relative abundance of calcifiers.

GEOLOGICAL SETTING

The Roman Bridge section is situated 83 km north-west of Kairouan city in the Jebel Serdj area, central Tunisia (Fig. 1). The studied section of the Paleocene-Eocene transition was deposited at bathyal depth in the southern Tethys, and it belongs to the El Haria Formation, relatively composed of material from the proximal part of Tunisian Trough (Peypouquet et al., 1986). The PETM interval falling within the uppermost part of the El Haria Formation, dominantly consisting of dark fissile marls.



FIGURE 1. Tunisia paleogeographic map (Peypouquet et al., 1986) showing the geographical position of Jebel Serdj area, where the Roman Bridge section is situated.

METHODS AND MATERIALS

Fifty-nine samples were taken at a high resolution of 1-3 cm. About fifty grams of each simple were soaked in H_2O_2, subsequently washed through 63µm, 100µm, 250µm, and 500µm sieves and dried at 50 C°. The residues investigation allowed appreciating the relative percentages of allochems and preservation state of microfossils. Estimates on foraminiferal preservation have followed the criteria of Pälike et al. (2010).

For mineralogical and geochemical analyses samples were ground to a grain size less than 10 µm using an agate ball. Powdered samples were burnt in a furnace at 550 °C for 2 hours. Simple aliquots were attacked by acid solution with HCl and HNO_3. Concentrations of major (Ca) and trace (Co, Mn, and Zn) elements were determined at the LARSEN (Laboratory of Environmental Sciences), using atomic absorption (Fisher Scientific iCE 3000). The mineralogical composition of the samples was performed at the National Engineering School of Sfax using Philips X-ray diffractometer with Cu-Ka radiation, 45 kV, and 35 mA and scanning between 2 and 40α.

RESULTS AND DISCUSSION

Stratigraphic units and preservation state

The PETM interval spans 190 cm in the Roman Bridge section (Fig. 2). In spite of the absence of any remarkable lithological change, the allochem percentage varies clearly from bottom to top. The detailed study of deposits shows three main stratigraphic units:

- Unit 1: It is 26 cm thick. Washed marl samples contain planktic and benthic foraminifera, pyrite, quartz, gypsum, and limonite. Allochem pattern fluctuates sharply from bottom to top of this unit. The first 20 cm are rich in benthic and planktic foraminifera, showing moderately preserved tests. In the last centimeters of this unit, foraminiferal abundance decreases at the expense of limonite, and test preservation becomes worse.

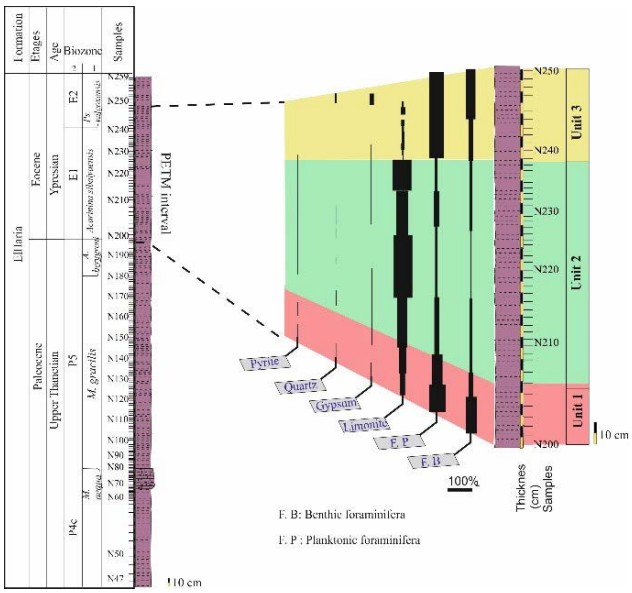


FIGURE 2. Stratigraphic distribution of allochems across the PETM interval in the Roman Bridge section. Biozones: 1. Biozonation of Molina et al. (1999); 2. Biozonation of Berggren and Pearson (2005).

- Unit 2: It is 96 cm thick and is distinguished by a noticeable drop in benthic foraminifera, decrease in planktic foraminifera and enrichment in limonite. The test preservation becomes worse. Benthic foraminifera are dwarf and badly-preserved.

- Unit 3: It is 26 cm thick, and shows an enrichment in well-preserved microfossils and decrease in limonite percentage.

Geochemistry

The [Ca] pattern allowed us to distinct three main geochemical units which coincide with the aforementioned stratigraphic units (Fig. 3). In the Unit 1, the [Ca] fluctuates between >2400 mg/L and 3000 mg/L. The Unit 2 is marked by an intense shift of the [Ca] curve towards lowest concentrations, reaching up 362 mg/L (Fig. 3). Upwards the Unit 3, the [Ca] increases in the range of 3000-4000 mg/L.

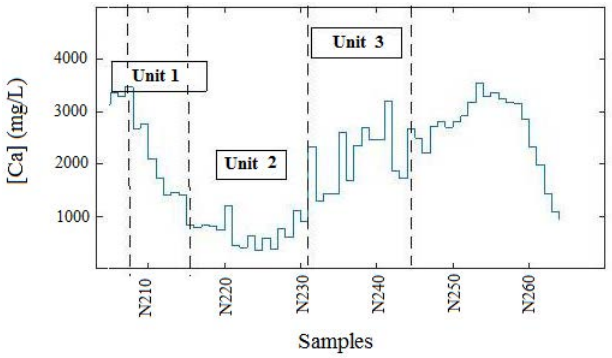


FIGURE 3. Variations in [Ca] concentrations across the PETM interval in the Roman Bridge section.

Mineralogy

Although the lithology is monotonous in the studied section, a major variation in the bulk rock composition occurs across the PETM interval (Fig. 4). Marls of Unit 1 are dominantly composed of phyllosilicates (ranging from 30% to 70%) and calcite (varying between 16% and 50%). In the Unit 2, the calcite sharply drops to near 0% and the phyllosilicates decrease up to 4%. However, the gypsum reaches its maximum with 82% (Fig. 4). In the Unit 3, the calcite rises up to 40% and phyllosilicate percentage increases up to 50%.

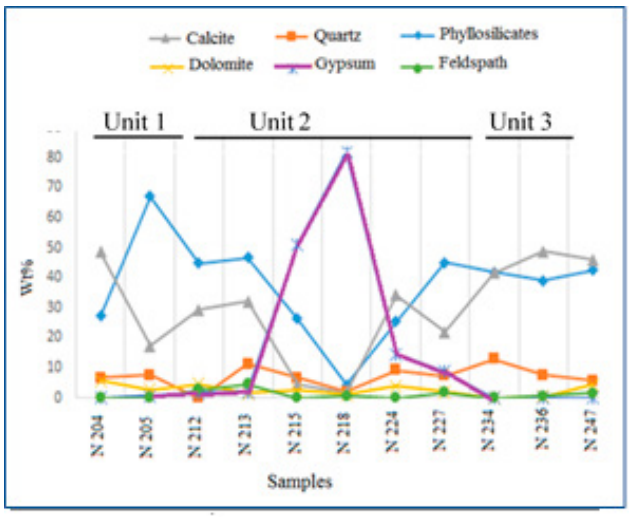


FIGURE 4. Bulk rock mineral composition and variation across the PETM interval in the Roman Bridge section.

Water acidification and lysocline shoaling

High resolution lithological, geochemical and mineralogical analyses of the Roman Bridge section provide new insight on strong environmental and oceanographic changes occurred during the PETM interval. The sharp decrease of [Ca] (from 4000 mg/L to 368mg/L), drop of the sedimentary calcite percentage and severe foraminiferal test dissolution in the Unit 2 suggest a strong acidification of the seafloor waters and lysocline shoaling. Based on the regression depth (Van Der Zwan et al., 1990), the lysocline probably rose up to 600 m (Fig. 5), as in other localities of Tethyan and Pacific realms (Zachos et al., 2005).

The high anomalous seawater conditions had to inhibit the precipitation of carbonates, which is evidenced by the conspicuous foraminiferal test fragmentation and poor preservation of the calcareous microfossils. According to the most accepted hypothesis (Nunes and Norris, 2006; Storey et al., 2007), the ocean acidification was triggered by huge amounts of CO_2 released by an intense island arc volcanism during the late Paleocene in the North Atlantic Igneous Province and circum-Caribbean region, and subsequent massive emission of CH_4 due to ocean methane hydrates destabilization.

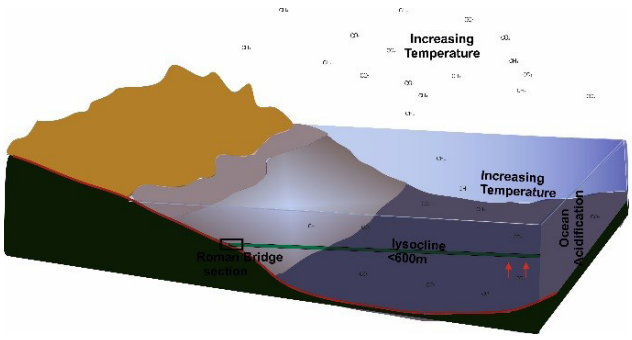


FIGURE 5. Depth of lysocline in Jebel Serdj area.

As the study area is part of the subtropical dry zone, the acute aridity could limit the continental input from Tethyan adjacent hinterlands. This hypothesis is reinforced by the absence of riverine runoff traces and a profuse evaporate sedimentation in the Gafsa Basin. The presence of primary gypsum in the Unit 2 suggests the occurrence of containment conditions under a xeric climate (Sprong et al., 2012). Consequently, the modest continental chemical weathering was unable to bumper the rapid increase of atmospheric CO_2, which was effectively absorbed by the ocean in southern Tethyan margin.

CONCLUSION

In the Bridge Roman section (Jebel Serdj area, central Tunisia), highly anomalous seawater conditions during the PETM are recorded, similar to what are recorded throughout the Tethys. The increased volcanism in North Atlantic

Igneous Province and circum-Caribbean region likely interacted with the intensified arid climate of southern Tethyan margin, causing remarkable oceanographic changes in this region.

The huge emission of CO_2 and CH_4 from intensified volcanism and destabilization of ocean methane hydrates during the PETM triggered strong ocean acidification and lysocline shoaling in the southern Tethyan margin, the ocean being unable to buffer the increased atmospheric CO_2 in this region. The sharp decrease in [Ca] values and calcite percentage, and the poor preservation of calcareous microfossils suggest that the lysocline rose probably up to 600 m in the studied area.

ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge Water, Energy and Environment Laboratory for funding our research work. We are very grateful to LARSEN, the National Engineering School of Sfax, and the higher Institute of Biotechnology of Sfax ISBS for geochemical analysis. Part of this work was supported by MCIU/AEI/FEDER, UE (PGC2018-093890-B-I00), and by the Departamento de Educación y Ciencia of the Aragonian Government, co-financed by the European Social Fund (grant number DGA group E33_17R).

REFERENCES

Berggren, W.A. and Pearson, P.N. (2005): A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation. *Journal of Foraminiferal Research*, 35: 279-298.

Molina, E., Arenillas, I. and Pardo, A. (1999): High resolution planktic foraminiferal biostratigraphy and correlation across the Paleocene/Eocene boundary in the Tethys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 170(4): 521-531.

Nunes, F. and Norris, R.D. (2006): Abrupt reversal in ocean overturning during the Palaeocene/Eocene warm period. *Nature*, 439(7072): 60-63.

Pälike, H., Nishi, H., Lyle, M., Raffi, I., Gamage, K., Klaus, A. and Shipboard Scientific Party (2010): Expedition 320/321 summary. In: *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, 320/321 (H. Pälike, M. Lyle, H. Nishi, I. Raffi, K. Gamage, A. Klaus and the Expedition 320/321 Scientists, eds.). Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., Tokyo, doi:10.2204 /Iodp.proc.320321.101.2010, 2010.

Peypouquet, J.P., Grousset, F. and Mourguiart, P. (1986): Paleooceanography of the Mesogean Sea based on ostracods of northern Tunisian continental shelf between the Late Cretaceous and Early Paleogene. *Geologische Rundschau*, 75 (1): 159-174.

Sprong, J., Kouwenhoven, T.J., Bornemann, A., Schulte, P., Stassen, P., Steurbaut, E., Youssef, M. and Speijer, R.P. (2012): Characterization of the Latest Danian Event by means of benthic foraminiferal assemblages along a depth transect at the southern Tethyan margin (Nile Basin, Egypt). *Marine Micropaleontology,* 86-87: 15-31.

Storey, M., Duncan, R.A. and Swisher III, C.C. (2007): Paleocene-Eocene Thermal Maximum and the Opening of the Northeast Atlantic. *Science*, 316 (5824): 587-589.

Thomas, E. and Monechi, S. (2007): Cenozoic mass extinctions in the deep sea: What perturbs the largest habitat on Earth? Special papers-*Geological Society of America*, 424, 1.

Van der Zwaan, G.J., Jorissen, F.J. and de Stigter, H.C. (1990): The depth dependency of planktonic/benthic foraminiferal ratios: Constraints and applications. *Marine Geology*, 95: 1-161.

Zachos, J.C., Röhl, U., Schellenberg, S.A., Sluijs, A., Hodell, D.A., Kelly, D.C., Lourens. L.J., Nicolo, M., Raffi. I, McCarren, H. and Kroon, D. (2005): Rapid acidification of the ocean during the Paleocene-Eocene thermal maximum. *Science*, 308(5728): 1611-1615.

Paleoclimatic Milestones of the Canary Islands
Hitos paleoclimáticos de las islas Canarias

A. Lomoschitz[1], J.F. Betancort[2] and J. Meco[2]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Unidad Asociada ULPGC-CSIC, 35017-Las Palmas de Gran Canaria, España. alejandro.lomoschitz@ulpgc.es
2 Dpto. Biología (Paleontología), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017-Las Palmas de Gran Canaria, España. juanbetancort@gmail.com, joaquinfrancisco.meco@ulpgc.es

Abstract: *In the Canary Islands, paleoclimatic records are present in marine and terrestrial sedimentary deposits, and their age ranges from the Upper Miocene to the Holocene. Moreover, we count on continuous records of past climate occurred in the Atlantic by means of marine sediments, rocks (from the ocean floor) and ice cores (from the ice caps). The paleoclimatic history of the Canary Islands has had warmer epochs than today, of tropical and subtropical type, in coincidence with global interglacial stages, but other epochs were colder coinciding with global glacial stages and others were similar than today. In this study five main paleoclimatic milestones has been stablished in order to get a general view of the best-known past climate time intervals, from Miocene to Holocene epochs. Previous studies helped us to reconstruct the paleo-climate conditions. We inferred Sea Surface Temperatures (SST) for Quaternary epochs, and, within the Holocene, we studied the sea level changes registered in eastern Canary Islands.*

Keywords: *Paleoclimate, interglacial stage, Mio-Pliocene, Quaternary, Holocene.*

Resumen: En Canarias hay registros paleoclimáticos en depósitos sedimentarios marinos y terrestres con edades desde el Mioceno superior hasta el Holoceno. Además, en el Atlántico contamos con registros continuos de variables climáticas, provenientes de testigos de perforaciones profundas en sedimentos marinos y rocas (del fondo marino) y de "núcleos" de hielo (de los casquetes polares). La historia paleoclimática de las islas Canarias ha tenido épocas más cálidas que la actual, con climas de tipo tropical y subtropical, coincidentes con etapas interglaciales; pero otras épocas fueron más frías, coincidentes con etapas glaciales, y otras tuvieron un clima similar al actual. En este trabajo se han establecido cinco hitos paleoclimáticos con la idea de obtener una visión general de las épocas geológicas mejor conocidas, desde el Mioceno hasta el Holoceno. Las publicaciones anteriores nos ayudaron a reconstruir las condiciones paleoclimaticas. Inferimos las temperaturas superficiales marinas (SST: Sea Surface Temperatures) para determinadas épocas del Cuaternario y, dentro del Holoceno, estudiamos los cambios del nivel del mar en las islas Canarias orientales.

Palabras clave: Paleoclima, etapa interglacial, Mio-Plioceno, Cuaternario, Holoceno.

INTRODUCTION

The paleoclimate studies show a new perspective on the climate change. Their main objective is to make a reconstruction of the climate history of the Earth, where a huge number of global changes occurred, some of them were significant and were registered. The Canary Islands have played an important role in the study of the past climate changes in the North Atlantic (Meco et al., 2003) (Fig. 1).

The Atlantic have a dominant control on the climate variations through the global ocean gyres and currents. Moreover, long periods of volcanism, from the Miocene to recent dates, have emitted large amounts of lava flows that occasionally trapped marine and terrestrial deposits with high climatic significance, and have allowed us to get the dating ages of the deposits (Meco et al., 2011).

METHODOLOGY

We reconstruct the Canary geological climate history from a number of geological records with climatic significance that we could order along a geologic time scale (Fig. 2).

On one hand, we counted on sedimentary deposits bearing (marine and terrestrial) fossils that allowed us to know the biogeographic species distribution and their palaeoecological conditions. Many of these deposits have an intercalated fortunate position within datable lava flows.

On the other hand, there are some continuous records of climatic parameters in the Atlantic Ocean from deep drilling cores. They are of two main types: (1) ice cores from central Antarctica and Greenland, and (2) sediment cores from the oceanic sea floor.

The ice cores allow us to know the temperature variations and chemical composition of the atmospheric air and to calculate the volume variation in the ice caps. Most Quaternary records deals with the last 400 ka, but recent studies identified until eleven interglacial stages along the last 800 ka, and the corresponding glacial stages.

Moreover, the study of marine sediment cores from ocean deep drillings (mainly international ODP projects, ODP: Ocean Drilling Program) allowed to make a reconstruction of Sea Surface Temperatures (SST) for the last 4.5 million years (Early Pliocene).

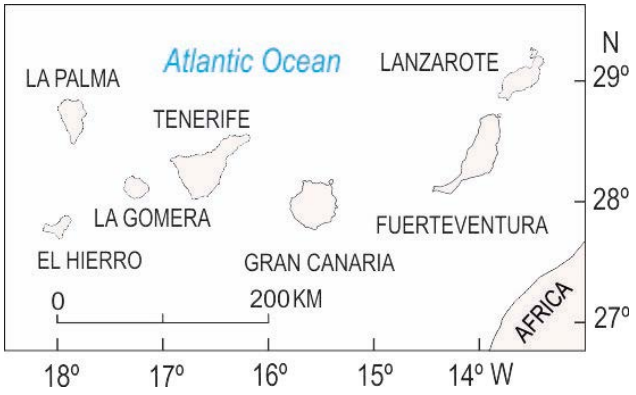


FIGURE 1. Location of the Canary Islands. Most paleoclimatic records are present in the Eastern Canaries (Gran Canaria, Fuerteventura and Lanzarote).

CANARY PALEOCLIMATIC MILESTONES

The oldest Canary basaltic rocks are located in Fuerteventura Island; they are ca. 23 Ma old coinciding with the Miocene beginning. From this age to now, there are only some open periods to know the climates of the past in the Canaries, even though some of them are outstanding for the Atlantic region. In this study, we consider main sedimentary marine deposits (with abundant fossil fauna) that correspond to five geological periods (or epochs) (Table I).

*The **Milestone 1** roughly corresponds to the Mio-Pliocene transition, firstly dated between 4.2 Ma and 5.8 Ma (Meco et al., 2015) and recently divided into two separate time intervals corresponding to the Tortonian and the Zanclean epochs (Meco et al., 2020). In the sedimentary deposits of this period, there is a principal marine fossil trio, composed of: Gryphaea virleti, Nerita emiliana and Persististrombus coronatus; and a secondary marine fossil trio, used for confirmation, composed of Rothpletzia rudista, Amalda glandiformis and Siderastrea miocenica. These species indicate a very warm and humid climate, of Tropical type.*

*The **Milestone 2** allowed defining the Gelasian stage in the area, worldwide established between ca. 1.8 Ma and ca. 2.6 Ma as the first Quaternary stage. The sedimentary deposits have abundant marine fossils (more than 70 species) that indicate a warm and dry climate, similar to the current subtropical-dry climate in the Canaries (Meco et al., 2002).*

*In contrast, in the **Milestone 3** is characteristic the presence of ocean warm waters around the Canaries at ca. 400 ka and corresponding to the Marine Isotope Stage (MIS) 11.3 (Muhs et al., 2014). The characteristic fossil species are Saccostrea cucullata and Purpurellus gambiensis. It was a warm interglacial with similar temperatures to the current Gulf of Guinea whose SST in average were 4.2ºC higher than the present Canary SST (Montesinos et al., 2014).*

*The **Milestone 4** included "Senegalese fauna" into the Canary region and clearly corresponds to the Last Interglacial (MIS 5.5) 120,000 to 130,000 years ago (Muhs et al., 2014). The characteristic species are Harpa doris, Persististrombus latus and Siderastrea radians. This stage was very warm in the area, with a mean value of 3.3ºC above the current SST (Montesinos et al., 2014).*

*Finally, the **Milestone 5** corresponds to the Holocene or current interglacial (MIS1). Their climatic regions in the area and their fossil species are the same than today and the sea level changes coincide with other Atlantic North African regions (Meco et al., 2018).*

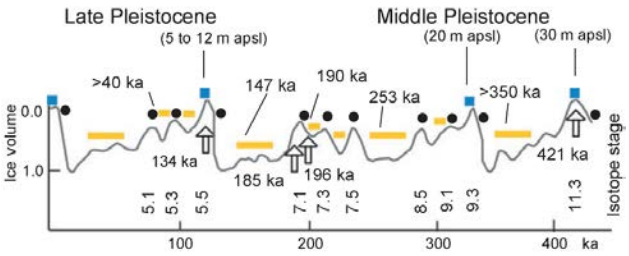


FIGURE 2. Climate history of the Canary Islands from the Middle Pleistocene to the Holocene with the main geologic evidences (Meco et al., 2011) on the general paleoclimatic curve of relative ice volume. Marine deposits (blue squares), paleosols (black dots) and dunes (yellow rectangles). apls: above present sea level.

DISCUSSION

Two questions arise on the Canary paleoclimatic milestones when we put our data in a wider context: (1) Are such data coherent with the paleoclimate changes in the North Hemisphere?; and (2) in the recent Holocene, what was the sea level response in the North Atlantic after the SST variations?

Recent compilations of paleoclimate data (Past Interglacials Working Group of PAGES, 2016) indicate that the Marine Isotope Stages (MIS) 5.5 and 11.3 were very warm worldwide and such general context is coherent with the Canary record. On the other hand, the Holocene climatic curves show some outstanding changes: (a) Between 7,000 and 5,000 yrs. B.P. occurred the so-called "Climatic Optimum", even though this term is today in discussion because the causes are mainly astronomical; (b) in the Middle Holocene the climate about 6,000 yrs. B.P. was warmer than today, during the summer season in the Northern Hemisphere and, in some places, also in winter (NOAA, 2018).

The Holocene marine records in the Canaries indicate sea level rises above the marine sea level of +2.5 m ca. 4.2 kyr B.P. and of +2 m ca. 1.4 kyr B.P. and that at ca. 3 kyr B.P. the sea level was at ~0 m. For these relative sea level changes was suggested a cyclical cause as the orbital movement of the Earth (Meco et al., 2018).

	Geologic periods / epochs		Ages (*)	Islands (**)	Climate type	Remarks	Sources
1	Late Miocene & Early Pliocene		~9.6 Ma ~4.2-4.8 Ma	LZ GC, FV	Tropical	Tortonian Zanclean	Meco et al. (2020)
2	Quaternary	Gelasian	1.8 to 2.6 Ma	GC	Subtropical	Quaternary 1st stage	Meco et al. (2002)
3		Middle Pleistocene	~400 ka	GC, LZ	Tropical	Interglacial MIS 11.3	Muhs et al. (2014) Montesinos et al. (2014)
4		Upper Pleistocene	120-130 ka	GC, FV	Tropical	Last interglacial MIS 5.5	Muhs et al. (2014) Montesinos et al. (2014)
5		Holocene	0 a 11.7 ka	FV	Subtropical	Current Interglacial MIS 1	Meco et al. (2018)

TABLE I. The five main paleoclimatic milestones recorded in the Canary Islands. (*) Time intervals of marine deposits. (**) The main islands where such deposits are present (i.e. GC: Gran Canaria, FV: Fuerteventura, LZ: Lanzarote).

Nevertheless, when these sea level elevations occurred the SSTs were 0.5ºC and 1.5ºC respectively colder than today and the fossil fauna from the marine deposits confirms such cold conditions (Meco et al., 2018). All these data suggest a clear mismatch of about 1500-2000 years between the warming episodes and the sea level rises.

Finally, the Atlantic SSTs registered nowadays in the Canaries already reaches those of the Holocene Climatic Optimum occurred at around 6,000 yrs. (Meco et al., 2018) and they could be interpreted as the beginning of a new "climatic optimum".

CONCLUSION

We have considered five main milestones in the Paleoclimate history of the Canary Islands. The first corresponds to the Mio-Pliocene transition, with a warm and tropical type climate, roughly dated between 4.2 Ma and 5.8 Ma. The second coincides with the Gelasian, first Quaternary stage, with a subtropical-dry type climate, in between 1.8 Ma and 2.6 Ma. The third, with a warm and tropical type climate at ca. 400 ka corresponds to the Marine Isotope Stage (MIS) 11.3. In the forth "Senegalese fauna" was introduced into the Canary region with a very warm tropical-type climate and corresponds to the Last Interglacial (or MIS 5.5) in the time range 120-130 ka. The third and the forth milestones represent the Middle and Upper Pleistocene in the region. Finally, the fifth corresponds to the Holocene or current interglacial (MIS1). Their climatic regions in the area and their fossil species are the same than today and the sea level changes coincide with other Atlantic North African regions.

ACKNOWLEDGMENTS

This study benefitted from the Project: "Cuantificación del impacto del cambio climático a partir de los indicadores paleoclimáticos canarios" (CN-62/03-02139), by Contract Agreement between the Spanish Ministry of Environment and the University of Las Palmas de Gran Canaria.

REFERENCES

Meco, J., Guillou, H., Carracedo, J.C., Lomoschitz, A., Ramos, A.J.G. and Rodríguez-Yánez, J.J. (2002): The maximum warmings of the Pleistocene world climate recorded in the Canary Islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185(1-2): 197-210.

Meco, J., Petit-Maire, N., Guillou, H., Carracedo, J.C., Lomoschitz, A., Ramos, A.G. and Ballester Santos, J. (2003): Climatic changes over the last 5,000,000 years as recorded in the Canary Islands. *Episodes*, 26: 133-134.

Meco, J., Muhs, D.R., Fontugne, M., Ramos, A.J., Lomoschitz, A. and Patterson, D. (2011): Late Pliocene and Quaternary Eurasian locust infestations in the Canary Archipelago. Lethaia, 44(4): 440-454. Meco, J., Koppers, A.A., Miggins, D.P., Lomoschitz, A. and Betancort, J. F. (2015): The Canary record of the evolution of the North Atlantic Pliocene: New 40Ar/39Ar ages and some notable palaeontological evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435: 53-69.

Meco, J., Lomoschitz, A., Rodríguez, A., Ramos, A. J., Betancort, J. F. and Coca, J. (2018): Mid and Late Holocene sea level variations in the Canary Islands. Palaeogeography, Palaeoclimatology, *Palaeoecology*, 507: 214-225.

Meco J., Lomoschitz; A., Koppers A.A.P., Miggins, D.P., Huertas, M.J., Betancort, J.F., Soler-Onís, E. (2020): Late Miocene and Early Pliocene coastal deposits from the Canary Islands: New records and paleoclimatic significance. *Journal of African Earth Sciences* 164: 103802

Montesinos, M., Ramos, A.J., Lomoschitz, A., Coca, J., Redondo, A., Betancort, J.F. and Meco, J. (2014): Extralimital Senegalese species during Marine Isotope Stages 5.5 and 11 in the Canary Islands (29 N): sea surface temperature estimates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 410: 153-163.

Muhs, D.R., Meco, J. and Simmons, K.R. (2014): Uranium-series ages of corals, sea level history, and palaeozoogeography, Canary Islands, Spain: an exploratory study for two Quaternary interglacial periods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 394: 99-118.

NOAA (2018): Mid-Holocene Warm Period – About 6,000 Years Ago. In: NOAA website, Perspectives Global Warming Home / Mid-Holocene Warm Period. https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/mid-holocene-warm-period

Past Interglacials Working Group of PAGES (2016): Interglacials of the last 800,000 years. *Reviews of Geophysics*, 54(1): 162-219.

Bioestratigrafía del Silúrico de la Zona Centroibérica meridional (España).

Biostratigraphy of the Silurian rocks of the southern Central Iberian Zone (Spain).

S. Lorenzo[1]

1 Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera-IGeA. Escuela de Ingeniería Minera e Industrial, Pz. Manuel Meca, 1, 13400 Almadén (Ciudad Real). saturnino.lorenzo@uclm.es

Palabras clave: graptolitos, Silúrico, bioestratigrafía, Zona Centroibérica.

Resumen

En la tesis doctoral en la que se basa esta nota se analiza la bioestratigrafía de la sucesión silúrica de un área muy amplia del Macizo Ibérico, que abarca el sector español de la Zona Centroibérica meridional.

En esta región la sucesión silúrica surcentroibérica es exclusivamente detrítica (sucesión "iberotípica" para la región situada al norte del eje de Los Pedroches) y alcanza un espesor variable en cada estructura, si bien manifiesta una relativa homogeneidad de facies con tres unidades sucesivas que, de más antigua a más moderna, son: a) areniscas y cuarcitas del techo del Ordovícico a base del Silúrico, de espesor métrico a decamétrico (ausentes localmente); b) pizarras negras graptolíticas (10-150 m); c) alternancias de pizarras negras, limolitas, areniscas y cuarcitas, en ocasiones con intercalaciones de rocas volcánicas, en las que se situaría el límite Silúrico-Devónico (de 200-400 m, a más de 1000 m).

El grupo fósil de mayor interés bioestratigráfico son los graptolitos, de los que se caracterizaron una biozona del Aeroniense (Biozona de *Lituigraptus convolutus*), siete del Telychiense (Biozonas de *Rastrites linnaei, Spirograptus turriculatus, Streptograptus crispus, Monoclimacis griestoniensis, Torquigraptus tullbergi, Oktavites spiralis* y *Cyrtograptus lapworthi*), cuatro del Sheinwoodiense (Biozonas de *Cyrtograptus murchisoni, Monograptus riccartonensis, Monograptus belophorus-C. rigidus* y *C. perneri-C. ramosus*), una del Homeriense (Biozona de *Cyrtograptus lundgreni*) y 1 del Ludfordiense (Biozona de *Saetograptus linearis* (?)).

Con excepción de la Bz. de *L. convolutus* y de la base de la Bz de *R. linnaei*, representadas en el techo de la unidad basal de areniscas y cuarcitas, el resto se han reconocido casi exclusivamente en las pizarras negras graptolíticas de la segunda unidad.

Abstract

This research analyzes the biostratigraphy of the Silurian sequence from a very large area of the Iberian (or Hesperian) Massif, which covers the Spanish part of the southern Central Iberian Zone.

The Silurian succession of Central Iberian type is exclusively siliciclastic and reaches a variable thickness on every structure, even though it manifests relative facies homogeneity with three successive units which, from the oldest one to the most recent one, are: a) sandstones and quartzites from the latest Ordovician to base of the Silurian, metric to decametric in thickness (absent locally); b) black graptolitic shales (10-150 m); and c) alternating black shales, siltstones, sandstones and quartzites, sometimes with interbedded volcanic rocks, in which the Silurian-Devonian boundary is located (from 200-400 m, to more than 1000 m thick).

The graptolites are the fossil group of greatest biostratigraphic interest, from which we could characterize a single biozone of the Aeronian (Lituigraptus convolutus Biozone), seven of Telychian (Rastrites linnaei, Spirograptus turriculatus, Streptograptus crispus, Monoclimacis griestoniensis, Torquigraptus tullbergi, Oktavites spiralis y Cyrtograptus lapworthi biozones), four of Sheinwoodian (Cyrtograptus murchisoni, Monograptus riccartonensis, Monograptus belophorus-C. rigidus y C. perneri-C. ramosus biozones), one of Homerian (Cyrtograptus lundgreni Biozone), and one of Ludfordian (Saetograptus linearis (?) Biozone).

With the exception of the Bz. of L. convolutus and the base of the Bz of R. linnaei, represented on the roof of the basal unit of sandstones and quartzites, the rest are recognized almost exclusively in the graptolitic black shales of the second unit.

Precisión cronoestratigráfica de los yacimientos paleontológicos Mas de Clapises y Mas de Curolles (Portell, Castellón)

Chronostratigraphic precision of the paleontological sites Mas de Clapises and Mas de Curolles (Portell, Castellón).

O. Marí[1], A. Santos-Cubedo[1,2], C. de Santisteban[3] y S. Meseguer[2]

1 Grup Guix, C/ Santa Lucia 75, E-12540 Vila-real (Castellón). oscarmarinavarro@gmail.com; santos.cubedo@gmail.com
2 Área de Cristalografía y Mineralogía, Dpto. de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universitat Jaume I, Av. de Vicent Sos Baynat s/n, E-12071. Castellón. smesegue@uji.es
3 Departament de Botànica i Geologia, Universitat de València, Av. Dr. Moliner 50, E-46100 Burjassot (València). carlos.santisteban@uv.es

Resumen: La Comunidad Valenciana ha sido históricamente un lugar de referencia para el hallazgo y el estudio de fósiles del Mesozoico. En la provincia de Castellón el registro fósil de vertebrados descritos hasta la fecha se localiza principalmente en las comarcas de Els Ports, Alt Palancia y la Plana Alta. Desde el punto de vista histórico y por la cantidad de yacimientos conocidos, es la comarca de Els Ports la que ha centrado gran parte de los estudios paleontológicos en el último siglo. La mayor parte de los estudios en esta comarca se han centrado en los yacimientos del Barremiense superior de la Formación Arcillas de Morella. Sin embargo, en los últimos años nuevas campañas de prospección fuera de esta formación geológica han permitido localizar más de una veintena de yacimientos de vertebrados mesozoicos en la Fm. Margas de Mirambell. Los datos presentados en este trabajo han permitido datar en este caso, diez de estos afloramientos, pudiéndolos ubicar en la parte inicial del Barremiense inferior.

Palabras clave: Barremiense, Formación Mirambell, Cretácico, Cordillera Ibérica.

Abstract: *Historically the Valencian Community is a worldwide-recognized region because lots of Mesozoic fossils were found and studied. In Castellón province, the fossil record of vertebrates described up to date is mainly located in the regions of Els Ports, Alt Palancia and Plana Alta. From the historical point of view, Els Ports region has focused much of paleontological studies in the last century. Most of the studies in this area have been focused on the sediments from the upper Barremian of the Arcillas de Morella Formation. However, in recent years new prospecting campaigns outside this geological formation allowed new findings. More than twenty Mesozoic vertebrate new sites have been located in the Margas de Mirambell Formation. The data presented in this work allowed us to locate ten of this outcrops in the initial part of the lower Barremian.*

Keywords: *Barremian, Mirambell Formation, Cretaceous, Iberian Chain.*

INTRODUCCIÓN

La comarca de Els Ports ha sido históricamente un lugar de referencia para el hallazgo y el estudio de fósiles de vertebrados mesozoicos. Desde el punto de vista histórico y por la cantidad de yacimientos conocidos, esta comarca de la provincia de Castellón ha centrado gran parte de los estudios paleontológicos que se vienen llevando a cabo en la provincia en el último siglo (Santos-Cubedo *et al.*, 2016).

La mayor parte de los yacimientos históricos y también los más estudiados se sitúan estratigráficamente en la Formación Arcillas de Morella (Barremiense superior) (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2015; Bover-Arnal *et al.*, 2016; Santos-Cubedo *et al.*, 2016). Sin embargo, en los últimos años han ido encontrándose yacimientos de vertebrados fósiles fuera de esta formación. Así, se han encontrado yacimientos con vertebrados e invertebrados fósiles en las localidades de Castellfort, Cinctorres, La Mata, Morella y Portell, en la comarca de Els Ports (Castellón), pertenecientes a la Formación Margas de Mirambell (Santos-Cubedo *et al.*, 2016).

En el presente trabajo se estudian algunos de los microfósiles encontrados al realizar algunas secciones estratigráficas de los yacimientos Mas de Clapises (MCL) I, II, III, IV, V y VIII y Mas de Curolles (MQ) I, II, III y IV, para tratar de determinar con exactitud la edad de los mismos.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

Los yacimientos Mas de Clapises (MCL) I, II, III, IV, V y VIII y Mas de Curolles (MQ) I, II, III y IV se encuentran cerca unos de otros y se localizan en las localidades de Portell y La Mata (Castellón).

Geológicamente se sitúan en el sector más oriental de la Cordillera Ibérica, en la Formación Margas de Mirambell. Esta formación es una unidad estratigráfica del Cretácico Inferior (Barremiense inferior) que aflora en la Cordillera

Ibérica y que se depositó en la cuenca del Maestrazgo, concretamente en la subcuenca de Morella.

¿A QUE FORMACIÓN PERTENECEN LOS YACIMIENTOS?

Antes de tratar el problema de la edad de los yacimientos estudiados en este trabajo, es necesario aclarar la atribución de estos afloramientos a una formación geológica determinada. MQ-I fue definido inicialmente como perteneciente a la Formación Cantaperdius. Esta formación fue definida por Salas (1987), y es principalmente continental, con una importante influencia siliciclastica (Salas y Martín-Closas, 1995) y estaría formada por calizas blancas con carofitas, calizas rojas, arcillas lateríticas, y niveles de conglomerados calcáreos intraformacionales. Sin embargo, Climent-Domènech *et al.* (2009) y Bover-Arnal *et al.* (2016) indican que la Fm. Cantaperdius está formada por calizas lacustres y margas palustres.

Con una edad similar tenemos la Fm. Camarillas, que estaría formada principalmente por sedimentos siliciclásticos continentales. La Fm. Camarillas fue definida por Canerot *et al.* (1982) para la cuenca de Mora de Rubielos, no para la cuenca del Maestrazgo. En esta última cuenca la formación definida por Canerot *et al.* (1982) fue la Fm. Margas de Mirambell. Por tanto, para los yacimientos de Mas de Clapises y Mas de Curolles aquí descritos, formados por limolitas, margas, calcarenitas y areniscas, parece más correcto atribuirlos a la Fm. Mirambell de Canerot *et al.* (1982), que a la formación Cantaperdius o Camarillas.

DISCUSIÓN

La Fm. Mirambell para Canerot *et al.* (1982) tiene una edad Hauteriviense-Barremiense inferior, indicando que lateralmente se observa una transición hacia el Oeste, en dirección al Bajo Aragón, a las Areniscas de Camarillas.

Como se ha indicado anteriormente, Salas (1987) define la Formación Calizas y Arcillas lateríticas del Cantaperdius como sedimentos formados en ambientes pantanosos con etapas de exposiciones subaéreas. Le atribuye una edad Barremiense e indica que lateralmente pasa a la Fm. Mirambell.

Finalmente los estudios más recientes proponen una edad Barremiense temprano para la Fm. Cantaperdius (Climent-Domènech *et al.*, 2009; Bover-Arnal *et al.*, 2016).

En el presente trabajo se han identificado diversos fósiles de carofitas en los niveles inferiores de las secciones de los yacimientos Mas de Clapises (MCL) I, II, III, IV, V y VIII y Mas de Curolles (MQ) I, II, III y IV, entre los que destacan fructificaciones de clavatoráceas como *Atopochara trivolvis* var. *triquetra*, *Ascidiella stellata*, restos vegetativos de *Charaxis baconicus* y *Favargerella aquavivae* con verticilios de cinco radios y seis brácteas petaliformes (Fig. 1). En menor abundancia, también se encuentran ostrácodos y gasterópodos (Fig 1).

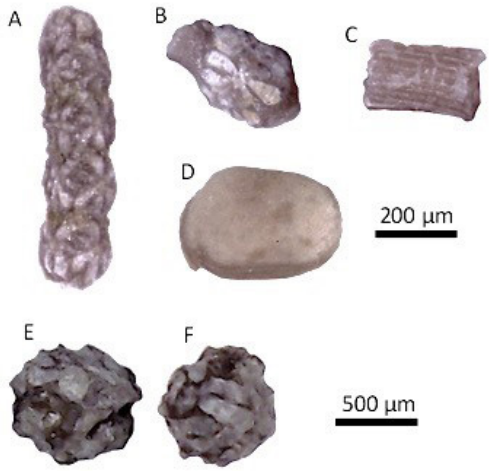


FIGURA 1. A. Vista lateral de filoides de *Favargerella aquavivae*; B. vista apical del utrículo de *Ascidiella stellata*; C. fragmento internodular de *Charaxis baconicus*; D. *Cypridea* sp.; E-F. vistas del utrículo de *Atopochara trivolvis* var. *triquetra*.

En niveles superiores se han identificado dientes de Pycnodontiformes, *Bernissartia* sp. y Amiidae indet., así como foraminíferos bentónicos aglutinados entre los que se encuentra *Choffatella* sp. y *Pseudocyclammina* sp. (Figs 2 y 3).

Climent-Domènech *et al.* (2009) estudian los primeros 350 m de la Fm. Cantaperdius en la sección de la Creu del Vilar en el término municipal de Zorita del Maestrazgo y hallan una asociación de carofitas que incluye *Atopochara trivolvis* var. *triquetra*, *Globator maillardii* var. *trochiliscoides, Ascidiella triquetra, Clavator harrisii, Clavator calcitrapus* y *Hemiclavator neimongolensis posticecaptus*, y señalan estos fósiles como especies características de la Biozona *Triquetra* de Riveline *et al.* (1996), y le otorgan a estos primeros metros de la sección una edad de Barremiense temprano.

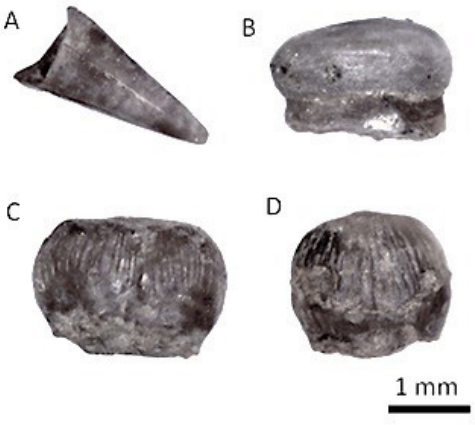


FIGURA 2. A. *Amiidae indet.*; B. *Pycnodontiformes*; C-D. *Bernissartia* sp.

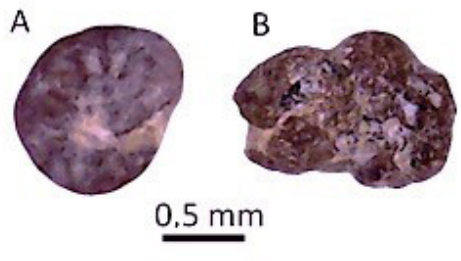


FIGURA 3. A. *Choffatella* sp.; B. *Pseudocyclammina* sp.

CONCLUSIONES

La asociación de carofitas halladas en las muestras recogidas ha permitido determinar que las secciones estudiadas pertenecen a la biozona *Atopochara trivolvis triquetra* que se corresponden con el Barremiense inferior según Riveline *et al.* (1996) y Martín-Closas (2000). Además puesto que los niveles inferiores de las secciones de los yacimientos Mas de Clapises (MCL) I, II, III, IV, V y VIII y Mas de Curolles (MQ) I, II, III y IV, se encuentran situados discordantemente sobre las calizas laminadas del Titónico-Berriasiense de la Fm. La Pleta, podemos concluir que estos yacimientos se situarían en la parte inicial del Barremiense inferior.

REFERENCIAS

Bover-Arnal, T., Moreno-Bedmar, J.A., Frijia, G., Pascual-Cebrian, E. y Salas, R. (2016): Chronostratigraphy of the Barremian–Early Albian of the Maestrat Basin (E Iberian Peninsula): integrating strontium-isotope stratigraphy and ammonoid biostratigraphy. *Newsletters on Stratigraphy*, 49 (1): 41-68.

Canerot, J., Cungny, P., Pardo, G., Salas, R. y Villena, J. (1982): Ibérica Central – Maestrazgo. En: *El Cretácico de España* (A. García, ed.). Universidad Complutense, Madrid, 273-344.

Climent-Domènech, H., Martín-Closas, C. y Salas, R. (2009): Charophyte-rich microfacies in the Barremian of the Eastern Iberian Chain (Spain). *Facies*, 55: 387-400.

Martín-Closas, C. (2000): *Els carofits del Jurassic superior i el Cretaci inferior de la Peninsula Iberica*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 304 p.

Riveline, J., Berger, J.P., Bilan, W., Feist, M., Martín-Closas, C., Schudack, M. y Soulié-Märsche, I. (1996): European Mesozoic–Cenozoic charophyte biozonation. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167: 453-468.

Salas, R. (1987): *El Malm i el Cretaci Inferior entre el massís de Garraf i la Serra d'Espadà. Anàlisi de conca.* Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 226 p.

Salas, R. y Martín-Closas, C. (1995): *El cretácico inferior del nordeste de Iberia*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 153 p.

Santos-Cubedo, A., Poza, B., de Santisteban, C., Martín, M. y Meseguer, S. (2016): Los otros dinosaurios de la comarca de Els Ports (Castellón). *Isurus*, 9: 54-63.

Villanueva-Amadoz, U., de Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2015): Age determination of the Arcillas de Morella Formation (Maestrazgo Basin, Spain). *Historical Biology*, 27(3-4): 389-397.

Una primera aproximación a la oodiversidad del yacimiento del Maastrichtiense Superior Blasi 2B (Arén, Huesca, Pirineos meridionales centrales).

A first approach to the oodiversity of Late Maastrichtian Blasi 2B site (Arén, Huesca, Southern-central Pyrenees).

M. Pérez-Pueyo[1], M. Moreno-Azanza[1,2], C. Nuñez-Lahuerta[1,2], E. Puértolas-Pascual[1,2], B. Bádenas[1] y J. I. Canudo[1]

1 Grupo Aragosaurus-IUCA, Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, 5009 Zaragoza. manuppueyo@unizar.es
2 Dpto. Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal.

Palabras clave: Fm. Tremp, Cron C30n, Prismatoolithidae, Spheroolitihidae, Krokolithidae.

Resumen

Las sucesiones del Cretácico terminal (Campaniense-Maastrichtiense) de los Pirineos meridionales centrales presentan el registro fósil continental más rico y continuo de esta edad en la Península Ibérica (Fondevilla *et al.*, 2019), incluyendo numerosos fósiles de huevos de dinosaurios. El yacimiento Blasi 2B se encuentra en los afloramientos de la Fm. Tremp situados cerca de la localidad de Arén, en el NO de la provincia de Huesca, datados como Maastrichtiense Superior (cron C30n) (Pereda-Suberbiola *et al.*, 2009). Blasi 2B presenta una asociación fósil de cáscaras de huevo con al menos ocho ootaxones, cinco asignables a dinosaurios (cuatro Prismatoolithidae y un Spheroolithidae), dos a crocodilomorfos (Krokoolithidae) y uno a tortugas (Testudoolithidae) Esta asociación incrementa la oodiversidad propuesta para este yacimiento en estudios anteriores (López-Martínez *et al.*, 1999), reduciendo el número de ootaxones dinosaurianos pero incrementando los de otros clados. Blasi 2B es uno de los yacimientos con más oodiversidad del Maastrichitiense pirenaico.

Abstract

The uppermost Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) successions in the Southern-Central Pyrenees have the richest and most continuous fossil record of this age in the Iberian Peninsula (Fondevilla et al., 2019), including numerous fossils of dinosaur eggs. Blasi 2B fossil site locates in the outcrops of the Tremp Fm. near the town of Aren (NW of Huesca province), and are dated as Late Maastrichtian (chron C30n) (Pereda-Suberbiola et al., 2009). Blasi 2B has a fossil association of eggshells with at least eight ootaxa, five assignable to dinosaurs (four Prismatoolithidae and one Spheroolithidae), two to crocodylomorphs (Krokoolithidae) and one to turtles (Testudoolithidae). This association increases the oodiversity proposed for this site by previous studies (López-Martínez et al., 1999), reducing the number of dinosaurian ootaxa but increasing those of other clades. Blasi 2B is one of the sites with more oodiversity of the Pyrenean Maastrichtian.

Referencias

Fondevilla, V., Riera, V., Vila, B., Dinarès-Turell, J., Vicens, E., Gaete, R., Oms, O. y Galobart, À. (2019). *Earth-Science Reviews,* 191, 168-–189.

Pereda-Suberbiola, X., Canudo, J.I., Cruzado-Caballero, P., Barco, J.L., López-Martínez, N. y Ruiz-Omeñaca, J.I. (2009). *Comptes Rendus Palevol,* 8, 559-572.

López-Martínez, N., Canudo, J.I. y Cuenca, G. (1999). En: *First International Symposium on Dinosaur Eggs and Babies,* Isona i Conca Dellà, Spain, 35-36.

Sobre el hallazgo de un plesiosaurio en el Jurásico Inferior de São Pedro de Moel (Portugal).

On the finding of a plesiosaur in the Lower Jurassic of São Pedro de Moel (Portugal).

E. Puértolas-Pascual[1,2], M. Marx[1,2], A. Saleiro[2], A. Fernandes[1,2], J. Marinheiro[2,3], O. Mateus[1,2], C. Tomás[2] y S. Mateus[2,3]

1 Geobiotec-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Monte de Caparica Portugal. eduardo.puertolas@gmail.com, mpmarx1@gmail.com, yetanotheralex@gmail.com, omateus@fct.unl.pt

2 Museu da Lourinhã, Rua João Luis de Moura 95, 2530-158 Lourinhã Portugal. andresaleiro@gmail.com, carla.alex.tomas@gmail.com

3 Parque dos Dinossauros da Lourinhã, Rua Vale dos Dinossauros 25, Abelheira, 2530-059 Lourinhã Portugal. joaomarinh@gmail.com, SimaoMateus@rocketmail.com

Palabras clave: Reptiles marinos, Plesiosauria, Sinemuriense, Iberia.

Resumen

Los restos de plesiosaurios son abundantes en el Jurásico Inferior de Europa, especialmente en países como Alemania e Inglaterra, sin embargo, el registro de este clado en la península ibérica, tanto en el Jurásico como en el Cretácico, es escaso y fragmentario. Los restos ibéricos generalmente corresponden a dientes y vértebras aisladas, siendo el cráneo de *Lusonectes* (Toarciense, Alhadas, Portugal) (Smith *et al.*, 2011) y un esqueleto parcial de Plesiosauroidea indet. (Pliensbachiense, Santa Mera, Asturias, España) (Bardet *et al.*, 2008), los restos más completos recuperados hasta el momento. En este trabajo presentamos parte de un esqueleto recuperado en las calizas de la Formación Coimbra (Sinemuriense, São Pedro de Moel, Leiria, Portugal). El esqueleto, parcialmente desarticulado, está compuesto por 22 vértebras (2 cervicales, 3 pectorales y 17 dorsales), varias costillas, 2 falanges y húmero, radio, isquion, ilion, pubis y fémur derechos. Con la excepción de una vértebra recuperada en Villar (Asturias, España), con un rango de edad impreciso de Hettangiense - Sinemuriense, este esqueleto representa el plesiosaurio más antiguo, pero también el más completo de la península Ibérica.

Abstract

Although the remains of plesiosaurs are abundant in the Lower Jurassic of Europe, especially in countries such as Germany and England, the record of this clade in the Iberian Peninsula, both in the Jurassic and the Cretaceous, is scarce and fragmentary. The Iberian remains generally correspond to isolated teeth and vertebrae, such as the skull of Lusonectes (Toarcian, Alhadas, Portugal) (Smith et al., 2011) and a partial skeleton of Plesiosauroidea indet. (Pliensbachian, Santa Mera, Asturias, Spain) (Bardet et al., 2008), the most complete remains recovered so far. In this work, we present a partial skeleton recovered in the fossiliferous limestone of the Coimbra Formation (Sinemurian, São Pedro de Moel, Leiria, Portugal). The skeleton, partially disarticulated, is composed of 22 vertebrae (2 cervical, 3 pectoral and 17 dorsal), several ribs, 2 phalanges, and a right humerus, radius, ischium, ilium, pubis and femur. With the exception of a vertebra recovered in Villar (Asturias, Spain), with an inaccurate age range of Hettangian - Sinemurian, this skeleton represents the oldest, and also the most complete, plesiosaur in the Iberian Peninsula.

Referencias

Bardet, N., Fernández, M., García-Ramos, J.C., Suberbiola, X.P., Piñuela, L., Ruiz-Omeñaca, J.I. y Vincent, P. (2008). A juvenile plesiosaur from the Pliensbachian (Lower Jurassic) of Asturias, Spain. *Journal of Vertebrate Paleontology* 28(1), 258-263.

Smith, A.S., Araújo, R. y Mateus, O. (2011). A new plesiosauroid from the Toarcian (Lower Jurassic) of Alhadas, Portugal. *Acta Palaeontologica Polonica* 57(2), 257-266.

Los rotálidos (macroforaminíferos) del Cretácico Superior del dominio Prebético norte: implicaciones filogenéticas y paleobiogeográficas.

The larger rotaliid foraminifera from the Late Cretaceous of the northern Prebetic Domain: phylogenetic and palaeobiogeographic implications.

R. Robles-Salcedo[1,2] y V. Vicedo[1]

1 Departament de Paleontologia, Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Passeig Picasso s/n, 08003, Barcelona, España. raquelroblesalcedo@gmail.com; vvicedov@bcn.cat

2 Myrmex. Serveis tècnics a les ciències naturals S.L., Ronda General Mitre 227, 08023 Barcelona, España.

Palabras clave: foraminíferos, rotálidos, Cretácico superior, Maastrichtiense, Campaniense.

Resumen

El estudio taxonómico en detalle de los macroforaminíferos de diversos afloramientos del Cretácico Superior del dominio Prebético norte situados en los municipios de Bocairent y Pinet (Valencia) ha permitido identificar una gran variedad de taxones. Los depósitos de estos afloramientos han sido datados con edades diferentes y muestran una asociación de macroforaminíferos característica del Campaniense superior para Pinet (Robles-Salcedo y Vicedo, 2016) y del Maastrichtiense superior para Bocairent (Granero *et al.*, 2018). Entre ellos se han identificado seis morfotipos diferentes pertenecientes al grupo de los Rotaliidae *sensu lato*. Algunos de los morfotipos se han podido atribuir a los géneros *Suturina, Neorotalia* y *Rotorbinella*, citados por primera vez en la región, otros presentan unas características arquitecturales diferentes y se han dejado por el momento en nomenclatura abierta. Este rico conjunto de rotálidos del dominio Prebético, estudiados en detalle por primera vez, demuestra la existencia de una mayor diversidad de especies de macroforaminíferos en las estribaciones occidentales del Tetis durante el Cretácico Superior. Es por ello que este nuevo hallazgo complementa la información obtenida por anteriores estudios y aporta una nueva visión en el estudio de la evolución filogenética y distribución paleobiogeográfica para los rotálidos del Cretácico.

Abstract

The detailed taxonomical study of the larger benthic foraminifera (LBF) of selected Late Cretaceous sites of the Prebetic Domain has allowed the revision of the rotaliid taxa. The outcrops, located in the villages of Pinet and Bocairent (Valencia, Spain), have been dated as late Campanian and late Maastrichtian, respectively, according to the LBF assemblages (Robles-Salcedo y Vicedo, 2016; Granero et al., 2018). Up to six morphotypes of rotaliids have been identified in the material studied. Some of them have been attributed to the genera Suturina, Neorotalia and Rotorbinella, other morphotypes call for further investigation, being left in open nomenclature in the present preliminary study. This abundant group of rotaliids of the Prebetic Domain, studied in detail for the first time, has proved that the LBF diversity in the western margin of the Tethys during the Late Cretaceous was higher than previously thought. Besides, this new finding complements the data obtained in previous studies, giving a new vision on the phylogenetic evolution and palaeobiogeographic distribution of the Cretaceous rotaliids.

Referencias

Granero, P., Robles-Salcedo, R., Lucena, G., Troya, L. y Vicedo, V. (2018): Els macroforaminífers i la fauna associada del Maastrichtià del sector Prebètic valencià sud (Est de la Península Ibèrica). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 24: 55-76.

Robles-Salcedo, R. y Vicedo, V. (2016): Bioestratigrafía con macroforaminíferos hialinos del Cretácico superior de la Zona Prebética Externa norte. *Geo-Temas*, 16 (1): 257-260.

El análisis icnológico como herramienta para caracterizar ambientes de depósito marino profundos.

Ichnological analysis: a tool for characterize deep-marine systems.

F.J. Rodríguez-Tovar

Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18002 Granada. fjrtovar@ugr.es

Resumen: El medio marino profundo es un complejo sistema en el que interaccionan diferentes procesos, lo que determina una amplia variedad de depósitos, cuya diferenciación y caracterización es, en ocasiones, difícil. En los últimos, la icnología ha emergido como una herramienta fundamental en el análisis sedimentario de cuencas y especialmente en relación con el sistema marino profundo. En numerosas ocasiones las trazas fósiles pueden considerarse como un criterio diagnóstico para la caracterización y diferenciación de pelagitas/hemipelagitas, turbiditas, contornitas o hiperpicnitas, si bien con un grado de validez variable. Sobre esta base se hace necesario evaluar la información icnológica existente respecto de los sedimentos marinos profundos dominantes. Pelagitas/hemipelagitas suelen estar completamente bioturbadas, siendo la asociación de trazas asignable a las icnofacies de *Zoophycos*. Las turbiditas se caracterizan por la presencia de una asociación de trazas registrada en la base de las capas turbidíticas, compuesta por trazas altamente organizadas (grafoglíptidos), propias de las icnofacies de *Nereites*. Dada la variedad de tipos de contornitas, no se puede definir, por el momento, una asociación diagnóstico o una icnofacies característica de estas facies.

Palabras clave: Icnología, medio marino-profundo, pelagitas/turbiditas/contornitas, icnofacies.

Abstract: *Deep-marine environment is a complex setting in which numerous processes are responsible for the deposition of sediments. Differentiation and characterization of deep-marine sediments is not always an easy matter, being a challenge the recognition of valid diagnostic criteria. In the last years, ichnology revealed as a key tool in sedimentary basin research and especially in relation to the deep-marine system. Trace fossils can be considered as a diagnostic criterion for differentiation and characterization of pelagites/hemipelagites, turbidites, contourites, or hyperpycnites, but with a variable resolution. Pelagites/hemipelagites, are usually completely bioturbated, being the trace fossil assemblage assigned to the Zoophycos ichnofacies. Turbidites are characterized by the presence of a pre-depositional suite of traces on the soles of the turbidites, consisting of highly organized burrows (graphoglyptids) belonging to the Nereites ichnofacies. Different types of contourites difficult, at present, definition of a particular diagnostic assemblage or ichnofacies for these facies.*

Keywords: *Ichnology, deep-marine environment, pelagites/turbidites/contornites, ichnofacies.*

INTRODUCCIÓN

El sistema marino profundo incluye una compleja variedad de ambientes sedimentarios en los que interaccionan numerosos procesos de erosión y depósito que determinan un gran diversidad de sedimentos con características claramente diferentes (Pickering y Hiscott, 2016). Entre los procesos sedimentarios dominantes cabría destacar los asociados a la decantación de partículas en suspensión, a flujos de gravedad y a corrientes de fondo, que dan lugar al depósito de sedimentos pelágicos/hemipelágicos, turbiditas y contornitas, entre otros. En algunos casos la identificación y caracterización de estos depósitos puede ser complicada, especialmente en aquellos en los que se produce la interacción de distintos procesos, de manera que las características diagnóstico pierden validez o se generan sedimentos mixtos con características propias. A lo largo de estos años se han buscado criterios diagnósticos que faciliten la identificación de estos depósitos, aunque no es tarea fácil, convirtiéndose en un reto en el que avanzar.

En las últimas décadas el análisis icnológico ha experimentado un extraordinario crecimiento, sobre la base de su aplicación (*Applied Ichnology*) en diferentes campos de las Ciencias de la Tierra. Este auge se ha beneficiado de la aplicación de los dos grandes paradigmas de la icnología moderna como son el modelo de icnofacies y el análisis de icnofábricas. Cabría destacar la utilidad del estudio de las trazas fósiles como indicadores de las condiciones paleoambientales (ecológicas y de depósito); las trazas fósiles registran el comportamiento de los organismos bioturbadores en respuesta a factores bióticos y abióticos (p.e., salinidad, oxigenación, nutrientes, energía hidrodinámica, tasa de sedimentación, o tipo de substrato, entre otras). En este sentido, la icnología se ha revelado como una herramienta fundamental en el análisis sedimentario de cuencas, de gran potencial para el estudio de ambientes marino profundos. Esta posibilidad incrementa en paralelo al aumento de material de sondeos procedentes de expediciones oceanográficas y de la aplicación de nuevas técnicas que posibilitan el análisis icnológico de los mismos (p.e.,

tratamiento de imágenes de alta resolución y tomografía computerizada; Dorador y Rodríguez-Tovar, 2018; Dorador *et al.*, 2019).

Sobre esta base, la información icnológica adquiere una gran relevancia y podría considerarse como una herramienta clave para identificar y caracterizar depósitos marino profundos. En este sentido, en los últimos años la información icnológica se ha incluido como un criterio para diferenciar entre pelagitas/hemipelagitas, turbiditas, contornitas e hiperpicnitas (p.e., Mulder *et al.*, 2002; Ponce *et al.*, 2007; Wetzel *et al.*, 2008; Rodríguez-Tovar y Hernández-Molina, 2018; Buatois *et al.*, 2019). Sin embargo, esta opinión no es generalizada, sino que al contrario en muchas ocasiones el estudio de las trazas fósiles y en concreto el análisis de icnofacies no es considerado, es infra valorado o incluso criticado (p.e., Shanmugam, 2018) para interpretar depósitos marino profundos.

El objetivo de este trabajo es evaluar la información icnológica existente respecto de sedimentos marinos profundos, con especial atención en la diferenciación entre aquellos depósitos en los que las trazas fósiles son un criterio diagnóstico inequívoco frente a aquellos en los que actualmente no existen criterios icnológicos claros para su caracterización. En estos últimos casos se proponen líneas de avance en el estudio icnológico que permitan mejorar su diferenciación y caracterización.

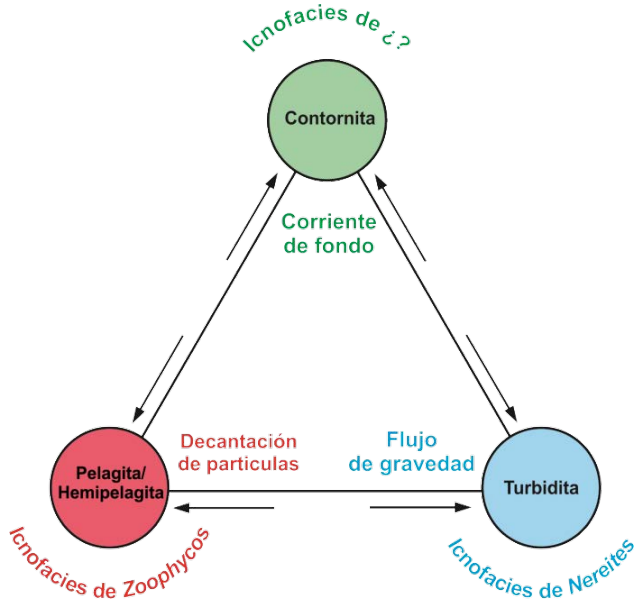


FIGURA 1. Diagrama mostrando los tres principales tipos de procesos sedimentarios en ambientes marinos profundos y sus respectivos depósitos, junto con las icnofacies asociadas (basado en Rebesco *et al.*, 2014).

El análisis de la literatura existente, junto con los datos obtenidos directamente tanto a partir del estudio de sondeos como de afloramiento, pone de manifiesto la gran variabilidad de casos, si bien se pueden alcanzar algunas primeras conclusiones (Fig. 1). En general, los sedimentos pelágicos/hemipelágicos acumulados de manera continuada en un ambiente oxigenado, están completamente bioturbados, siendo la asociación de trazas asignable a las icnofacies de *Zoophycos*. La principal característica diagnóstica de las turbiditas es la presencia de una asociación de trazas registrada en la base de las capas y generada antes del evento turbidítico. Esta asociación se caracteriza por trazas altamente organizadas (grafoglíptidos) propias de las icnofacies de *Nereites*. Las contornitas poseen una amplia variedad de trazas, en gran medida determinada por los diferentes tipos de contornitas, lo que dificulta, por el momento, definir una asociación diagnóstico o una icnofacies característica. Si bien, el análisis icnológico se revela como fundamental para caracterizar estos depósitos contorníticos a escala de afloramiento (Rodríguez-Tovar *et al.*, 2019).

En conclusión, la información icnológica debería ser considerada e integrada, junto con otro tipo de datos sedimentológicos y demás indicadores, para la caracterización de los procesos y productos que se desarrollan en el medio marino profundo.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido financiado por el Proyecto CGL2015-66835-P (Secretaría de Estado de I + D+I, España), el Grupo de Investigación RNM 178 (Junta de Andalucía), y la Unidad Científica de Excelencia UCE- 2016-05 (Universidad de Granada). La investigación forma parte del grupo "Ichnology and Palaeoenvironment Research Group" (UGR).

REFERENCIAS

Buatois, L.A., Mángano, M.G. y Pattison, S.A.J. (2019): Ichnology of prodeltaic hyperpycnite-turbidite channel complexes and lobes from the Upper cretaceous Praire Canyon Member of the Mancos Shale, Book Cliffs, Utah, USA. *Sedimentology*, doi: 10.1111/sed.12560.

Dorador, J. y Rodríguez-Tovar, F.J. (2018): High-resolution image treatment in ichnological core analysis: Initial steps, advances and prospects. *Earth-Science Reviews*, 177: 226-237.

Dorador, J., Rodríguez-Tovar, F.J. y Tistschack, J. (2020): Exploring computed tomography in ichnological analysis of cores from modern marine sediments. *Scientific Reports* https://doi.org/10.1038/s41598-019-57028-z

Mulder, T., Migeon, S., Savoye, B. y Faugères, J.-C. (2002): Reply to discussion by Shanmugam on Mulder *et al.* (2001, Geo-Marine Letters, 21, 86-93) Inversely graded turbidite sequences in the deep Mediterranean. A record of deposits from flood-generated turbidity currents? *Geo-Marine Letters*, 22: 112-120.

Pickering, K. y Hiscott, R. (2016): *Deep Marine Systems: Processes, Deposits, Environments, Tectonics and Sedimentation*. AGU & Wiley, Oxford, 657 p.

Ponce, J.J., Olivero, E.B., Martinioni, D.R. y López Cabrera, M.I. (2007): Sustained and episodic gravity flow deposits and related bioturbation patterns in Paleogene

turbidites (Tierra del Fuego, Argentina). En: *Sediment–Organism Interactions: A Multifaceted Ichnology* (R.G. Bromley, L.A. Buatois, M.G. Mángano, F.G. Genise y R.N. Melchor, eds.), Soc. Sed. Geol. Spec. Publ., 88, 253-266.

Rodríguez-Tovar, F.J. y Hernández-Molina, F.J. (2018): Ichnological analysis of contourites: past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 182: 28-41.

Rodríguez-Tovar, F.J., Hernández-Molina, F.J., Hüneke, H., Llave, E. y Stow, D.A.V. (2019a): Contourite facies model: improving contourite characterization based on the ichnological analysis. *Sedimentary Geology*, 384: 60-69.

Shanmugan, G. (2018): Bioturbation and trace fossils in deep-water contourites, turbidites, and hyperpycnites: A cautionary note. *Journal of the Indian Association of Sedimentologists*, 35: 13-32.

Wetzel, A., Werner, F. y Stow, D.A.V. (2008): Bioturbation and biogenic sedimentary structures in contourites. En: *Contourites* (M. Rebesco y A. Camerlenghi, eds.), Developments in Sedimentology 60, 183-202.

Plesiosaurios de la Formación Arcillas de Morella (Barremiense superior, Castellón, España): ¿marinos o de agua dulce?

Plesiosaurs from Arcillas de Morella Formation (upper Barremian, Castellón, Spain): marine or freshwater?.

A. Santos-Cubedo[1,2], C. de Santisteban[3], S. Meseguer[2] y A. Jorquera-Grau[1]

1 Grup Guix, C/ Santa Lucia 75, E-12540 Vila-real (Castellón). santos.cubedo@gmail.com; anna.jorquera@gmail.com
2 Área de Cristalografía y Mineralogía, Dpto. de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universitat Jaume I, Av. de Vicent Sos Baynat s/n, E-12071. Castellón. smesegue@uji.es
3 Departament de Botànica i Geologia, Universitat de València, Av. Dr. Moliner 50, E-46100 Burjassot (València). carlos.santisteban@uv.es

Resumen: Pese a que el registro fósil de plesiosaurios del Cretácico Inferior de Europa y de la Península Ibérica es escaso, los sedimentos del Barremiense de la comarca de Els Ports cuenta con una importante colección de piezas que la hacen la más numerosa de Iberia. Pese a ello, no se ha encontrado ningún ejemplar más o menos completo y el registro se compone de varias vértebras y dientes aislados. Sin embargo, son varios los yacimientos hallados en una misma formación geológica, la Fm Arcillas de Morella. Esta representa varios tipos de litofacies depositadas en diferentes subambientes, que van desde continentales a marinos. El estudio presentado en este trabajo analiza sedimentológicamente cinco de los seis yacimientos con fósiles de plesiosaurios hallados en las localidades de Morella, Portell y Todolella (Castellón) para concluir que estos vertebrados mesozoicos en la comarca de Els Ports habitaron en estuarios correspondientes a ambientes transicionales (marinos someros) durante el Barremiense superior.

Palabras clave: Sauropterigia, Estuarios, Cretácico Inferior, Plesiosaurios, España.

Abstract: *The Lower Cretaceous plesiosaur fossil record is limited in Europe and in the Iberian Peninsula. But sediments from Els Ports regions have an important number of pieces from the Barremian. This collection of plesiosaurs is the most numerous in Iberia. Despite this, no complete specimen has been found and the fossil record consists of several isolated vertebrae and teeth. However, there are several sites in the Arcillas de Morella Formation. These outcrops represent several types of lithofacies deposited in different sub-environments, ranging from continental to marine. The study presented herein, analyses sedimentologically five of the six sites with plesiosaurs fossils found in Morella, Portell and Todolella localities (Castellón province). It concludes that these Mesozoic vertebrates inhabited estuaries corresponding to transitional environments (shallow water marine environment) during the upper Barremian from the Els Ports region.*

Keywords: *Sauropterygia, Estuaries, Lower Cretaceous, Plesiosaurs, Spain*

INTRODUCCIÓN

Los plesiosaurios (Plesiosauria) son un orden de saurópsidos sauropterigios que aparecieron a finales del período Triásico y cuya extinción tuvo lugar al final del Cretácico Superior. Sus fósiles han sido hallados en todos los continentes y habitaron diferentes ambientes acuáticos, desde mar abierto hasta hábitats costeros, e incluso aguas dulces (Quesada *et al.*, 2019).

El registro fósil de plesiosaurios jurásicos de Europa es abundante pero no pasa lo mismo con los plesiosaurios del Cretácico Inferior europeo cuyo registro es limitado. Así, se conocen yacimientos del Berriasiense-Valanginiense de Alemania, Hauteriviense de Rusia, Barremiense y Valanginiense del Reino Unido y el Barremiense de España (Quesada *et al.*, 2019).

En la Península Ibérica se han recuperado fósiles de esta edad en el Barremiense de Galve, Castellote y Las Parras de Castellote, en Obón y Josa (Teruel), en el Albiense-Cenomaniense de Javaloyas (Teruel) y en el Barremiense de Morella, Portell y Todolella (Castellón) (Quesada *et al.*, 2019).

El registro de plesiosaurios de la Formación Arcillas de Morella (Barremiense superior, Castellón) es el más abundante de la península, pese a ello se limita a vértebras y dientes aislados (Jorquera-Grau, 2010; Quesada *et al.*, 2019). Así, hasta la fecha se han descrito veintidós dientes y treinta y una vértebras de los yacimientos de la Cantera del Mas de la Parreta (CMP-3, CMP-3b y CMP-3c), cinco vértebras cervicales posteriores del yacimiento del Mas de Peteix (CMX) y una vertebra caudal anterior del yacimiento del Mas de Macià Querol (M-MQ-2016), en Morella

(Jorquera-Grau, 2010; Quesada *et al.*, 2019; Jorquera-Grau *et al.*, en prensa). En el yacimiento de Mas de Rafael (MR-To-2003), en la localidad de la Todolella, se ha recuperado un centro vertebral sacral y en el yacimiento Bassa del Mas de Guimerà (BMG) que se encuentra en la localidad de Portell se halló una corona dental casi completa (Jorquera-Grau, 2010; Santos-Cubedo *et al.*, 2018). Vale la pena remarcar que de todos estos yacimientos solo se han excavado los de la Cantera del Mas de la Parreta (Fig. 1).

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

Los yacimientos de la Formación Arcillas de Morella se encuentran en la comarca de Els Ports, a unos 100 km al noroeste de la capital Castellón (Fig. 2).

Geológicamente se sitúa en el sector más oriental de la Cordillera Ibérica, en la Formación Arcillas de Morella. Esta formación es una unidad estratigráfica del Cretácico Inferior (Barremiense superior) que aflora en la Cordillera Ibérica (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2015), y que se depositó en la cuenca del Maestrazgo, concretamente en la subcuenca de Morella.

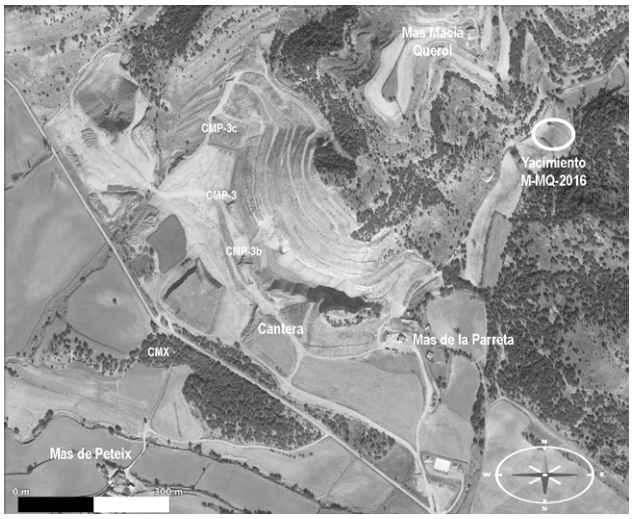


FIGURA 1. Situación de los yacimientos M-MQ, CMX, CMP3, CMP3b y CMP3c.

La Fm. Morella está constituida por arcillas rojas, areniscas blanco-amarillentas, margas grises, calizas y localmente conglomerados. Estas litofacies se presentan ordenadas vertical y lateralmente formando un conjunto de secuencias deposicionales, limitadas por superficies de erosión. Estas secuencias tienen un carácter transgresivo – regresivo y están compuestas por ciclos menores del tipo de las parasecuencias, que pueden presentar límites de inundación, exposición subaérea o erosión. La Fm. Morella tiene una potencia media de unos 80 metros y en ella se han identificado un máximo de 6 secuencias deposicionales que representarían un mínimo de 60.000 años y un máximo de 3 millones de años (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011).



FIGURA 2. Localización geográfica y cronoestratigráfica de los niveles fosilíferos del Barremiense de Els Ports en los que se han encontrado los fósiles estudiados en este trabajo.

PALEOECOLOGÍA DE LOS PLESIOSAURIOS

Los plesiosaurios fueron vertebrados acuáticos que habitaron aguas saladas, salobres y dulces, que, por tanto, han sido hallados en ambientes marinos, transicionales y continentales (Sato y Wu, 2006; Benson *et al.*, 2012; Vavrek *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2019). Pese a ello, no son muchos los fósiles hallados en sedimentos no marinos del Jurásico y del Cretácico en varias partes del mundo (Sato y Wu, 2006).

Son varias las hipótesis sobre la presencia de estos plesiosaurios en sedimentos no marinos, incluido el hecho de que se vieron obligados a buscar refugio en un entorno protegido costero o de agua dulce, por competencia o cuestiones de supervivencia (Gao *et al.*, 2019). Otra hipótesis postula que algunas especies se vieron desplazadas a este tipo de ambientes por cambios en la temperatura del agua, la cantidad y tipo de alimento y la competencia con otros grupos de animales (Sato y Wu, 2006; Gao *et al.*, 2019).

También es posible que los plesiosaurios hayan tenido ciertas preferencias de hábitat en diferentes etapas ontogénicas, y sus juveniles y subadultos pudieran haber tenido una mejor adaptabilidad a los ambientes estuarinos o fluvio-lacustres (Sato y Wu, 2006; Benson *et al.*, 2012; Vavrek *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2019). Incluso se ha propuesto que algunos plesiosaurios podían migrar estacionalmente a aguas dulces (Gao *et al.*, 2019).

La hipótesis más consensuada actualmente es que las especies de mayor tamaño fueron marinas, mientras que las especies de tamaño medio a pequeño (incluyendo estadios juveniles y adultos de especies grandes) fueron las que ocuparon ambientes transicionales y continentales. Dentro de los grupos presentes en el Cretácico Inferior europeo se ha determinado que pliosauroides, elasmosáuridos y leptocléididos tienen registros bien documentados de entornos de depósitos marginales marinos y no marinos del Cretácico en todo el mundo (Sato y Wu, 2006; Kear y Barret, 2011; Gao *et al.*, 2019).

INFERENCIAS PALEOECOLÓGICAS EN LA FM. MORELLA

Los materiales de la Formación Arcillas de Morella fueron depositados en el margen norte de la Cuenca del

Maestrazgo.Estos se depositaron en un sistema deltaico en el cual se desarrollaron diferentes subambientes (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011). En el registro sedimentario de la Formación Arcillas de Morella hay evidencias de cambios del nivel del mar del orden de pocos metros hasta una treintena de metros seguramente originados por cambios, desde un clima tropical a otro mediterráneo. Estos cambios dieron lugar a una estructura peculiar con la formación de canales fluviales que se encajaron verticalmente durante las caídas del nivel del mar y que se convirtieron en estuarios en los periodos transgresivos (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011).

Los trabajos publicados hasta la fecha (Quesada *et al.*, 2019; Jorquera-Grau *et al.*, en prensa) concluyen que en el Barremiense de la Formación Arcillas de Morella se registran al menos dos taxones diferentes de plesiosaurios: un elasmosáurido y un plesiosaurio leptocleidoideo. Estos dos tipos de plesiosaurios han sido hallados en yacimientos de otras partes del planeta en ambientes marinos transicionales y no marinos (Sato y Wu, 2006; Kear y Barret, 2011; Gao *et al.*, 2019).

Según Gasulla (2015) la subdivisión de CMP3 se debe a que son tres zonas paleontológicas separadas entre sí, pero que presentan las mismas condiciones deposicionales, se encuentran en el mismo nivel estratigráfico y son diferentes al resto de yacimientos localizados en la cantera CMP. Están asociados a cuerpos lenticulares de conglomerados de orientación E-W que se extienden en dirección N-S. Estos depósitos se vinculan a canales fluviales, localizados en niveles transicionales desde una llanura fangosa (limolitas rojas) a una llanura mareal siliciclástica (areniscas grises y amarillas), desarrollados en un ciclo transgresivo (Gàmez *et al.*, 2003). Por tanto, de ser autóctonos los fósiles de plesiosaurios hallados en los tres yacimientos de CMP3 descritos hasta la fecha (veintidós dientes y treinta y una vértebras) según la interpretación de Gasulla (2015), estos vertebrados mesozoicos debían vivir en agua dulce (canales fluviales). Sin embargo, se ha visto que los depósitos más continentales (arcillas rojas) suelen carecer de faunas de vertebrados, mientras que los marinos y de transición presentan varios tipos de yacimientos con fósiles de vertebrados.

Santisteban y Santos-Cubedo (2011) y Santos-Cubedo *et al.* (2012), presentan una interpretación alternativa. Para estos autores los huesos de vertebrados mesozoicos en la Fm. Arcillas de Morella se presentan principalmente en tres contextos sedimentarios diferentes: facies de *lags* de conglomerados en la base de valles incisos, cuerpos de areniscas en facies de playa y limolitas depositadas en medios marinos poco profundos. Desde el punto de vista de la estratigrafía secuencial, la formación de parte de los yacimientos de huellas y huesos de dinosaurios de esta zona tienen lugar, mayormente, en los cortejos transgresivo y del nivel alto del mar.

Por lo tanto, para estos últimos autores, los conglomerados y las brechas, que contienen gran parte de los restos óseos obtenidos, son depósitos formados en el interior de una red de drenaje fluvio-deltaica encajada, durante la transgresión posterior y en la que son reciclados los fósiles contenidos en las secuencias sedimentarias anteriores cuyos depósitos están expuestos en las paredes de los valles incisos.

Así, los plesiosaurios hallados en los yacimientos M-MQ-2016 y MR-To-2003 están presentes en limolitas depositadas en medios marinos poco profundos del cortejo transgresivo. Mientras que los vertebrados e invertebrados marinos de CMP-3, CMP-3b y CMP-3c han sido recuperados en facies de *lags* de conglomerados en la base de valles incisos también del cortejo transgresivo. En ambos casos las facies de limolitas y conglomerados representarían ambientes transicionales (marinos someros) correspondientes a estuarios en valles incisos inundados durante el periodo transgresivo.

Por ello, los fósiles de algunos dinosaurios y otros vertebrados continentales presentes en la facies de conglomerados (aquellos desarticulados y con señales de retrabajamiento) procederían de materiales erosionados de secuencias anteriores por lo que no serían contemporáneos con el depósito y no formarían una asociación paleobiológica representativa. La fauna asociada a los depósitos de limos y areniscas que constituyen el relleno de los estuarios, formada por plesiosaurios y otros vertebrados e invertebrados (no retrabajados, en conexión anatómica o en posición de vida), son contemporáneos con estos depósitos y sugieren ambientes de transición con una impronta marina (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011).

CONCLUSIONES

Los plesiosaurios hallados en M-MQ-2016 y MR-To-2003 habitaron estuarios en los que se depositaron limolitas verdes en medios marinos poco profundos del cortejo transgresivo. Mientras que plesiosaurios y otros vertebrados e invertebrados marinos de CMP-3, CMP-3b y CMP-3c recuperados en facies de *lags* de conglomerados vivieron en ambientes transicionales (marinos someros) correspondientes a estuarios de valles incisos inundados durante el periodo transgresivo. Por ello, se descarta que los elasmosáuridos, leptocleidoideos u otros plesiosaurios descritos hasta la fecha en los yacimientos de la Fm. Arcillas de Morella vivieran en aguas dulces.

Existe pues, un control estratigráfico en la preservación del registro paleontológico y esto hace que la interpretación geodinámica del registro sedimentario, en términos de estratigrafía secuencial, deba considerarse a la hora de realizar interpretaciones paleontológicas, puesto que no tenerlo en cuenta puede llevar a interpretaciones forzadas del registro paleontológico (Santisteban y Santos-Cubedo, 2011; Santos-Cubedo *et al.*, 2012).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Dr. Joaquín Moratalla los comentarios al manuscrito, que han ayudado a mejorar el presente trabajo.

REFERENCIAS

Benson, R.B.J., Ketchum, H.F., Naish, D. y Turner, L.E. (2012): A new leptocleidid (Sauropterygia, Plesiosauria) from the Vectis formation (early Barremian–early Aptian; early cretaceous) of the Isle of Wight and the evolution of Leptocleididae, a controversial clade. *Journal of Systematic Palaeontology*, 11: 233-250.

Gàmez, D., Paciotti, P., Colombo, F. y Salas, R. (2003): La Formación Arcillas de Morella (Aptiense inferior), Cadena Ibérica Oriental: Caracterización sedimentológica. *Geogaceta*, 34: 191-194.

Gao, T., Li, D.-Q., Li, L.-F. y Yang, J.-T. (2019): The first record of freshwater plesiosaurian from the Middle Jurassic of Gansu, NW China, with its implications to the local palaeobiogeography. *Journal of Palaeogeography*, 8(4): 360-367.

Gasulla, J.M. (2015): *Los dinosaurios de la Cantera del Mas de la Parreta, Morella (Formación Morella, Barremiense superior, Cretácico Inferior): Sistemática, análisis filogenético e implicaciones paleobiogeológicas.* Tesis Doctoral, Univ. Autónoma de Madrid, 277 p.

Kear, B.P. y Barrett, P.M. (2011): Reassessment of the early cretaceous (Barremian) pliosauroid Leptocleidus superstes Andrews, 1922 and other plesiosaur remains from the non-marine Wealden succession of southern England. *Zoological Journal of the Linnean Society,* 161: 663-691.

Jorquera-Grau, A. (2010): *Los Plesiosaurios de la Formación Arcillas de Morella (Aptiense, Cretácico Inferior, Castellón).* Trabajo de Investigación, Univ. Autónoma de Madrid, 44 p.

Jorquera-Grau *et al.*, en prensa: Nuevo fósil de plesiosaurios del Barremiense superior de Morella (Castellón, España). En este volumen, 4 p.

Quesada, J.M., Pérez-García, A., Gasulla, J.M. y Ortega, F. (2019): Plesiosauria remains from the Barremian of Morella (Castellón, Spain) and first identification of Leptocleididae in the Iberian record. *Cretaceous Research*, 94: 8-24.

Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2011): The Geological Context: The Upper Jurassic and Lower Cretaceous. En: *Dinosaurs of Eastern Iberia* (A. Galobart, M. Suñer y B. Poza, eds.). Indiana University Press, Bloomington, 24-44.

Santos-Cubedo, A., Piga, G., de Santiesteban, C., Poza, B., Martin, M., Suñer, M. y Villanueva, U. (2012): Paleodiversidad de la Formación Arcillas de Morella: una mirada a través de la tafonomía y la estratigrafía secuencial. En: *Paleodiversity and Paleoecology of Iberian Ecosystems* (C. Martínez-Pérez, M. Furió, A., Santos-Cubedo y B., Poza, eds.). Grup Guix, Sot de Chera, 100-102.

Santos-Cubedo, A., Poza, B. y de Santisteban, C. (2018): Un poco de tierra... un mundo Cretácico: el yacimiento BMG de Portell (Barremiense superior, Castellón). *Geogaceta*, 63: 91-94.

Sato, T., y Wu, X.C. (2006): Review of plesiosaurians (Reptilia: Sauropterygia) from the upper cretaceous horseshoe canyon formation in Alberta, Canada. *Paludicola*, 5: 150–169.

Vavrek, M.J., Wilhelm, B.C., Maxwell, E.E. y Larsson, H.C. (2014): Arctic plesiosaurs from the lower cretaceous of Melville Island, Nunavut, Canada. *Cretaceous Research*, 50: 273–281.

Villanueva-Amadoz, U., de Santisteban, C. y Santos-Cubedo, A. (2015): Age determination of the Arcillas de Morella Formation (Maestrazgo Basin, Spain). *Historical Biology*, 27(3-4): 389-397.

Bioestratigrafía de las Fms. Ribota y Huérmeda (Marianiense-Bilbiliense?, Cámbrico inferior) en el área de Minas Tierga (Cadenas Ibéricas, NE España)

Bioestratigraphy of the Ribota and Huérmeda Fms (Marianian-Bilbilian? Lower Cambrian) in the area of Minas Tierga (Iberian Chains, NE Spain)

A. Sepúlveda[1], E. Liñán[2], J.A. Gámez Vintaned[3], J.B. Chirivella Martorell[1] y R. Gozalo[1]

1 Departamento de Botánica y Geología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universitat de València, Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot (Valencia). aseba@alumni.uv.es; juamar@iesorriols.com; rodolfo.gozalo@uv.es

2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias-Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna, 12, E-50009 Zaragoza.

3 Departament of Geosciences, Faculty of Sciences & Information Technology. Universiti Teknologi Petronas (UTP), Bandar Seri Iskandar, 31750 Tronoh (Perak), Malaysia. jose.gamez@utp.edu.my.

Resumen: En este trabajo se presenta una sucesión estratigráfica detallada de las Fms. Ribota y Huérmeda (Marianiense-Bilbiliense?, Serie 2 del Cámbrico) situada en la localidad de Tierga (Zaragoza, NE España), estudiándose las faunas de trilobites halladas desde un punto de vista sistemático y bioestratigráfico. Los niveles con trilobites corresponden a un nivel de la Fm. Ribota y a dos niveles de la Fm. Huérmeda de las Cadenas Ibéricas y en ellos se han encontrado las especies *Kingaspis (Kingaspidoides) velata, Kingaspis (Kingaspidoides)* cf. *velata, Lusatiops ribotanus, Strenuaeva incondita, Onaraspis garciae, Luciaspis matiasi, Paulaspis tiergaensis, Termierella* sp. y *Redlichia?* sp. Las asociaciones faunísticas estudiadas sugieren una edad Marianiense y posiblemente Bilbiliense inferior en la escala regional de pisos para la Península Ibérica y muestran un interesante potencial de correlación regional e internacional.

Palabras clave: trilobites, sistemática, bioestratigrafía, Marianiense-Bilbiliense? (Serie 2 del Cámbrico), Cadenas Ibéricas.

Abstract: *This work presents a detailed stratigraphic succession of the Ribota and Huérmeda Fms. (Marianian-Bilbilian?, Cambrian Series 2) situated in the locality of Tierga (Zaragoza, NE Spain), with a systematic and biostratigraphic study of the trilobite fauna yielded. The levels with trilobites correspond to one level of the Ribota Fm. and two levels of the Huermeda Fm. in the Iberian Chains with the species Kingaspis (Kingaspidoides) velata, Kingaspis (Kingaspidoides) cf. velata, Lusatiops ribotanus, Strenuaeva incondita, Onaraspis garciae, Luciaspis matiasi, Paulaspis tiergaensis, Termierella sp. and Redlichia? sp. Studied faunal associations suggest a Marianian and possibly lower Bilbilian age in the Iberian regional chart and show an interesting regional and international correlation potential.*

Keywords: *trilobites, systematics, biostratigraphy, Marianian-Bilbilian? (Cambrian Series 2), Iberian Chains.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la división cronoestratigráfica del Cámbrico sigue siendo un problema por resolver, fundamentalmente durante el Cámbrico inferior y, sobretodo, para la Serie 2 del Cámbrico. Su techo ha sido definido en 2018, en la base del piso Wuliense, de la serie Miaolingiense, cuya base se sitúa en el FAD (*First appearance datum*) del trilobite *Oryctocephalus indicus* (ver Zhao *et al.*, 2019). Por su parte, la Serie 2 y los Pisos 2, 3 y 4 del Cámbrico continúan sin ser definidos y la ISCS sigue trabajando en aras de su caracterización y definición, por lo que es de gran interés la elaboración de bioestratigrafías regionales a partir de las cuales seleccionar los mejores taxones para la definición de las bases de estas divisiones del Cámbrico.

En la Península Ibérica algunas de las mejores sucesiones estratigráficas del Cámbrico inferior se encuentran en las Cadenas Ibéricas (Gozalo *et al.*, 2008). Sin embargo, los materiales de estas sucesiones no han recibido una atención detallada en los últimos años, ni desde el punto de vista estratigráfico ni paleontológico. En este trabajo se presenta una nueva sección estratigráfica detallada de las Fms. Ribota y Huérmeda que denominamos Minas Tierga 1 (MT1) y se localiza en las cercanías de la Mina de Santa Rosa, situada en el término municipal de Tierga (Zaragoza, España), en la que se han localizado tres niveles con trilobites que indican una edad Marianiense superior y posiblemente Bilbiliense inferior, en la escala de pisos regionales, correlacionable con el techo del Piso 3 y/o la base del Piso 4 del Cámbrico. Schmidt-Thomé (1973) realiza el primer estudio detallado del área, con una estratigrafía sintética del Cámbrico inferior de la zona de Tierga. Este trabajo es recogido en la hoja 381 de Illueca de la serie (Ramírez *et al.*, 1981). Recientemente, Álvaro *et al.* (2018) estudian los trilobites de la base de la Fm. Huérmeda en la región.

SITUACIÓN GEOLÓGICA Y ESTRATIGRAFÍA

El área de estudio está ubicada en la Rama Aragonesa de las Cadenas Ibéricas; desde un punto de vista geológico se sitúa en la Unidad de Mesones (Fig. 1), que se considera la prolongación de la Zona Cantábrica en las Cadenas Ibéricas (Gozalo y Liñán, 1988).

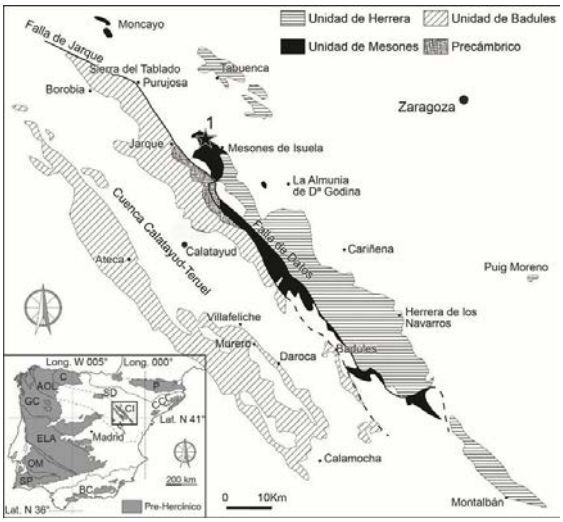


FIGURA 1. Esquema general del Paleozoico de la península Ibérica y de las Cadenas Ibéricas. 1: área de estudio (Minas Tierga). SP: zona Sur-Portuguesa; OM: zona de Ossa-Morena; ELA: zona Lusitánico Oriental-Alcúdica; GC: zona Galaico-Castellana; AOL: zona Asturoccidental-Leonesa; C: zona Cantábrica; SD: Sierra de la Demanda; CI: Cadenas Ibéricas; P: Pirineos; CCC: Cordilleras Costero- Catalanas; BC: Cordillera Bética. Modificado de Gozalo *et al.* (2008).

La sección Minas Tierga 1 (MT-1) se localiza en el camino que va desde la Carretera de Morata de Jalón- Calcena hacia la mina Santa Rosa, paralelo al barranco del Judío, a unos 3,5 km al S del núcleo urbano de la localidad de Tierga. La sección tiene una potencia de 250 m (Fig. 2) con capas de dirección O-E, los 150 primeros metros corresponden a la Fm. Ribota (aunque presenta un par de tramos fallados) y los 100 metros finales corresponden a la Fm. Huérmeda. La litología predominante en Fm. Ribota son dolomías y dolomías margosas, entre las que se intercala un tramo lutítico de unos 10 metros de espesor, que es el que ha librado la fauna de trilobites de esta formación aquí estudiada. La base de la Fm. Huérmeda se sitúa por encima de los tramos dolomíticos y contiene dos tramos de lutitas, que han librado el resto de los fósiles estudiados, el primero próximo a su base y el segundo tras un tramo de margas dolomíticas y otro de limolitas en la parte final de la sección.

SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

Kingaspis (Kingaspidoides) velata
Sdzuy, 1961 (Fig. 3A)

Material y comentarios: se han estudiado 16 moldes externos e internos de cranidios de pequeño tamaño. Los cranidios son ligeramente convexos, con una glabela cónica y un borde anterior ancho en forma de arco. El surco occipital es ancho y bien marcado y con un anillo occipital redondeado que se extiende hacia la parte posterior, características típicas de la especie.

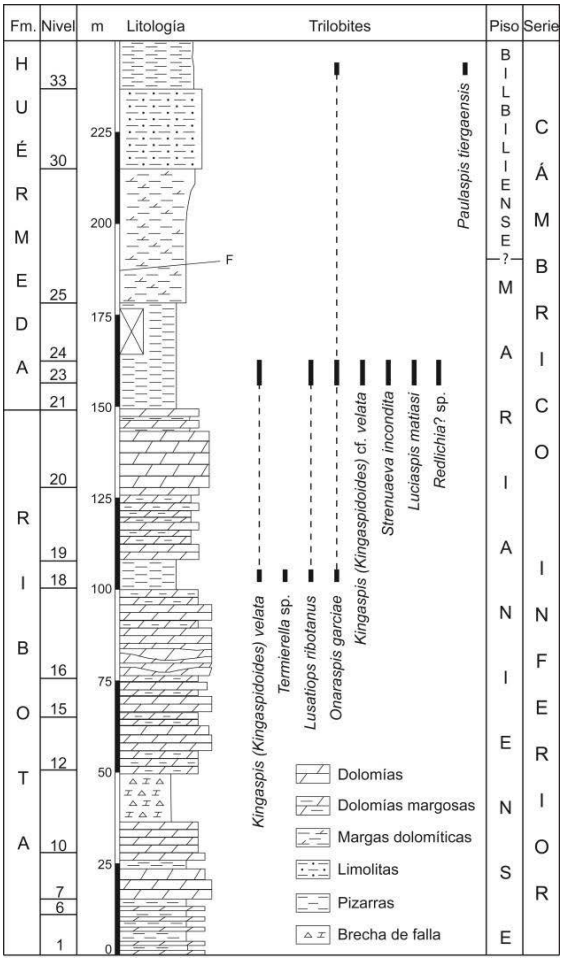


FIGURA 2. Columna estratigráfica del corte MT-1 y bioestratigrafía de los trilobites estudiados en este trabajo.

Kingaspis (Kingaspidoides) cf. velata Sdzuy 1961

Comentarios: Este taxón fue estudiado previamente por Liñán *et al.* (2003) con material procedente de esta sección.

Strenuaeva incondita Sdzuy, 1961 (Fig. 3B)

Material y comentarios: se han estudiado 20 cranidios conservados tanto como moldes internos y externos. Los ejemplares muestran los caracteres típicos de la especie con un cranidio subrectangular con 4 áreas elevadas (borde anterior, fixígenas y glabela), una glabela aproximadamente cónica o subrectangular y un surco occipital profundo y bien marcado.

***Termierella* sp.** (Fig. 3C)

Material y comentarios: se ha estudiado un único cranidio bastante completo y bien conservado procedente del nivel 18 de la Fm. Ribota. El ejemplar presenta una serie de caracteres que lo relacionan con el género Termierella,

como un área preglabelar algo abombada, la presencia de un surco ocular medio, dos surcos oblicuos a ambos lados del lóbulo glabelar anterior y una glabela redondeada en su parte anterior y que lo diferencian de *Lusatiops*, con un borde anterior y una forma del cranidio bastante similar.

Lusatiops ribotanus

Richter y Richter 1948 (Fig. 3D)

Material y comentarios: el material asignado a esta especie consiste en 40 cranidios conservados como moldes internos y externos, un ejemplar articulado con cranidio y 10 segmentos torácicos, un cefalón incompleto, un tórax incompleto y una librígena. Los ejemplares presentan los caracteres típicos de la especie: un borde anterior estrecho con un surco anterior profundo y bien marcado, una glabela cónica con tres pares de surcos no transglabelares y unas espinas genales largas y afiladas.

Paulaspis tiergaensis

Álvaro, Esteve, Gracia y Zamora, 2018 (Fig. 3F)

Material y comentarios: se ha recuperado el molde externo de un cranidio no muy bien conservado e incompleto. El cranidio presenta una morfología similar a la de *Onaraspis garciae* pero *P. tiergaensis* tiene el surco S3 dirigido hacia atrás, una glabela más ancha y robusta en su parte posterior y un borde anterior más estrecho transversalmente.

Luciaspis matiasi

Álvaro, Esteve, Gracia y Zamora, 2018 (Fig. 3E)

Material y comentarios: se han estudiado hasta 29 cranidios, 3 ejemplares con cranidios articulados y varios segmentos torácicos, 4 fragmentos de tórax, un pigidio y una librígena del nivel 23 de la Fm. Ribota. Los ejemplares presentan la morfología característica de esta especie con un borde anterior grande, robusto y abombado, un surco anterior poco marcado y un campo preglabelar ausente, además de segmentos torácicos con espinas curvadas que aumentan de tamaño conforme llegan al pigidio.

Onaraspis garciae

Álvaro, Esteve, Gracia y Zamora, 2018 (Figs. 3G, 3H)

Material y comentarios: el material reunido consiste en 30 cranidios, 2 cranidios fragmentados, una muda de ejemplar completo, 2 cranidios articulados con varios segmentos torácicos, 5 pigidios y un tórax incompleto. Al igual que esta especie, los ejemplares recolectados presentan un borde anterior convexo, una glabela con 3 pares de surcos no transglabelares con el surco S3 en dirección hacia la parte anterior, tórax con hasta 14 segmentos con macropleuras en los segmentos 11 y 14 y pigidio triangular en forma de escudo.

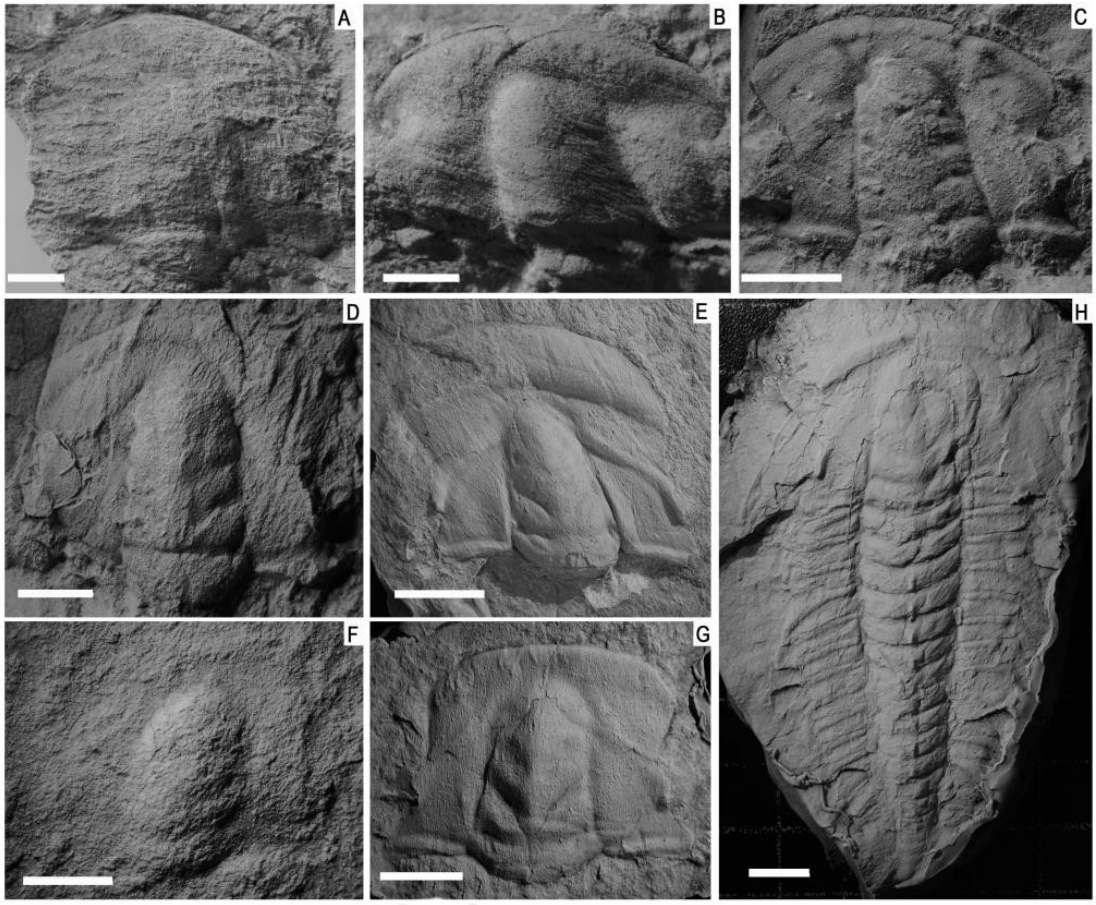


FIGURA 3. A: Kingaspis (Kingaspidoides) velata *(MPZ 2020/30)*; B: Strenuaeva incondita *(MPZ: 2020/31)*; C: Termierella sp. *(MPZ 2020/32)*; D: Lusatiops ribotanus *(MPZ 2020/33)*; E: Luciaspis matiasi *(MPZ 2020/34)*; F: Paulaspis tiergaensis *(MPZ 2020/35)*; G y H: Onaraspis garciae *(MPZ 2020/36 y 2017/ 763). Escala: A y B: 2 mm; C, D y F: 5 mm; E y G: 8 mm; H: 1 cm.*

BIOESTRATIGRAFÍA

En la sucesión de Minas Tierga 1 se han encontrado tres niveles con trilobites (Fig. 2). Los dos primeros presentan una asociación faunística conformada por *Lusatiops ribotanus, Kingaspis (Kingaspidoides) velata, Redlichia?* sp. y *Strenuaeva incondita* que es indicativa de una edad Marianiense, probablemente Marianiense superior, en la escala regional de pisos para la Península Ibérica (Liñán *et al.*, 1993; Gozalo *et al.*, 2008), correlacionable con la parte inferior del Piso 4 del Cámbrico (ver Sundberg *et al.*, 2016). Además, se cita por primera vez en las Cadenas Ibéricas la presencia de *Termierella* sp., género típico del Marianiense medio y superior de la Zona de Ossa-Morena (Liñán *et al.*, 1993), lo que es congruente con la asociación acompañante.

Por otro lado, la asociación estudiada en la parte alta de la Fm. Huérmeda está integrada por *Onaraspis garciae* y *Paulaspis tiergaensis*, dos taxones recientemente definidos y que, por el momento, son endémicos de esta región. Estos taxones podrían tener una edad Bilbiliense inferior dada su posición estratigráfica en la parte alta de la Fm. Huérmeda, de acuerdo con los datos regionales, tal y como ocurre en la sección de Borobia en la que se ha encontrado *Protolenus (Hupeolenus) termierelloides* indicativo del Bilbiliense inferior (ver Palacios y Moczydlowska, 1998).

De acuerdo con los nuevos hallazgos, merece la pena destacar el amplio rango estratigráfico de *Onaraspis garciae*, que previamente sólo se había reconocido en la base de la Formación Huérmeda y, además, su registro conjunto con *Luciaspis matiasi* en la parte baja de esta Formación.

CONCLUSIONES

Se estudia en detalle una sucesión de las Fms. Ribota y Huérmeda en las cercanías de Minas Tierga, en la que se reconocen tres niveles con trilobites. Destaca la primera cita de *Termierella* sp. en las Cadenas Ibéricas, que podría facilitar la correlación del piso Marianiense entre esta zona y la de Ossa-Morena, y la ampliación del rango estratigráfico de la especie *Onaraspis garciae*.

Las asociaciones de trilobites premiten datar la sucesión como Marianiense superior y, probablemente, Bilbiliense inferior, correlacionables con el Piso 4 de la Serie 2 del Cámbrico, actualmente en fase de estudio por la ISCS.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al grupo de investigación GIUV2017-395 de la Universitat de València y al proyecto PIGC 652 "*Reading geologic time in Palaeozoic sedimentary rocks*".

REFERENCIAS

Álvaro, J.J., Esteve, J., Gracia, F. y Zamora, S. (2018): Cambrian trilobites of the Huérmeda Formation (Iberian Chains, North-East Spain) and the inadequacy of the Marianian stage. *Papers in Paleontology*, 2018: 1-23.

Gozalo, R. y Liñán, E. (1988): Los materiales hercinícos de la Cordillera Ibérica en el contexto del Macizo Ibérico. *Estudios geológicos*, 44: 399-404.

Gozalo, R., Liñán, E., Gámez Vintaned, J. A., Dies Álvarez, M. E., Chirivella Martorell, J., Zamora, S., Esteve, J. y Mayoral, E. (2008): The Cambrian of the Cadenas Ibéricas (NE Spain) and its trilobites. *Cuadernos del Museo Geominero, 9. Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid: 137-151.

Liñán, E., Perejón, A. y Sdzuy, K. (1993): The Lower-Middle Cambrian stages and stratotypes from the Iberian Peninsula: a revision. *Geological Magazine*, 130 (6): 817-833.

Liñán, E., Dies, M.E. y Gozalo, R. (2003): A review of the genus *Kingaspis* (Trilobita, Lower Cambrian) from Spain and its biostratigraphical consequences for correlation in the Mediterranean subprovince. *Revista Española de Paleontología*, 18 (l): 3-14.

Palacios, T. y Moczydlowska, M. (1998): Acritarch biostratigraphy of the Lower-Middle Cambrian boundary in the Iberian Chains, province of Soria, northeastern Spain. *Revista Española de Paleontología*, nº extr. Homenaje al Prof. Gonzalo Vidal: 65-82.

Ramírez, J., Aguilar, M., Del Olmo, P., Aragonés, E. y Hernández, A. (1981): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 381 (Illueca)*. IGME, Madrid.

Schmidt-Thomé, (1973): Beiträge zur Feinstratigraphie des Unterkambriums in den Iberischen Ketten (Nordost-Spanien). *Geologisches Jahrbuch*, B, 7: 3-43.

Sundberg, F.A., Geyer, G., Kruse, P.D., McCollum, L.B., Pegel', T.V., Żylinska, A. y Zhuravlev, A.Yu. (2016): International correlation of the Cambrian Series 2-3, Stages 4-5 boundary interval. *Australasian Palaeontological Memoirs*, 49: 83-124.

Zhao, Y., Yuan, J., Babcock, L.E., Guo, Q., Peng, J., Yin, L., Yang, X., Peng, S., Wang, C., Gaines, R.R., Esteve, J., Tai, T., Yang, R., Wang, Y., Sun, H. y Yang, Y. (2019): Global Standard Stratotype-Section and Point (GSSP) for the conterminous base of the Miaolingian Series and Wuliuan Stage (Cambrian) at Balang, Jianhe, Guizhou, China. *Episodes*, 42 (2): 165.

Bioestratigrafía del límite Luteciense–Bartoniense (SBZ 16 – 17) en el flanco oeste del anticlinal de Boltaña (cuenca de Jaca-Pamplona, Zona Surpirenaica).

Biostratigraphy of the Lutetian–Bartonian boundary (SBZ 16 – 17) in the western flank of the Boltaña anticline (Jaca-Pamplona Basin, South-Pyrenean Zone).

R. Silva-Casal[1,2], P. Arbués[1,2], A. Vinyoles[1,2], M. Garcés[1,2], J. Tosquella[3,4], M. López-Blanco[1,2], L. Valero[5], E. Beamud[2,6] y P. Santolaria[1,2]

1 Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. roi.silva.casal@gmail.com
2 Institut de Recerca Geomodels. Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.
3 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, 21071 Huelva, España.
4 Centro de Investigación en Patrimonio Histórico, Cultural y Natural (CIPHCN), Universidad de Huelva, 21071 Huelva, España.
5 Department of Earth Sciences, University of Geneva, Rue des Maraichers 13, 1205 Genève.
6 Paleomagnetic Laboratory CCiTUB-ICTJA CSIC, C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.

Palabras clave: SBZ, *Nummulites*, límite Luteciense-Bartoniense, magnetoestratigrafía.

Resumen

En este trabajo se analiza, desde un punto de vista bioestratigráfico, las faunas de macroforaminíferos del límite Luteciense-Bartoniense. La serie estratigráfica estudiada se localiza en el flanco oeste del anticlinal del Boltaña, en el margen sur del río Ara (Zona Surpirenaica, Cuenca de Jaca-Pamplona).

En un intento por recalibrar las SBZ (Shallow Benthic Zones) con la escala tiempo de polaridad magnética (GPTS), la Zona Surpirenaica ha proporcionado series adecuadas para una recalibración fiable de las SBZ del Luteciense, en las Sierras Exteriores, y del Bartoniense-Priaboniense, en la cuenca Surpirenaica oriental. Sin embargo, la ausencia de una serie continua en facies someras con presencia de macroforaminíferos, a lo largo del límite Luteciense -Bartoniense, ha impedido hasta la fecha la recalibración de dicho límite (SBZ 16-17).

La sección compuesta de Aguilar-Planiello ofrece un registro continuo a lo largo del límite Luteciense -Bartoniense en facies marinas someras. En la base de esta sección, el Luteciense superior (SBZ 16) se encuentra caracterizado por una asociación de *Nummulites deshayesi* y *N. cf. dufrenoyi*. A techo, una asociación compuesta por *N. perforatus* y *N. puschi* caracteriza el Bartoniense (SBZ 17). La obtención de biomarcadores típicos del Luteciense superior (SBZ 16) y del Bartoniense (SBZ 17) muestra el potencial de la sección compuesta de Aguilar-Planiello para la recalibración magnetoestratigráfica de este límite.

Abstract

This work deals with the biostratigraphic analysis of larger foraminiferal faunas of the Lutetian- Bartonian boundary. The studied succession is located at the western flank of the Boltaña anticline, in the southern margin of the Ara river (South Pyrenean Zone, Jaca-Pamplona Basin).

In the attempt to recalibrate the SBZs (Shallow Benthic Zones) with the Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS), the South Pyrenean Zone has provided adequate sections for a reliable recalibration of the Lutetian SBZs in the External Sierras and the Bartonian-early Priabonian in the eastern South-Pyrenean Basin. Nevertheless, the absence of a continuous outcrop with larger foraminiferal facies for the Lutetian-Bartonian transition has prevented a precise recalibration of this boundary (SBZ 16-17).

The stratigraphic record of the Aguilar-Planiello composite section on the western flank of the Boltaña anticline offers a continuous shallow marine succession for the Lutetian-Bartonian transition. At the base of this succession the association of Nummulites deshayesi and N. cf. dufrenoyi allows the definition of the late Lutetian or SBZ 16. The Bartonian (SBZ 17) is characterized by the association of N. perforatus and N. puschi. The identification of these biomarkers evidences de potential of the composite section of Aguilar-Planiello for the magnetostratigraphic recalibration of the SBZ 16-SBZ 17 boundary.

La colección paleontológica Michel Bilotte: una nueva contribución a los fondos científicos del Museu de Ciències Naturals de Barcelona.

The Michel Bilotte palaeontological collection: a new contribution to the Museu de Ciències Naturals de Barcelona scientific resources.

L. Troya[1, 2], G. Lucena[1], R. Robles-Salcedo[1, 2] y V. Vicedo[1]

1 Departament de Paleontologia, Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Passeig Picasso, s/n, 08003 Barcelona.
troya.luis@gmail.com, lucena.gerard@gmail.com, raquelroblesalcedo@gmail.com, vvicedov@bcn.cat
2 Myrmex. Serveis tècnics a les ciències naturals S.L., Ronda General Mitre 227, 08023 Barcelona.

Palabras clave: colección Bilotte, fósiles, patrimonio paleontológico.

Resumen

El Museu de Ciències Naturals de Barcelona recibe eventualmente donaciones de colecciones paleontológicas derivadas de la actividad científica de investigadores. En 2017 el museo adquirió una colección donada por el profesor emérito de la Universidad Paul Sabatier de Toulouse, y reputado geólogo francés Michel Bilotte. Tras su ingreso, el contenido de la colección se ha registrado, documentado, informatizado y preparado para su conservación, quedando a disposición pública para su consulta y estudio.

La colección Bilotte contiene un total de 503 registros y está constituida mayoritariamente por fósiles recolectados en el Cretácico superior de varias localidades catalanas durante los trabajos de campo para sus estudios en los Pirineos, principalmente durante la elaboración de su tesis doctoral (Bilotte, 1984 1985). Además, la colección contiene fósiles del Eoceno de la provincia de Huesca y de forma minoritaria algunos ejemplares del Cretácico Superior de los Pirineos de Francia, del Cretácico Superior de Bulgaria y del Cretácico Inferior de México.

El contenido de la colección comprende exclusivamente fósiles de invertebrados, principalmente moluscos ─destacando los bivalvos rudistas─ y equinodermos. Braquiópodos, cnidarios y microfósiles están también representados pero en menor cantidad.

Abstract

The Museu de Ciencies Naturals de Barcelona receives donations of palaeontological collections of scientific researchers. In 2017 the museum acquired a collection donated by Michel Bilotte, professor emeritus of the University Paul Sabatier of Toulouse and renowned French geologist. The content of the collection has been registered, documented and prepared for its conservation, making it available for public consultation.

The collection is composed of 503 records, consisting mostly of fossils collected in the Upper Cretaceous of several Catalan localities during the field work for their studies in the Pyrenees, mainly during the preparation of his PhD thesis (Bilotte, 1984, 1985). In addition, the collection contains fossils of the Eocene of the province of Huesca and some specimens from the Upper Cretaceous of the Pyrenees of France, the Upper Cretaceous of Bulgaria and the Lower Cretaceous of Mexico.

The content of the collection includes exclusively invertebrate fossils, mainly mollusks ─especially rudists─ and echinoderms. Brachiopods, cnidarians and microfossils are also represented, but they are less abundant.

Referencias

Bilotte, M. (1984). *Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéenes*, Atlas. Strata, Série 2, Mémoires, 1, Toulouse, 45 pls.

Bilotte, M. (1985). *Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéenes*. Strata, Série 2, Mémoires, 5, Toulouse, 438 p.

Modelo morfométrico de los desprendimientos rocosos en el barranco de Fataga, Gran Canaria.

Morphometric model of the rock falls of Fataga ravine, Gran Canaria.

M. Antón Bayona[1], M.J. Rodríguez-Peces[1], J. Yepes[2]

1 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. mauroant@ucm.es; martinjr@ucm.es
2 Departamento de Ingeniería Civil-IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas. jorge.yepes@ulpgc.es

Palabras clave: avalancha rocosa, desprendimientos, morfometría, Gran Canaria

Resumen

Las formas y depósitos de vertiente son muy variados (deslizamientos, avalanchas, flujos, campos de bloques, canchales, coluviones) ¿Qué factores condicionan la aparición de una u otra tipología deposicional? Este trabajo ofrece una primera aproximación. Para ello se ha elegido el barranco de Fataga. Una cuenca con abundantes depósitos de vertiente. Los datos manejados son: el mapa geológico; el MDE; la ortofoto y varias campañas de campo. Se cartografiaron 1971 bloques de dimensiones >2m. El análisis de las lineaciones morfoestructurales muestra una disimetría entre los escarpes de las dos márgenes. La margen derecha es rectilínea (N-S) y presenta grandes pendientes. La margen izquierda presenta varias orientaciones (N-S; NE-SW) y pendientes menores. El análisis del mapa de densidad de bloques muestra la existencia de 4 zonas con mayor acumulación de bloques: Fataga (150 bloques), Lomo del Pajarillo (92 bloques), Arteara (470 bloques) y Ladera de Los Pinos (16 bloques). Solo en 2 de estas 4 zonas recubren masas deslizadas previamente. Sin embargo, las 2 zonas más extensas y con mayor acumulación de bloques se encuentran en la margen derecha del barranco, donde alternan coladas de ignimbritas y lavas fonolíticas. Materiales con un índice de alterabilidad dispar. Mientras que en la margen izquierda, las intercalaciones de ignimbritas son escasas. En una primera aproximación, parece que los desprendimientos tienen lugar en una etapa posterior a los grandes deslizamientos, que su alcance es menor (se concentran en el escarpe de cabecera) y que el condicionante litológico es determinante en su distribución espacial, al menos en Fataga.

Abstract

The The landforms and deposits in slopes are varied (landslides, avalanches, flows, block fields, screes, colluvia). Which factors condition the appearance of one or another depositional typology? This work offers a first approach. For this objective, the Fataga ravine has been chosen. A basin covered by abundant slope deposits . The data used are the geological map; the DEM ; the orthophoto and data gathered during field surveys. The analysis allowed mapping 1971 blocks of planimetric dimensions >2m. The analysis of the morphostructural lines shows a clear dissymmetry between the escarpments of the two margins. The right margin is rectilinear (N-S) and has steep slopes. The left margin has several orientations (N-S; NE-SW) and minor slopes. The heat map analysis shows the existence of 4 zones with the greatest accumulation of blocks: Fataga (150 blocks), Lomo del Pajarillo (92 blocks), Arteara (470 blocks) and Ladera de Los Pinos (16 blocks). Only in 2 of these 4 zones, the blocks cover previous landslides masses. However, the 2 most extensive areas with the highest acumulation are found on the right escarpment of the ravine, where ignimbrite and phonolithic lava flows alternate, both materials with contrasting resistance to erosión. While on the left margin, the intercalations of ignimbrites are scarce. In a first approximation, it seems that the rock falls occur in a later stage than the large landslides, that the runout distance is smaller (they are concentrated in the head scarp) and that the lithological factor is determinant in their spatial distribution, at least in Fataga.

Modelo morfométrico de la avalancha rocosa de Arteara, Gran Canaria.

Morphometric model of the rock avalanche of Arteara, Gran Canaria.

M. Antón Bayona[1], M.J. Rodríguez-Peces[1], J. Yepes[2]

1 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. mauroant@ucm.es; martinjr@ucm.es

2 Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas. jorge.yepes@ulpgc.es

Palabras clave: avalancha rocosa, desprendimientos, morfometría, Gran Canaria

Resumen

El extenso canchal de Arteara recubre un deslizamiento traslacional. La caracterización geológico-geotécnica ha sido objeto de estudios previos. Este trabajo recoge el análisis morfométrico del MDE, de la ortofoto y de varias campañas de campo. Se cubicó el depósito de avalancha por diferencia entre MDEs a partir de 86 perfiles. Se cartografiaron 476 bloques de dimensiones >2m de lado. Los bloques se diferenciaron en 4 clases: 318 (8-27m³); 118 (27-64m³); 32 (64-125m³); 8 (>125m³). Se midió la altura de los bloques mayores (>3m). Se definieron los perfiles tipo y se extrajeron los principales parámetros morfométricos de la avalancha. Se obtuvieron los mapas de porcentaje de acumulación de bloques y la distribución espacial de bloques, según tamaños. El análisis del mapa de densidad de bloques muestra la existencia de 3 zonas tipo de acumulación (cabecera, pie y flancos). El mayor porcentaje de acumulación se localiza en la cabecera y luego en el pie. En la cabecera, 130 bloques definen varios levees paralelos y se distribuyen de forma asimétrica, condicionados por la orientación de las pendientes del relieve preexistente. En la zona del pie, 90 bloques se agrupan definiendo un solo cordón a lo largo del contorno perimetral. En los flancos se observan 2 pequeños rebases, asociados a declives topográficos y 1 área fuente marginal, asociada a la progresiva desestabilización de un gran bloque desmembrado del escarpe principal. El análisis del mapa de bloques confirma que los grandes bloques (>64m³) se observan en las zonas de mayor acumulación. La distribución multimodal de los bloques y la preservación de morfologías tipo levee en el pie y cabecera sugieren múltiples eventos con un alcance progresivamente menor, lo que da como resultado el relieve actual.

Abstract

The extensive scree of Arteara covers a translational slide. Geological-geotechnical characterization has been the subject of previous studies. This work includes the morphometric analysis of a DEM, the PNOA orthophoto and several field surveys. The volume of the deposit was obtained by difference of MDE from 86 profiles. 476 blocks larger than 2m were mapped. 4 kinds of blocks were differentiated: 318 (8-27m³); 118 (27-64m³); 32 (64-125m³); 8 (>125m³). The heigth of the larger blocks (>3m) was mesured. The prototype profiles were defined, as well as the main morphometric parameters of the rock avalanche were extracted. From the block mapping, the percentage of block accumulation and the spatial distribution were obtained, according to block sizes. The heat map analysis shows the existence of 3 accumulation type zones (head, foot and flanks). The highest acumulation is located in the heat and then in the foot. In the header, 130 blocks define several parallel levees and are distributed asymmetrically, conditioned by the slope orientation of the pre-existing relief. In the foot zone, 90 blocks are grouped defining a single levee along the perimeter contour. On the flanks there are 2 small overflows, associated with topographic declines and a marginal source area, associated with the progressive destabilization of a large dismembered block of the main escarpment. The block map analysis confirmed that the large blocks (>64m³) are observed in the areas of greatest accumulation. The multimodal distribution of the blocks and the preservation of levee morphologies in the foot and at the head of the rock avalanche deposit suggests a multi-stage morphogenesis with a progressive reduction of the kinetic energy of the process, wich results in current relief.

Quaternary incision of the Seine River based on Normand caves levels in north France.

Incisión cuaternaria del río Sena a partir de niveles de cuevas normandas en el norte de Francia.

D. Ballesteros[1,2], C. Nehme[1], A. Farrant[3], D. Todisco[1], D. Sahy[3], J.M. Grappone[4], D. Mouralis[1]

1 UMR 6266 IDEES, University of Rouen-Normandy / CNRS, Mont Saint-Aignan CEDEX, carole.nehme@univ-rouen.fr, dominique.todisco@univ-rouen.fr, damase.mouralis@univ-rouen.fr
2 Department of Geodynamics, University of Granada, Campus de Fuentenueva s/n, 18071, Granada, dballesteros@ugr.es,
3 British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, NG12 5GG, arf@bgs.ac.uk, dihy@bgs.ac.uk
4 Geomagnetism Laboratory, University of Liverpool, Liverpool L69 7ZE, j.m.grappone@liverpool.ac.uk

Keywords: *chalk cave, fluvial incision, karst, Seine River, speleoinception.*

Abstract

The identification and dating of water table cave levels provide key issues about the fluvial evolution, quantifying the incison rates and linking fluvial downcutting. In the lower Seine valley, caves were developed in the Upper Cretaceous chalk and their large detrital infill allow us to constrain the Quaternary evolution of the Seine valley. Six chalk caves, with a combined length of over 5.7 km were studied from the geomorphological point of view, identifying cave forms and deposits related to bedrock geology. Cave levels were defined based on geomorphological evidence and altitudinal cave passage distribution, and their chronology was established combining ten U/Th speleothem ages and 144 palaeomagnetic samples. Four regional cave levels formed by phreatic and epiphreatic conduits enlarged by paragenesis were identified at 10, 40, 75-80, and 85-90 m above the sea level, showing 1% slope to the Seine estuary. Palaeomagnetic and U/Th datations point out that the cave levels developed sequentially from >1.06 Ma to c. 300 ka. At local scale, prominent Turonian, Coniacian and Santonian hardgrounds, sheet- and semi-tabular flint bands controlled the cave development, evidencing the occurrence of suitable stratigraphic horizons for speleogenesis. Cave levels configuration and chronology suggest incision rates of ~0.03-0.08 m·ka^{-1} varying along the last one million year.

Resumen

La identificación y datación de niveles de cuevas freáticas proporciona aspectos claves de la evolución fluvial, cuantificando las tasas de incisión y relacionando el encajamiento fluvial con el desarrollo del karst. En el valle bajo del río Sena, las cuevas se desarrollaron en las cretas subhorizontales del Cretácico Superior y su potente relleno detrítico permite aproximarse a la evolución cuaternaria del valle del Sena. Se estudió la geomorfología de seis cuevas que suman un total de 5,7 km, identificando las formas y depósitos relacionadas con la geología del sustrato rocoso. Los niveles de cuevas se definieron en base a las evidencias geomorfológicas y la distribución altimétrica de los pasajes subterráneos, mientras que su cronología se estableció combinando 10 edades U/Th y 144 muestras de paleomagnetismo. En total se identificaron cuatro niveles regionales de cuevas situados a 10, 40, 75-80 y 85-90 m de altitud, formados por conductos freáticos y epifreáticos agrandados mediante paragénesis. Estos niveles muestran una pendiente del 1% hacia el estuario del río Sena. Las dataciones paleomagnéticas y de U/Th señalan que los niveles de cuevas se desarrollaron secuencialmente desde hace más de 1,06 Ma hasta cerca de 300 ka. A escala local, prominentes hardgrounds, sheet-flints y bandas semitabulares de sílex turonienses, coniaciense y santonienses controlaron el desarrollo de las cuevas, evidenciando la presencia de horizontes estratigráficos adecuados para la espeleogénesis. La configuración y cronología de los niveles de cuevas sugieren unas tasas de incisión fluvial de ~0.03-0.08 m·ka^{-1}, que ha variado a lo largo del último millón de años.

Monitoring Pyrenean Rock Glaciers: a multitemporal analysis using open-source LiDAR data in the Besiberri Area

Monitoreo de glaciares rocosos pirenaicos: un caso de estudio utilizando datos públicos LiDAR en el área de Besiberri.

F.J. Bataller[1]

1 Department of Earth Sciences, University of Geneva, Rue des Maraichers 13, 5 CH-1205 Genève. / Repsol E&P., Mendez Alvaro 44, 28045, Madrid. fbataller@gmail.com

Abstract: *The monitoring of rock glaciers is currently a subject of interest due to its application as a permafrost indicators and their sensitivity to climatic changes. Pyrenean alpine rock glaciers have been described by various authors, but their regional investigation is challenging since most of the existing studies are based on ground-based techniques. Two LiDAR campaigns (from 2015 and the second one currently ongoing) performed by the Spanish Instituto Geográfico Nacional (IGN), provide an excellent opportunity to asses the vertical movement on these periglacial features. The present work aims to analyse two sets of open-source LiDAR data (acquired in 2011 and 2016) to map of elevation difference in previously identified rock glaciers. The results will also show how some recently proposed potentially active rock glaciers are showing vertical displacement and some others are not. Additionally, the displacement results of the Besiberri NW rock glacier are compared with the data obtained in previous studies (1993-2003) by Chueca and Julian (2005), showing an increase on the vertical displacement of the central area. This is interpreted as possible destabilization due to ice core ablation. Conclusions, climate monitoring implications, limitations and further work to improve these results are also discussed.*

Keywords: *Rock Glaciers, LiDAR, Besiberri, Multitemporal, airborne*

Resumen: El monitoreo de los glaciares rocosos es un tema de interés actualmente debido a su aplicación como indicador del permafrost y su sensibilidad a los cambios climáticos. Varios autores han descrito glaciaresrocosos en el Pirineo, pero su estudio a escala regional constituye un desafío, ya que la mayoría de las investigaciones se basan en técnicas terrestres. Dos campañas de LiDAR (de 2015 y la segunda en curso) realizadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ofrecen la oportunidad de evaluar el movimiento vertical de los glaciares rocosos ya identificados. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el conjunto de datos LiDAR (adquiridos en 2011 y 2016) para cartografiar la diferencia de elevación en los glaciares rocosos previamente identificados. Los resultados también mostrarán cómo algunos recientemente propuestos, potencialmente activos (Roca, 2016), muestran desplazamiento vertical y otros no. Además, los resultados de desplazamiento en el glaciar rocoso de Besiberri NW se comparan con los resultados obtenidos por estudios previos (1993-2003) de Chueca y Julián (2005). Estos muestran un aumento en el desplazamiento vertical del área central, interpretado como una posible desestabilización del núcleo de hielo. Para concluir, se discuten las implicaciones del monitoreo climático, las limitaciones de la metodología propuesta y el posible trabajo adicional para mejorar estos resultados.

Palabras clave: Glaciares Rocosos, LiDAR, Besiberri, Multitemporal, Aeroportado

INTRODUCTION

Rock glaciers are typically defined as periglacial geomorphological features formed by angular rock debris bound together by ice, which can be massive or interstitial. Although the definition is widespread, there are still some significant discussions about their classification and origin, and whether they relate to purely glacial or periglacial environments since they are something "in-between". Some authors argue that only debris flows bounded together by interstitial ice are to be considered as such, which will result in pure periglacial features, meanwhile, other authors defend that rock glaciers have a pure glacial origin, usually ice-cored (Humlum, 1996). Aside from these discussions, what is broadly accepted is that these landforms represent a permafrost indicator (Barsch, 1996). Permafrost is defined as a ground thermal state in which, independently of if it is rock, soil or organic matter, it is found at 0 °C (or lower temperatures) for, at least, two consecutive years. Alpine rock glaciers, which, independently from being located at lower latitudes, occur at specific locations which meet these criteria mainly due to the elevation and often aided by the orientation reducing the exposure to sunlight during the warmest months of the year. The Pyrenees (Spain and France) are one of these cases (Serrano et al., 2009).

Alpine rock glaciers have been studied in the Pyrenees for more than 35 years. The analysis of these features have been based on different techniques, some of which are: (1) detailed morphologic descriptions based on Barch (1996)

classification, (2) surface clasts analysis in terms of fabrics and morphology, (3) geophysical studies, (4) movement and flow analysis using surface measurements based on photogrammetry, cartographic and GPS techniques (Sanjosé, 2003), etc. More recently, also, using 2D and 3D cartographic high-resolution viewers to identify possible and probable rock glaciers (Roca, 2016). All these studies have resulted in an inventory of Pyrenean rock glaciers, with 14 described and reported active rock glaciers and up to 69 potentially active rock glaciers (Roca, 2016).

Remote sensing techniques offer a very powerful tool for analyzing landforms, especially if combined with ground-based surveys. Light Detection and Ranging (LiDAR) is a remote sensing technique which can be used from ground-based and airborne platforms. Land-based LiDAR systems have gain popularity due to their high precision to monitor individual rock glaciers with repeated measurements at different times, but have the disadvantage of the lack of wide area coverage, which makes them not fully suitable for regional studies.

On the other hand, traditional airborne techniques have been used in the past to analyze rock glacier movement using multitemporal data series, but mostly from optical image data comparison through photogrammetric techniques (Kääb et al., 1997). Airborne LiDAR data have been mostly used to assess morphological parameters of rock glaciers using Digital Elevation Models (DEM) obtained from LiDAR data (Janke, 2013). The added complexity in terms of cost and logistics (when compared to land-based LiDAR) has resulted in a frequent impediment for obtaining multitemporal datasets from the same platform to analyze rock glacier movement.

Because of this, the present work aims to provide one of the first examples within the Spanish Pyrenees of quantifying vertical displacement on rock glaciers from open-source airborne LiDAR data. Also, how these results can enhance the inventorying of rock glaciers using airborne LiDAR multitemporal datasets (two datasets from 5 years apart) for the Besiberri-Montardo and Punta Alta-Colomers area and how this can be extended to the whole Pyrenean domain. The Pyrenees is covered by at least two different LiDAR datasets with enough time span between them. Public data from the Spanish Instituto Geográfico Nacional (IGN) was used from two different LiDAR campaigns. Results are then compared against those published by other authors using ground-based vertical displacement measurements. Additionally, an assessment of the potential rock glaciers identified by Roca (2016) within the study area is provided by analyzing the vertical displacement and morphology of the movement. Furthermore, future work and regional applications in terms of inventorying and climatic impact analysis in rock glaciers for this workflow throughout all the Pyrenees are discussed, together with the limitations of the technique.

REGIONAL CONTEXT

The bedrock from the study area (eastern Spanish Pyrenees, Lleida) on which the studied rock glaciers lay is mostly made of medium to coarse-grained granodiorites and monzogranites. These rock glaciers are located on the northern flanks of two mountain ranges (NE-SW), also aligned with the Noguera Ribagorzana and Noguera de Tor river valleys, in which Caldas de Bohí is located. As a reference, the highest peaks found in the western ridge are Besiberri del Mig (3002 m), Besiberri N (3014 m) and Besiberri S (3030 m). On the eastern one, Pic de Contraix (2958 m) and Pic de la Pala Alta de Sarradé (2893m).

Extensive work has been done cataloguing rock glaciers in the Pyrenees. Serrano et al. (2011) synthesized the work done and the rock glaciers identified. Chueca and Julián (2005) studied the Besiberri NW rock glacier, which is included in this study. This tongue-shaped rock glacier is within a glacial cirque, facing NW and is considered to be of glaciogenic origin (Chueca and Julian, 2005) related to the former Besiberri glacier plus additional talus material added by rock falls and snow avalanches. Roca (2016) suggested, based on high-resolution orthoimages interpretation from 2D and 3D cartographic viewers a set of 69 potentially active rock glaciers not yet inventoried. Out of these 69, nine of them are within the study area and were assessed in this work.

DATA AND METHODS

The dataset used for this study was acquired by the Spanish Instituto Geográfico Nacional (IGN), mainly for national land management purposes. The LiDAR program is composed of two different campaigns. The first one acquired data from all of the Spanish territory between 2008 and 2015, and a second one that started in 2016 and is still ongoing. The datasets used in this study were acquired on 13th August 2016 and the 2011 set was acquired in two separate flights on 8th of September and 2nd October 2011.

Both campaigns used an Airborne Laser Scanner (ALS) Leica ALS50 working with a minimum scanning frequency of 40Hz at a Field of View (FOV) of 50º, minimum pulse frequency of 45kHz assuming a FOV of 50º. The LiDAR system was used together with a Global Positioning System (GPS) and Inertial Measurement Unit (IMU). According to the Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) website, the errors specified for the 2011 campaign in the study area are 0.3 m (RMSE xy) and 0.4 m (RMSE z); for the 2016 campaign are 0.3m (RMSE xy) and 0.2m (RMSE z). In both cases, the point density varies between 0.5 and0.64 p/m^2.

The LiDAR data downloaded was converted into Raster layers (using ETRS89, 31N UTM spatial reference). The RGB LiDAR data set was converted into an RGB raster layer and the IR elevation dataset was converted to both elevation and False RGB layers to end up with 3 images per year to work with. For this conversion, a binning approach was followed in which, for each output cell (1 m cell size), was populated with the average value of the points within each cell and filling the voids through triangulation using linear interpolation to determine the cell value.

Once a general quality assessment of both datasets had been done (influence of snow cover, noise, etc), the next

step was to subtract the older (2011) elevation IR from the most recent one (2016), resulting in an elevation difference product. Then, to enhance visually the small differences in elevation, the results were clipped and only values between -3.5 m and 3.5 m were used, setting the rest to Null Data. This threshold was selected based on the previous works (Chueca and Julián, 2005 and González et al., 2011) in which the maximum vertical displacement per year reported was 22.5 cm yr-1 (Argualas rock glacier, which is located 90 km east from the study area) and 13.8 cm yr-1 for the Besiberri rock glacier within the study area. The threshold used is therefore considered suitable for imaging over 3 times the expected movement for five years. The resulting image can be seen in Figure 1 where one clear flow shape is highlighted (Besiberri NW rock glacier, in Figure 1a) and an example of noise related to vegetation and steeper slopes are shown also (Figure 1b).

Ideally, the combination of Ground Control Points (GPC) and dGPS would provide an accurate estimation of the accuracy of the elevation difference calculated from the LiDAR datasets, but this information was not available. Because of this, although it is not ideal, the uncertainty was calculated from the individual error provided by the IGN for the LiDAR cloud points, combined using a Root Mean Square Error (RMSE) estimation. Based on the RMS provided by the IGN on cloud point elevation, the RMSEz estimated is ±0.45m in absolute displacement. Considering this and that the background noise resulting from subtracting both raster layers is oscillating between -0.2m and -0.1m, the analysis of rock glaciers within this study will focus on analyzing the elevation changes larger than 0.5m

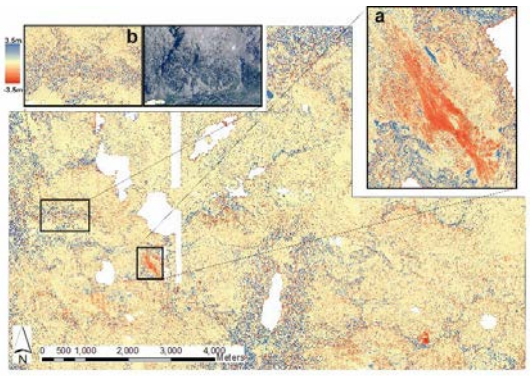


FIGURE 1. Resultant product showing the difference in elevation between 2016 and 2011. Two zooms are included: (a) showing a clear flow morphology corresponding to the Besiberri NW rock glacier and (b) showing increased background noise in vegetated and high relief areas.

RESULTS

Based on the results obtained of elevation change, the two already identified active rock glaciers (southeastern lobe of Besiberri N and Besiberri NW) were reviewed showing, as expected, changes in elevation across their area (Figure 2).

Regarding the potential active rock glaciers defined by Roca (2016), nine of them were reviewed, out of which four of them showed clear vertical displacement (Figure 2B2, 2C, 2E) with a consistent lobe or tongue morphology. Two only showed vertical displacement at very localized areas (i.e., Figure 2B1), not generalized through the whole rock glacier seen in the RGB image (but still above the 0.5m threshold previously described). And two did not show any significant displacement (Figure 2D), which could be related to no displacement or limited vertical movement overwhelmed by the high error margin of the displacement data.

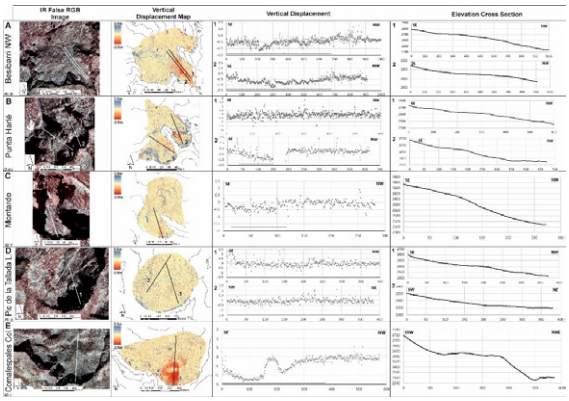


FIGURE 2. Results of the analysis for the rock glaciers reviewed. From left to right, Column 1: Rock Glacier name and ID; Column 2: False colour IR image; Column 3: Difference in elevation calculated Column 4: Vertical displacement (x axis: distance in meters; y axis: elevation difference in meters), dashed line shows the length of the profile identified with vertical displacement.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Since most of the rock glaciers reviewed in this study have not been measured in terms of displacement, the only one to which the results obtained can be compared is Besiberri NW (Chueca and Julian, 2005). This comparison has been done by considering average displacement values for 3 transverse lines (Figure 3) in two different ways: (1) averaging all the values within the transverse and (2) considering only the vertical displacement values at a regular spacing across the section, attempting to simulate how measurements would have been done in a similar way to Chueca and Julian (2005), which performed a geodetic survey along three transverse lines measuring horizontal and vertical displacement. The results of this comparison (Table I) show a very good correlation with previous results for transverse lines B and C. The section A-A' shows higher displacement (approximately double), which is interpreted as a destabilization of the central part of the rock glacier.

It is true that vertical displacement alone can be explained by several physical processes, but the combination of this with the morphology of the deformation (tongue shape for example) suggests also horizontal displacement which cannot be measured with this technique.

Since these results show good correlation with those measured in the field by Chueca and Julián (2005), it can be considered a promising precedent for quick analysis of

large areas and pinpoint locations of potential movement to perform detailed studies, either ground based using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) calibrated to high-precision leveling with millimetric accuracy or Interferometry from Synthetic Aperture Radar (InSAR), for example.

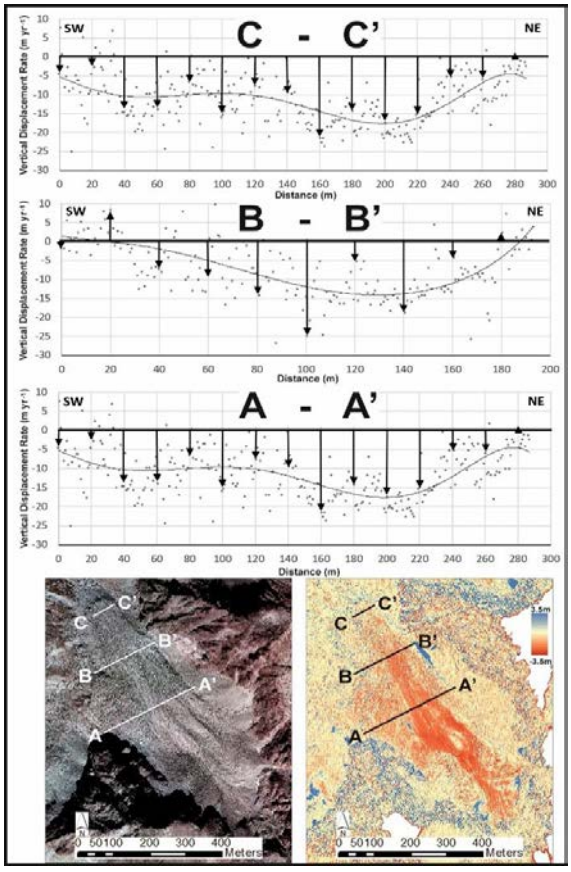


FIGURE 3. Vertical displacement rate for the 3 transverse lines marked for the Besiberri NW rock glacier. The points represent the raw data, the arrows represent the measurement every 20 m (sections A and B) and 10 m (section C). The continuous thin line represents a 6th order polynomial trend line for visualization purposes of the raw data.

Transverse Line	Mean Vertical Displacement Chueca and Julian, 2005 (cm/yr)	All points mean vertical displacement (cm/yr)	Evenly spaced samples mean vertical displacement (cm/yr)
A	**-5**	**-11.24**	**-9.66**
B	**-7.1**	**-7.04**	**-7.15**
C	**-5.27**	**-5.05**	**-4.77**

TABLE I. Average vertical displacement rates comparison between Chueca and Julian (2005), all the data along the transverse line and the measurements picked every 20m (A and B) and 10m in this study.

Through the analysis of LiDAR data, publicly available, this study has proven how it can aid in the identification of permafrost-related geomorphological features. This adds significant value to the dataset which, up to now, it is believed it has not been used for this purpose.

To conclude, the possibilities of this type of workflow are highlighted which can be complementary and can aid in the identification and monitoring the current climatic variations, especially considering that the data used in this study will be available for all the Spanish territory soon and these periglacial features can be used as natural sensors.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the IGN and CNIG for the data. To W. Farnshworth and O. Humlum (UNIS. Svalbard) for their introduction to rock glaciers and permafrost.

REFERENCES

Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J. y Monteserín López, V. (1977): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondoñedo)*. IGME, Madrid.

Barsch D. (1996): Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology. In: *High Mountain Environments*. Berlin: Springer.

Chueca J. and Julián A. (2005): Movement of Besiberris Rock Glacier, Central Pyrenees, Spain: Data from a 10-Year Geodetic Survey. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(2): 163–170.

Humlum O. (1996): Origin of rock glaciers: observations from Mellemfjord, Disko Island, central West Green- land. *Permafrost and Periglacial Processes*, 7: 361– 380.

Janke, J.R. (2013): Using airborne LiDAR and USGS DEM data for assessing rock glaciers and glaciers. *Geomorphology,* 195, 118–130.

Kääb A., Haeberli W. and Gudmundsson H. (1997): Analysing the creep of mountain permafrost using high precision aerial photogrammetry: 25 years of monitoring Gruben rock glacier, Swiss Alps. *Permafrost and periglacial processes*, 8: 409-426.

Roca, J.V. (2016): Identificación e Inventario de Potenciales Glaciares Rocosos Activos en los Pirineos Mediante Fotointerpretación En Visores Cartográficos 2D y 3D: Primeros Resultados. *POLÍGONOS: Revista de Geografía*, 28: 95-122.

SanJosé J.J. (2003): *Estimación de la dinámica de los glaciares rocosos mediante modelización ambiental y técnicas fotogramétricas automáticas.* PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Spain.

Serrano E., Morales C., González-Trueba J., and Martín R. (2009): Cartografía del permafrost de montaña en los Pirineos españoles. *Finisterra*, 44(87): 45-54.

Serrano E., González Trueba J.J. and Sanjosé J.J. (2011): Dinámica, Evolución y Estructura de los Glaciares Rocosos de Los Pirineos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 37(2): 145-170.

Formas del relieve y procesos geomorfológicos activos en el sector suroriental de los Montes de León (NW de España)

Landforms and active geomorphological processes in the southeastern Leonese Mountains (NW Spain)

J. Buzzi-Marcos[1], E. García-Meléndez[2], A. Suárez[3], A. Rodríguez[3], M. Ferrer-Julià[2], E. Colmenero-Hidalgo[2]

1 UTE IGME-LNEG-Impulso, P. Científico de León. Av. Real 1, edif. 1. 24006 León (España. jorge.buzzi@uteplanageo.com
2 Departamento de Geografía y Geología, Área de Geodinámica Externa, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de León (España), Campus de Vegazana s/n, 24071 – León egarm@unileon.es
3 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de León. Avda. Real 1, Parque Científico Edificio 1, 24006, León.

Palabras clave: Cartografía, procesos activos, Geomorfología.

Resumen

El conocimiento de los procesos geomorfológicos activos en una zona es el fundamento para llevar a cabo estudios de susceptibilidad y evaluación de riesgos naturales sobre la base de su representación cartográfica, de forma que su localización sirva para advertir la existencia de futuros problemas ante el diseño de infraestructuras y ocupaciones en la planificación de usos del terreno. En este trabajo, se ha elaborado un mapa geomorfológico y de procesos activos a escala 1:25.000 (según pautas propuestas por Martín-Serrano *et al.*, 2005) basándose en la fotointerpretación de imágenes aéreas y de satélite y trabajo de campo, generando un SIG. Los principales procesos activos están vinculados a tres grandes dominios geomorfológicos. El primer dominio está caracterizado por procesos gravitacionales desarrollados sobre cuarcitas y pizarras paleozoicas. El segundo dominio está representado por procesos de origen fluvial con formas del relieve sedimentarias y erosivas asociadas a la actividad del río Eria y sus tributarios. Este dominio está presente en todas las litologías, pero sus efectos son más abundantes y marcados sobre formaciones detríticas neógenas y cuaternarias con diferentes grados de cementación. El tercer domino está constituido por formas del relieve antrópicas, reflejando la conexión entre la actividad humana y paisaje, desencadenando y creando procesos activos que modifican las formas naturales del relieve.

Abstract

Active geomorphological processes are basis for both natural hazards susceptibility and risk assessment through mapping the terrain characteristics. The exact location of these processes will serve planners to know the terrain characteristics in order to avoid and/or reduce future problems linked to human activities. A geomorphologic active processes map at 1:25.000 (guidelines according to Martin-Serrano et al., 2005) scale has been carried out by means of aerial and satellite photo-interpretation and field work, generating a GIS. The main results show the presence of different active geomorphological processes associated with mainly three relief domains according to the appearing landforms in the study area. The first domain is characterized by the presence of gravitational processes developed on Palaeozoic quartzites and shales. The second domain represents the fluvial processes mainly formed by depositional and denudational landforms related to the fluvial activity of the Eria river and its tributaries. This domain is developed in all lithologies but with more prominent effects on the Neogene and Quaternary sedimentary detrital formations with different degree of cementation. The third domain identify the anthropogenic landforms and the interplay between human activity and the landscape, triggering active processes modifying the natural landforms.

Referencias

Martín-Serrano, Á.; Salazar, Á.; Nozal, F.; Suárez, Á. (2005): *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000. Guía para su elaboración*. IGME, 128 p

Financiación: Trabajo financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación/ Proyecto ESP2017-89045-R.

Cambios en la geomorfología de los abanicos aluviales en el Desierto de Atacama causados por eventos extremos de precipitación.

Geomorphological changes in alluvial fans of the Atacama Desert triggered by extreme storm events.

A. Cabré[1], A. Garcés[1], G. Aguilar[1], S. Montserrat[1]

1 Advanced Mining Technology Center, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Avenida Tupper 2007, Santiago, Chile. acabrec@gmail.com, german.aguilar@amtc.cl, aegarcesc@gmail.com, santiago.montserrat@amtc.cl

Palabras clave: flujos de detritos, abanicos aluviales, Desierto de Atacama, peligros geológicos

Resumen

Al sur del Desierto de Atacama (27-30ºS) los eventos de precipitación extremos, de alta magnitud y baja frecuencia, han modificado el paisaje y, a su vez, han condicionado las actividades humanas durante los últimos 30 años. Las principales modificaciones han ocurrido en: (i) los valles, debido a inundaciones repentinas y, (ii) en los abanicos aluviales, debido a flujos de detritos. El estudio se ha centrado en los abanicos ya que son los lugares donde la población ha instalado sus viviendas, cultivos e infraestructuras. Ante las previsiones que pronostican un aumento en la frecuencia de tormentas extremas, resulta fundamental caracterizar la geomorfología resultante para ayudar a la ordenación del territorio.

Los cambios morfológicos han sido cuantificados y caracterizados para los eventos de marzo de 2015, mayo de 2017 y enero de 2020 en el Valle del Huasco (29ºS) mediante: (i) la realización de topografías de detalle y (ii) mediante la cartografía geomorfológica y análisis granulométricos. Aunque hay características similares en los abanicos (p.ej., fuertes incisiones o formación de nuevos lóbulos al pie de los abanicos bloqueando el cauce principal), sin embargo, también hay diferencias en la sedimentología y en la interacción de los abanicos con el valle principal, que pueden ayudar a establecer umbrales de precipitación, permitiendo caracterizar la distribución espacial de las tormentas en una zona desértica con muy pocas estaciones de medición disponibles y determinar la conectividad de los sistemas fluviales áridos.

Abstract

At the southernmost Atacama Desert (27-30ºS) high magnitude, low frequency extreme storm events have shaped the landscape and impacted human activities during the last 30 years. The main consequences can be resumed in: (i) flooding of the valleys caused by flash-floods and, (ii) debris flows in the alluvial fans. Future perspectives suggest an increase of the flood's frequency due to extreme storm events for southernmost Atacama Desert. Nowadays, most of the population is stablished in the alluvial fans and therefore will be severely impacted. Thus, the characterization of these storm events will help in land management strategies.

The geomorphological change has been characterized for the March 2015, May 2017 and January 2020 events for the alluvial fans situated at el Huasco valley (29ºS). High-resolution topography, grain-size analysis and geomorphological mapping has been carried out. Similar characteristics have been identified for the selected fans such as great incisions and new-lobe formation at fan toe blocking the main river. Nevertheless, differences in sedimentology between fans and fan-river interactions might help in defining rainfall thresholds necessary to trigger debris flows. Additionally, rainfall distribution within an area with very few rain gauges and arid fluvial systems connectivity will also benefit from these study.

Eventos paleolacustres en el este de La Mancha: localización de niveles de travertinos en el entorno del río Cañamares (Carrizosa, Ciudad Real).

Paleo-lacustrine events in the east of La Mancha: location of travertine levels around the river Cañamares (Carrizosa, Ciudad Real).

I. Campaña[1], M. del Val[1], D. Moreno[1], M. Modesto-Mata[2], C. Álvarez-Posada[1], L. Bermejo[1], A. Suárez-Bilbao[3], P. R. Moya Maleno[4,5], D. García-Martínez[1, 2, 6]

1 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca, 3, 09002 Burgos (Castilla-León, España). i.campanna.lozano@gmail.com, miren.delval@cenieh.es, davinia.moreno@cenieh.es, l.bermejo.albarran@gmail.com, daniel.garcia@cenieh.es

2 Equipo de Investigación Primeros Pobladores de Extremadura (EPPEX). Casa de Cultura Antonio Rodríguez Moñino. Avda. Cervantes s/n, 10003, Cáceres, Spain paleomariomm@gmail.com

3 Departamento de Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, Leioa, España. aitziber.suarez@ehu.eus

4 Universidad Complutense de Madrid, Área de Prehistoria. Facultad de Geografía e Historia, Madrid, España. preyesmoya@gmail.com

5 Grupo de Paleoantropología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). José Gutiérrez Abascal 2, 28006 (Madrid, España).

6 Centro de Estudios del Campo de Montiel (CECM), Plaza Mayor s/n, 13328 (Almedina, Castilla-La Mancha, España).

Palabras clave: Ciudad Real, La Mancha, paleo-lagunas, travertinos.

Resumen

El río Cañamares se encuentra en la provincia de Ciudad Real, en el este de la región de La Mancha, dentro del régimen hídrico de la cuenca alta del río Guadiana. Esta región se compone de calizas y dolomías mesozoicas apoyadas sobre facies Keuper, que han permitido el desarrollo de ambientes kársticos. En el margen norte del río Cañamares se encuentra un arroyo denominado Cañada de Pozo Hondo, en el que se localiza la Cueva de los Toriles, una cavidad kárstica con contenido arqueológico. El estudio de esta cavidad y sus alrededores ha permitido localizar 20 afloramientos de travertinos y niveles limosos de posible origen lacustre en la Cañada de Pozo Hondo, alojados en oquedades de la roca dolomítica de la región. Estos niveles sugieren la existencia de una o varias paleo-lagunas similares a las actuales lagunas de Ruidera. En este trabajo se presenta una cartografía preliminar de los travertinos de la Cañada de Pozo Hondo y su posible relación con la existencia de paleo-lagunas en la región. Para ello, se han proyectado en un GIS las coordenadas geográficas de estos afloramientos, lo que ha permitido delimitar la extensión y la distribución altitudinal de las posibles paleo-lagunas. Se ha observado que los afloramientos se agrupan en tres cotas diferentes: en torno a 854 ± 2, 860 ± 2 y 867 ± 3 m.s.n.m, lo que puede indicar la existencia de al menos tres eventos de paleo-lagunas en la región. Estos hallazgos motivan la continuación futura del trabajo, con el fin de esclarecer los procesos y la época de formación de estos depósitos.

Abstract

Cañamares river is located in the eastern Ciudad Real province (La Mancha region), within the Upper Guadiana catchment. The region is characterized by the abundance of karstic environments. The geological setting consists of Mesozoic limestones and dolomites, resting on Keuper facies, which allowed the development of karstic systems. A small stream called Cañada de Pozo Hondo flows to the north bank of the Cañamares river. The small catchment of the Cañada de Pozo Hondo stream is the target of this work, as it hosts a karstic cavity: La Cueva de Los Toriles, a site with archeological and paleontological interest. The preliminary study carried out in the cave and the surrounding area, yielded the discovery of 20 travertine and possibly silty lacustrine sediment outcrops housed in the dolomite's cavities. These deposits suggest the presence of one or various paleolakes, similar to the current Ruidera lakes. In the present work, a preliminary geomorphological map of the travertine deposits is presented. In addition, the possibility of the presence and relation of different paleolake events in the region is being studied. For this purpose, geographical coordinates of the outcrops have been projected in a GIS. With the obtained data, the superficial extension and the altitudinal distribution of the geomorphological features has been defined. The potential paleolake outcrops appear assembled in three different elevations.

Monitorización del retroceso costero en la costa acantilada de Podes (Cabo Peñas, N de España) mediante técnicas topográficas y DInSAR.

Retreat coastal monitoring in Podes cliff coast (Peñas Cape, N Spain) by means of topographic and DInSAR techniques.

J. Cuervas-Mons[1], M. J. Domínguez-Cuesta[1], P. González-Pumariega[2], C. López-Fernández[1], P. Valenzuela[3], F. Mateos-Redondo[4], O. Monserrat[5], A. Barra[5], M. Jiménez-Sánchez[1]

1 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo 33005 Oviedo. jcuervas@geol.uniovi.es; dominguezcuesta@uniovi.es, lopezcarlos@uniovi.es, mjimenez@geol.uniovi.es
2 Dpto. de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo 33600 Mieres pelayogs@uniovi.es
3 Tecnologías y Servicios Agrarios, Tragsatec S.A. 24008 León pablo.valenzuela.mendizabal@gmail.com
4 GEA Asesoría Geológica – S. COOP ASTUR 33192 Llanera felix@geaasesoriageologica.com
5 División de Geomática, Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña CTTC/CERCA 08860 Castelldefels omonserrat@cttc.cat, abarra@cttc.cat

Palabras clave: retroceso, DInSAR, acantilados, Asturias, monitorización.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la medida del retroceso de un tramo de acantilado de 400 m de longitud localizado en la península de Podes (43º 37’ 35’’N, 5º 54’ 4’’W; Cabo Peñas, N de España). En este acantilado, de 30 m de altura y desarrollado sobre calizas, dolomías y margas devónicas, se observan procesos activos de erosión litoral y movimientos de ladera (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2019). La metodología seguida ha incluido i) la adquisición y procesado de datos SAR del satélite Sentinel-1 (de 2018 a 2020), ii) la obtención de mapas de velocidades de deformación del terreno y series temporales de deformación mediante el software PSIG y el servicio GEP, iii) la comparación de los resultados DInSAR con las medidas de movimiento de 9 clavos topográficos y 12 hitos feno instalados en la zona, efectuadas con una estación total entre 2018 y 2020. Los resultados obtenidos confirman la necesidad de combinar diferentes técnicas de monitorización en el análisis del retroceso de costas acantiladas.

Abstract

This work presents retreat measurements obtained along a 400 m long cliff section located in the Podes Peninsula (43º 37‘ 35’ ‘N, 5º 54’ 4 ‘’W; Peñas Cape, N Spain). In this cliff, 30 m high and developed on Devonian limestone, dolomite and marl, active coastal erosion and slope movements are observed (Jiménez-Sánchez et al., 2019). The methodology included i) the acquisition and processing of SAR data from Sentinel-1 satellite (from 2018 to 2020), ii) the generation of ground deformation velocity maps and deformation time series by means of the PSIG software and the GEP service, iii) the comparison of DInSAR results with the displacement measurements from 9 topographic nails and 12 pheno survey markers installed in the area and obtained with a total station between 2018 and 2020. The results confirm the need to combine several monitoring techniques in the analysis of retreating cliffs.

Referencias

Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M. J., Ballesteros, D., López-Fernández, C., González-Pumariega, P. y Valenzuela, P. (2019). En: *XV Reunión Nacional Cuaternario*. Comunicaciones SC8, 79-82.

Utilización de drones para su aplicación en la enseñanza en estudios de geomorfología y erosión.

Use of drones for teaching geomorphology and erosion.

L. García-España[1*], M.D. Soriano[2], J. Llinares[3], C. Llull[3], V. Pons[1]

1 Departament de Biología Vegetal. Universitat de València, 46100, Burjassot (Valencia) (España); asoriano@prv.upv.es
2 Departament de Producció Vegetal. Universitat Politècnica de Valencia, 46021, Valencia (España)
3 Departament de Química. Universitat Politècnica de Valencia, 46021, Valencia (España)

Resumen: Se describe la gran importancia que ha alcanzado el uso de los drones en gran número de disciplinas que abarcan desde la simple vigilancia o control, hasta la aplicación de esos instrumentos dirigidos en geomorfología, estudios del relieve, suelos y su uso en agricultura.

Con ellos se ha abierto una línea de investigación aplicada que cada vez tendrá mayor uso y que supone un apoyo importante en muchas disciplinas, entre ellas la educación ambiental.

Palabras clave: drones, evaluación de imágenes, enseñanza.

Abstract: *This work describes the great importance that the use of drones has reached in a large number of disciplines, ranging from simple surveillance or control to the application of these unmanned aerial vehicles in Geomorphology, relief stumps, soils and Agriculture.*

They have opened up an increasingly useful line of applied research and is an important support in many disciplines including environmental education.

Keywords: *drones, image assessment, teaching*

INTRODUCCIÓN

En las medidas de erosión hídrica se utilizan diversos instrumentos tales como los simuladores de lluvia para medir las tasas de infiltración y de escorrentía. Los calvos de erosión para medir la profundidad del suelo o calcular la pérdida de sedimentos, y los infiltrómetros, para valorar la tasa de infiltración estimando de forma inversa la pérdida de suelo por erosión y arrastre

Con los perfilómetros se realizan medidas de evolución de la rugosidad del suelo pudiendo realizar el seguimiento de regueros, cárcavas o barrancos según la escala de trabajo, midiendo sus cambios en el tiempo.

Los estudios para valorar la pérdida de suelo por erosión en experimentos de campo y laboratorio son numerosos y diversos, pero todos se basan en valorar bien directa o indirectamente el desplazamiento de la masa del suelo, bien por efecto del agua o del viento. Todas estas medidas son costosas de realizar debido a la cantidad de repeticiones y en ocasiones a la gran superficie evaluada. Por ello, es importante la incorporación de nuevos métodos que faciliten las tareas de campo y simplifiquen los estudios de dichas medidas de erosión.

Como alternativa a facilitar algunas de estas medidas los drones se han convertido en una herramienta útil para diferentes usos. En los últimos años incluso han proliferado en España operadores comerciales de drones que ofrecen sus servicios en agricultura, pudiendo adquirir imágenes que permiten la interpretación visual, identificación del estado de los cultivos, zonificación, etc., (Zhang y Kovacs, 2012, Shahbazi *et al.*, 2014).

La utilización de drones para medidas de erosión es un complemento para realizar estudios cartográficos de apoyo en los estudios de erosión y geomorfología. Los drones o vehículos aéreos no tripulados están actualmente innovando la topografía y otras áreas de la ciencia de datos, siendo una tecnología de última generación.

Los resultados que ofrecen en forma de nubes de puntos 3D presentan gran exactitud y resolución, planos con cartografía vectorial, ortofotografía y fotografías simples con las que desarrollar trabajos cartográficos rigurosos.

Por ello se tiende en la actualidad a sustituir a otros aparatos de detección y a los instrumentos tradicionales de medición.

Los drones llevan cámaras fotográficas convencionales, o multifuncionales diversas, con sensores especializados que permiten recoger información desde el aire y que puede tratar a posteriori por diferentes métodos de evaluación de imágenes. Esto es útil principalmente en zonas escarpadas o alejadas de caminos, veredas o inaccesibles en general.

La aparición en el mercado de equipos o paquetes completos que integran dron, sensores, sistemas de calibración y corrección de luminosidad, fotogrametría, etc., han propiciado su adquisición y uso. Estas nuevas tecnologías estandarizadas, con precios cada vez más asequibles, se están imponiendo poco a poco. En relación a la resolución espacial, se pueden llegar a obtener tamaños de píxel menores de 2 cm en función de la altura del vuelo y de la tecnología utilizada. Las cámaras RGB modificadas son las que mayor resolución espacial permiten alcanzar, mientras que en las multiespectrales esta resolución suele estar limitada, siendo su óptimo entre 8-10 cm/píxel. Y respecto a la precisión de la georreferenciación de estos los productos, indicar que suelen encontrarse precisiones en general suficientes para aplicaciones en agricultura o en geomorfología. Para ello se utilizan los puntos de control de tierra (o GCP), puntos en el suelo con coordenadas conocidas. En un levantamiento de mapeo aéreo, los GCP son puntos que el topógrafo puede identificar facilmente y con un número de coordenadas conocidas, es posible mapear con precisión grandes áreas.

Cada vez se desarrollan mayor número de actividades utilizando drones, aplicables muchas veces en la enseñanza para desarrollar diversas actividades de valoración de diferentes tipos dentro del área de la geomorfología.

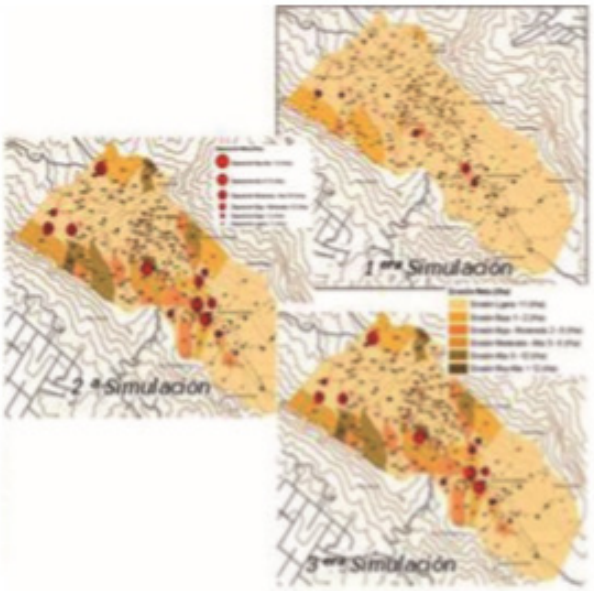


FIGURA 1. A) Detalle de cárcavas en el barranc del Borell (Gandía, Valencia) utilizando drones B) Aplicación de modelos de erosión en cuencas de drenaje en la zona de Alcira, Valencia.

METODOLOGÍA

Toda esta información puede ser aplicada Posteriormente a modelos para el cálculo de erosión como puede ser el EUROSEM (Borselli *et al.*, 2010) u otros métodos de valoración de la erosión del suelo (Salvador *et al.*, 2008; Sedano, 2018; Capra *et al.*, 2018; Pérez-González, *et al.* 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Los drones van implementados con elementos auxiliares como cámaras fotográficas convencionales, o multifuncionales diversas, con sensores especializados como son las cámaras multiespectrales o térmicas, que permiten recoger información desde el aire, tanto de la superficie como de características del terreno hasta una limitada profundidad. Las fotografías recopiladas por esta técnica pueden analizarse y se puede tratar a posteriori por diferentes métodos informáticos de evaluación de imágenes ahorrando así horas de trabajo de campo.

REFERENCIAS

Borselli, L. (2010). EUROPEAN SOIL EROSION MODEL Release 2010 EUROSEM-2010 (a freeware software for scientific community). https://www.lorenzo-borselli.eu/eurosem/

Capra, L., Coviello, V., Borselli, L., Marquez-Ramirez, V.-H., and Arambul.Mendoza, R. (2018). Hydrological control of large hurricane-induced lahars: evidence from rainfall-runoff modeling, seismic and video monitoring, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 781-794,

https://doi.org/10.5194/nhess-18-781.

F.A.O. (1998). World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Report*. 84. ISSS-AISS-IBG. ISRIC, 88 p.

Freeman, P.K., Freeland, R.S. 2015. Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hype. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2, 35-43.

Huang, Y., Thompson, SJ., Hoffmann, WC., Lan, Y., Fritz, B-K- 2013. (2013). Developmnet and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production managment. *Int. J. Agric. & Biol. Eng.* 6(3), 1-10.

Lahguera, A., Salvador, P., Soriano, MD., Pons, V., Garcia-España, L. Molina, MJ., Llinares, J. (2014). Aplicación del modelo EUROSEM en una cuenca de drenaje en la Comunidad Valeciana considerando un hipotético cambio climático. *Congreso Español de la Ciencia del suelo*. Libro de Actas, Granada.

Shahbazi, M., Theau, J., Menard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4): 339-365.

Pérez-Gonzalez, M.L., Capra Pedoll, L., Davila-Hernandez, N., Borselli, L., Solis-Valdez, S., Ortiz-Rodrigues, A.J., (2017). Spatio-temporal land-use changes in the Colima-Villa de Álvarez metropolitan area, and their

relationship to floodings: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. v. 34, núm. 2, 2017, p. 78-90.

Salvador, M.P.; Torri D.; Borselli L.y Poesen J. (2008). Climate Effects on Soil Erodibility. Earth Surface Processes and Landforms, 33(7):1082 –1097. published online in Wiley InterScience, (www.interscience.wiley.com) DOI: 10. 1002/esp.1604.

Sedano, L. A. (2018). Fabrics: A user-friendly, complete and robust software for particle shape-fabric analysis. Computers & Geosciences, 115, 20-30. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.02.005

USDA- (1995). Water Erosion Prediction Project. WEPP. Agricultural Research Service and Purdue University.

Wischmeyer, W.H. Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. USDA *Agricultural Research service Handbook* 537.

Zhang, Ch., Kovacs, J.M., (2012): The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agric.*, 13, 693-71.

Efectos morfo-estructurales de la deflación en diapiros de sal, Montañas Zagros, Irán.

Morpho-structural effects of deflating salt diapirs, Zagros Mountains, Iran.

F. Gutiérrez[1], H. Deirnik[2], M. Zarei[2], M. Rahimi[2]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. fgutier@unizar.es
2 Department of Earth Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Palabras clave: colapso, fallas gravitacionales, deslizamientos, domo de sal

Resumen

Se analizan, a partir de trabajos de cartografía en campo, los rasgos morfo-estructurales asociados a diapiros de sal en las Montañas Zagros, Irán. Las estructuras salinas estudiadas incluyen una extrusión de sal (Diapiro Jenah) y dos domos de cobertera generados por diapiros que no han alcanzado la superficie (Gavbast y Kooh Bedoo). Todas ellas están situadas con anticlinales con evidencia de actividad (fallas *flexural-slip* y direccionales afectando a abanicos cuaternarios). Los rasgos más destacables observados en todos los casos son la presencia de fosas y sistemas poligonales de fallas normales, así como la presencia de grandes deslizamientos favorecidos por la dinámica salina.

Abstract

The Zagros Mountains in Iran include a large number of salt diapirs related to the localized rise of the Precambrian-Middle Cambrian Hormuz salt and the piercing of an overburden as much as 7-9 km thick. These salt structures, typically associated with anticlinal ridges, display various stages of development (i.e., active or passive rise, fall). Buried salt diapirs have not reached the surface and are expressed as structural domes in the suprasalt cover. Most diapirs have extruded at the surface and display a wide range of morphologies related to their evolutionary stage: (1) expanding domes with a salt fountain above the feeding vent and laterally flowing salt glaciers (namakiers); (2) retreating domes; (3) deflated domes nested within depressions; and (4) deep alluvium-filled craters. Investigations dealing with the geomorphic and structural features associated with the dynamics of these salt structures (inflation-expansion, deflation-contraction, dissolution) are rather limited and are mainly focused on growing domes with positive salt budget. This work, mainly based on detailed geological-geomorphic mapping carried out in the field, explores the morpho-structural features associated with extruded and buried salt domes affected by deflation. The mapped structures include a deflating salt extrusion (Jenah Diapir in Gezeh Anticline) and two structural domes underlain by buried salt diapirs (Gavbast in Gavbast Anticline and Kooh Bedoo in Nakh Anticline). Interestingly, the anticlines show evidence of active tectonic compression and growth, including flexural-slip faults and a left-lateral strike-slip fault (Nakh Anticline) that offset Quaternary alluvial fans. Geomorphic effects and evidence of diapir deflation-contraction in the Jenah salt extrusion include: (1) distant erratic blocks of Hormuz; (2) disconnected residual deposits of Hormuz; (3) backward expansion of alluvial fans; (4) higher sinkhole densities than in expanding salt extrusions; and (5) polygonal normal faults in the country rock with disrupted drainage (i.e., deflected, defeated, beheaded and hanging streams). The overburden domes with buried salt structures display collapse grabens and polygonal fault blocks with disrupted drainage. In Gavbast, collapse mainly affects the NW half of the dome, showing a dominant fold-normal horst and graben structure. Kooh Bedoo is mainly affected by a major fold-normal graben. The areas associated with deflating salt structures show a high density of large landslides, including the ca. 9 km long Emad Deh rock avalanche. Factors that favor slope instability include slope and dip oversteepening, weakening of the rock mass by gravitational faulting, enhanced groundwater recharge, and debuttressing of slopes by the shrinkage of salt extrusions.

Cronología de las facies de interior del Complejo Galería (Tres Simas y Zarpazos) y su relación con la evolución Pleistocena del río Arlanzón.

Chronology of autochthonous facies of Galería Complex (Tres Simas y Zarpazos) and their relationship with the Pleistocene evolution of the Arlanzón River.

I. Hernando-Alonso[1], D. Moreno[1], A. Benito-Calvo[1], A.I. Ortega[1], E. Carbonell[2,3], J.M. Bermúdez de Castro[1]

1 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca, 3 09002 Burgos. isabel.hernando@cenieh.es davinia.moreno@cenieh.es alfonso.benito@cenieh.es anaisabel.ortega60@gmail.com josemaria.bermudezdecastro@cenieh.es

2 IPHES, Institut Català de Paleoecología Humana i Evolució Social, C/ Marcelli Domingo s/n Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain. ecarbonell@iphes.cat

3 Universitat Rovira i Virgili (URV), Campus Catalunya, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

Palabras clave: Geocronología, ESR, Atapuerca, Valle del Arlanzón, terrazas fluviales.

Resumen

La formación del karst que se encuentra en la Sierra de Atapuerca, así como el relleno sedimentario de las cuevas que lo conforman, están estrechamente ligados con el encajamiento del río Arlanzón. En este trabajo se presentan las primeras dataciones numéricas de las facies de interior de las cavidades de Tres Simas y Zarpazos. Este sedimento se encuentra en la parte inferior de una sección transversal de ojo de cerradura formada durante el encajamiento del río entre el segundo y tercer nivel del karst de Atapuerca, en la base del Complejo Galería. El depósito presenta facies arenosas laminadas y niveles de arcillas que parece que se han sedimentado en condiciones freáticas. Se ha aplicado la Resonancia Paramagnética Electrónica (ESR) a los granos de cuarzo extraídos del sedimento arenoso para aportar nuevos datos que permitan establecer una relación temporal entre dichas facies, las dataciones previas disponibles en depósitos similares de la base del yacimiento de Gran Dolina y las edades existentes para las terrazas fluviales del río Arlanzón. El objetivo final de este trabajo es establecer un marco cronológico y evolutivo para la formación de este tramo del sistema fluvio-kárstico de la Sierra de Atapuerca en el valle del Arlanzón, el cual precedió a la apertura de las cavidades de Gran Dolina y Galería y su relleno mediante depósitos alóctonos procedentes del exterior.

Abstract

The formation of the cave system in the Sierra de Atapuerca and its sedimentary filling are closely facies of Tres Simas and Zarpazos cavities are presented. These sediments are found in the lower part of keyhole cross sections that record the entrenchment of the system between the second and third levels of the Atapuerca karst, at the base of the Galería Complex. Here laminated sandy facies and clay beds suggest deposition under phreatic conditions. Electronic Paramagnetic Resonance (ESR) has been applied on quartz grains extracted from the sandy sediment. These new ages allow establishing a temporal relationship between these facies, previous dates available from similar deposits at the base of the Gran Dolina, and the existing ages for the river terraces of the Arlanzón River. The objective of this work is to establish a chronological and evolutionary framework for the formation of this interval of the fluvio-karst system of the Sierra de Atapuerca, which preceded the opening of the Gran Dolina and Gallery cavities and their infill by allochthonous deposits.

Evolución geomorfológica de los Montes de Vitoria (País Vasco).

Geomorphological evolution of Montes de Vitoria (Basque Country).

I. Martín-Martín[1,2], F. Sarrionandia[1,2], L. Eguíluz[1,2] y J. Junguitu[1,2]

1 Dpto. Geodinámica, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU), Paseo de las Universidades, 7, 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava), España.
2 Servicio SGIKER de Cartografía Temática y SIG de la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU), Avda. Miguel de Unamuno, 3, 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava), España. ivan_martin96@usal.es; fernando.sarrionandia@ehu.eus; luis.eguiluz@ehu.eus; josu.junguitu@ehu.eus

Palabras clave: Evolución geomorfológica, Montes de Vitoria, Sinclinal Miranda-Treviño.

Resumen

Los Montes de Vitoria son una alineación montañosa de dirección E-O que se extiende 30 km en la zona central de Álava (N de la península Ibérica). La zona de estudio se localiza en el dominio de la Plataforma Alavesa (Cuenca Vasco-Cantábrica), más concretamente en el sinclinal de Miranda-Treviño. Estas unidades rocosas, apenas están deformadas y presentan bajos buzamientos al S (15º-20º), definiendo el rasgo geomorfológico dominante: un relieve estructural de tipo monoclinal marcado por dorsos (orientados al S) y frentes de cuesta (al N). Los principales sistemas de fracturas condicionan la geometría de la red de drenaje, siendo sus principales direcciones: N-S, NE-SO y O-E en la vertiente S y NO-SE en la vertiente N. Las características litoestructurales de la vertiente S han favorecido el desarrollo del sistema fluviokárstico de Okina de 4,5 km de largo. Se distinguen tres tipos de procesos gravitacionales: 1) pequeños coluviones, principalmente en los frente de cuesta, 2) creeping, más acentuado en las laderas orientadas al N, y 3) deslizamientos de notable tamaño, sobre todo en las laderas orientadas al S, dónde destaca el del monte Kapildui (1.000 x 900 m). Además, se han identificado numerosas estructuras kársticas en los materiales Paleocenos, donde caben destacar edificios tobáceos asociados a surgencias, siendo elementos clave para estudiar en el futuro los paleoambientes y geocronología de este sector. Por lo tanto, en la evolución geomorfológica intervienen procesos de morfogénesis fluvial, kárstica y gravitacional, los cuales se ven afectados por un fuerte control litoestructural (Martín-Martín, 2018).

Abstract

The Montes de Vitoria is an E-W trending mountain range that extends 30 km along the central area of Álava province (North of Spain). The mapped area constitutes part of the Plataforma Alavesa geological zone (Basque-Cantabrian Basin), more concretely in Miranda-Treviño syncline. These rock units are only slightly deformed and exhibit low dips (15º-20º) to the S, defining the prominent geomorphological feature: a monoclinal-type structural relief, with slope-backs oriented to the South and slopes-fronts to the North. Fracture systems conditioned the drainage network, which in the southern areas follows these trends: N-S, NE-SW and E-W. Contrary, in the northern areas the main trend is NW-SE. Litostructural features, the later better developed in the South, developed the 4.5 km long Okina fluvio-karstic system. Three types of main gravitational processes are distinguished: 1) small colluvial deposits, located mainly in the slopes-fronts, 2) creeping, particularly located also in the slopes-fronts, and 3) large landslides, generally located in the slope-backs (Kapildui (1.000 x 900 m)). Karstic structures are particularly better developed in Paleocene carbonate rocks, standing out carbonate tufa deposits, associated with upwellings. These carbonate tufa deposits could represent key elements for future paleo-environmental studies. Detailed geomorphological mapping exhibits a complex geomorphological evolution as a result of fluvial, karst and gravitational morphogenesis process, strongly controlled by a monoclinal-type structural relief (Martín-Martín, 2018).

Referencias

Martín-Martín, I. (2018). *Gasteizko Mendietako eboluzio geomorfologikoa Kapildui mendiko eremuan.* Trabajo Fin de Grado (Inédito). Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. 27 pp.

Análisis de la geodiversidad del karst en el Macizo de Garraf (Cataluña).

Analysis of karst geodiversity in the Garraf Massif (Catalonia).

M.J. Micheo[1], J. Piña[1], M. Vicens[1], P.A. Robledo[2], R. Carles[1], E. Pi[1], J. Picart[1], J. Cirés[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Parc de Montjuïc s/n. 08038 Barcelona. Fus.Micheo@icgc.cat,
2 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de las Islas Baleares. C/ Felicià Fuster 7, 07007 Palma de Mallorca.

Palabras clave: cartografía geomorfológica, diversidad, hidrogeología, karst, patrimonio geológico

Resumen

El Macizo de Garraf es un claro ejemplo de geodiversidad en el ámbito kárstico. Está situado junto a la costa catalana, al SO de la ciudad de Barcelona, y está constituido principalmente por rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, en las cuales se desarrolla el karst. En él se concentran un gran número de morfologías exokársticas (microformas y megaformas), así como un extraordinario endokarst. El presente trabajo deriva del proyecto "Mapa Geoantrópico de Cataluña 25M", cuyo objeto es, por un lado, analizar la diversidad del karst mediante la descripción de las formas kársticas y, por otro ofrecer una visión general de algunos aspectos vinculados con el macizo kárstico, como la relación entre la morfología kárstica y la hidrología subterránea, o la caracterización fisicoquímica de los sedimentos residuales (*terra rossa*) que rellenan algunas dolinas. Se trata de un karst muy activo y con un sistema de drenaje muy jerarquizado, que coexiste a su vez, con un karst relicto muy desarrollado, cuyo testigo principal es el polje de Begues, así como diferentes cuevas colgadas observables en la costa. El Macizo del Garraf es un espacio natural protegido (Plan de Espacios de Interés Natural - PEIN), por lo que goza de un alto grado de protección, y está incluido en el inventario de Lugares de Interés Geológico de España (Geozona 348). Ello lo convierte en excelente laboratorio natural de extraordinaria riqueza.

Abstract

The Garraf Massif is a remarkable example of geodiversity in a karstic environment. It is located next to the Catalan coast, to the SW of Barcelona city, and is mainly made up of Cretaceous and Jurassic carbonate rocks in which karst develops. It contains many exokarstic morphologies, as well as an extraordinary endokarst. This work derives from the "Geoanthropic Map of Catalonia 25M" project. Its aim is, on the one hand, to analyze the diversity of karst environment by describing the karstic landforms, and on the other hand, to offer an overview of some aspects linked to the karst massif, such as the relationship between karst morphology and subterranean hydrology, or the physicochemical characterization of the residual sediments (terra rossa). It is a very active karst with a very efficient and well-rankeddrainage system, which coexists with relict karst features such as the Begues polje and a number of perched caves exposed along the coast. The Garraf Massif is a protected natural area (Plan de Espacios de Interés Natural), so it benefits from a high degree of protection, and is included in the inventory of Places of Geological Interest in Spain (Geozone 348), being a natural laboratory of extraordinary richness.

Referencias

Andreu, J.M., Calaforra, J.M., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Durán, J.J., Garay, P., García del Cura, M.A., García-Cortés, A., Gázquez, F., Ordóñez, S. y Sánchez-Moral, S. (2016). K*arst: un concepto muy diverso*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (24.1), 6-20.

Carmona, J.M. (2003). *L'aqüífer del Garraf. Itinerari-sortida de camp dirigit a alumnes d'ensenyament secundari (Guia per al professorat)*. Publicacions Universitat de Barcelona. 58 p.

Daura, J., Sanz, M., Fornós, J.J., Asensio, A., y Juliá, R. (2011). *Karst evolution of the Garraf Massif (Barcelona, Spain): doline formation, chronology and archaeo-palaeontological archives*. Journal of Cave and Karst Studies, v. 76, no. 2, 69–87.

Discontinuidades y cambios de pendiente en el glacis de la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética): implicaciones morfotectónicas

Discontinuities and slope changes in the Guadix-Baza basin glacis (Betic Cordillera): morphotectonic implications

F. Moral Martos y J. C. Balanyá Roure

Universidad Pablo de Olavide, Carretera de Utrera, km 1, 41013, Sevilla. fmormar@upo.es , jcbalrou@upo.es

Resumen: El relleno sedimentario de la antigua cuenca endorreica de Guadix-Baza culminó con el desarrollo de una extensa superficie de glacis que, en buena medida, se ha preservado tras la captura de la cuenca por la red fluvial del Guadalquivir. El análisis de mapas de pendiente obtenidos a partir de un MDT ha permitido identificar ciertos rasgos morfológicos que evidencian la deformación reciente del glacis. Se trata de alineaciones de mayor pendiente, interpretadas como escarpes de fallas normales, que producen discontinuidades topográficas que pueden superar los 100 m de desnivel (Falla de Baza y prolongación suroriental de la Falla de Tíscar), y de fragmentos de glacis basculados. Estos basculamientos son particularmente evidentes en el sector próximo a la Falla de Tíscar y, en la parte central de la cuenca, donde pueden haber favorecido el desarrollo de badlands. La orientación de estos rasgos morfológicos parece indicar extensión preferentemente en dirección OSO-ENE, es decir, subparalela a las directrices estructurales dominantes en las sierras vecinas.

Palabras clave: marcador geomorfológico, glacis cuaternario, tectónica reciente.

Abstract: *The sedimentary infill of the former endorheic basin of Guadix-Baza culminated with the development of an extensive pediment that has been largely preserved after the capture of the basin by the Guadalquivir river network. Analysis of slope maps derived from a DEM has allowed the identification of morphological features indicative of recent glacis deformation. These are lineaments of greater slope, interpreted as normal fault scarps, which produce topographic discontinuities that can exceed 100 m in height (Baza Fault and southeast extension of the Tíscar Fault), and tilted pediment portions. These tiltings are particularly evident in the sector closer to the Tíscar Fault and, in the central part of the basin, where they may have favoured the development of badlands. The orientation of these morphological features seems to indicate extension preferably in the WSW-ENE direction, sub-parallel to the dominant structural trends in the nearby mountain ranges.*

Keywords: *geomorphic marker, quaternary pediment, recent tectonics.*

INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de la geomorfología tectónica, el análisis de ciertos elementos del relieve (marcadores geomorfológicos), puede permitir el reconocimiento de procesos tectónicos responsables de la modificación de su geometría inicial. Si, además, es conocida la edad de estos elementos es factible la cuantificación de las tasas de deformación.

La cuenca intramontañosa de Guadix-Baza posee un potente relleno, principalmente fluvio-lacustre, que abarca desde el Tortoniense superior hasta el Pleistoceno, cuando la captura fluvial de la cuenca por la red de drenaje del río Guadalquivir produjo un notable descenso del nivel de base y el encajamiento de la red fluvial principal (Calvache y Viseras, 1997). En los últimos años, la superficie final del relleno de la antigua cuenca endorreica de Guadix-Baza, en buena medida representada por una superficie de glacis, ha sido utilizada como marcador para la caracterización de la actividad tectónica reciente (Alfaro *et al.*, 2008; García-Tortosa *et al.*, 2008, 2011, Moral y Balanyá, 2020).

El principal objetivo de este trabajo es la identificación en los distintos fragmentos conservados del glacis de Guadix-Baza de elementos topográficos que pueden indicar deformación tectónica reciente en la cuenca. Se trata de escarpes o taludes lineales que interrumpen la continuidad de la superficie del glacis y de fragmentos de glacis basculados que pueden relacionarse con la actividad reciente de fallas. Para la identificación de los segmentos del glacis y la localización de las estructuras que lo deforman se ha utilizado el modelo digital del terreno de Andalucía (10 m de resolución) y se ha realizado trabajo de campo.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

La cuenca de Guadix-Baza, que ocupa un área de unos 2000 km^2, está limitada al norte por unidades subbéticas y prebéticas (Sierras de Orce, de la Sagra, de Castril, del Pozo, de Alta Coloma) y al sur por las unidades del dominio de Alborán (Sierras de las Estancias, de Baza, Nevada).

En el Tortoniense inferior, la subsidencia local favoreció el comienzo de la sedimentación en una nueva cuenca marina.

Desde el Mesiniense hasta el Pleistoceno se produjo el depósito de materiales fluviales y lacustres en un medio continental endorreico. En las zonas marginales, en particular en la subcuenca de Guadix, se depositaron preferentemente conglomerados y arenas, mientras que, en los sectores centrales de la cuenca, sobre todo en la subcuenca de Baza, se depositaron limos, arcillas, margas, calizas y yeso.

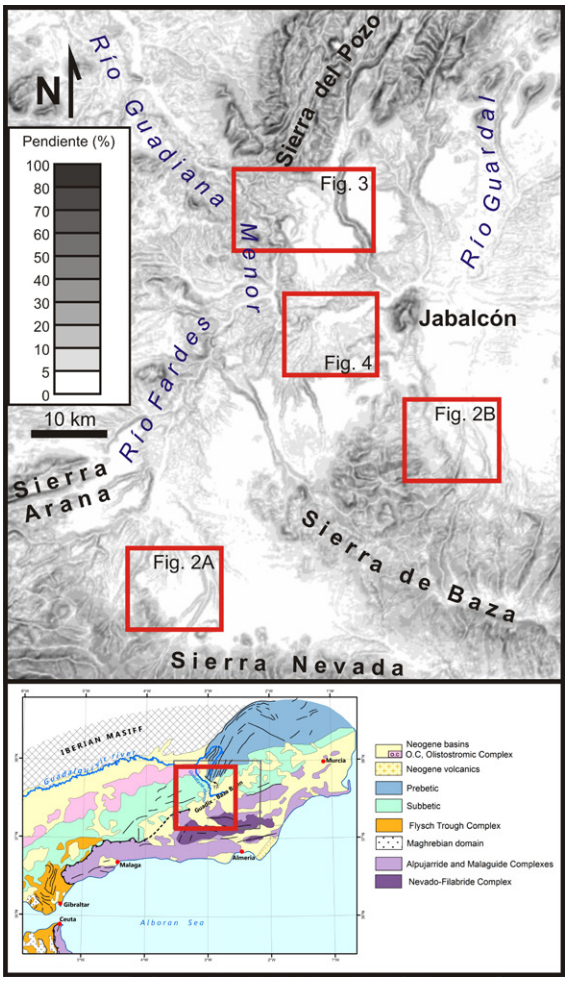


FIGURA 1. Localización geológica y situación de las figuras 2 a 4 en el mapa de pendientes de la cuenca de Guadix-Baza.

La sedimentación en la cuenca se vio casi interrumpida tras la captura de la cuenca endorreica por la red fluvial del río Guadalquivir, a través del Guadiana Menor, en el Pleistoceno. Se produjo un notable descenso del nivel de base, de unos 500 m, y un rápido encajamiento de la red fluvial principal. La erosión fluvial ha desmantelado parcialmente a la superficie final del relleno de la cuenca endorreica que, en la actualidad, ha quedado reducida a varios fragmentos de glacis pleistocenos localizados preferentemente en los sectores periféricos de la cuenca. Estos fragmentos se encuentran situados mayoritariamente en el rango de 900-1200 msnm.

La presencia de superficies de glacis con diferentes alturas y pendientes fue interpretada como el resultado de varias generaciones de glacis (Vera, 1970), aunque observaciones más recientes (García-Tortosa *et al.*, 2008; 2011; Moral y Balanyá, 2020) señalan la presencia de estructuras de deformación, principalmente fallas (ej: fallas de Baza y Tíscar), que serían las responsables de su desnivelación.

Las distintas dataciones realizadas en la superficie final de relleno de la cuenca, aunque con discrepancias, estiman una edad próxima a 400 ka (Díaz-Hernández and Juliá, 2012).

LINEAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y BASCULAMIENTOS EN EL GLACIS

En numerosas localidades de la cuenca se observan lineamientos topográficos que marcan saltos en la posición de la superficie del glacis. En la mayor parte de los casos los desniveles son del orden de la decena de metros, aunque en algunos pueden superar el centenar de metros. Estos elementos morfológicos son particularmente abundantes al sur de Guadix, en el sector Jabalcón-Caniles y en los alrededores de Pozo Alcón.

Al sur de Guadix (Fig. 2A) se han identificado al menos 6 lineaciones entre la que destaca una próxima a Cogollos de Guadix que se prolonga más de 4 km y que en algunos puntos presenta desniveles de más de 10 m. Las lineaciones presentan una dirección NO-SE a NNO-SSE y siempre se halla más bajo el sector del glacis situado al NE.

En el área Jabalcón-Caniles existe un marcado escalón topográfico de dirección N-S a NNO-SSE, que se extiende unos 25 km y que, en las proximidades de Baza (Falla de Baza de García-Tortosa *et al.*, 2008), presenta un desnivel de más de 150 m. Subparalelo a este elemento topográfico se observan otras lineaciones que al sur de Caniles corresponden a desniveles cercanos a 20 m. Al igual que en el sector de Guadix, el descenso topográfico siempre se observa al este o noreste de las lineaciones (Figura 2B).

Aunque no se ha representado en las figuras, entre estos dos últimos sectores, en el borde occidental de la Sierra de Baza, se encuentra la falla de Zamborino. El escalón topográfico, con dirección NNO-SSE y desniveles de hasta 40 m, se observa a lo largo de unos 11 km. A diferencia de los ejemplos anteriores, en este caso la superficie más baja se sitúa al OSO.

Por último, en los alrededores de Pozo Alcón (Fig. 3) se han identificado numerosas lineaciones en el mapa de pendientes que presentan direcciones diversas, aunque predominan las NNE-SSO y NO-SE. Cabe destacar una banda de 1 km de anchura, unos 4 km de longitud y dirección NO-SE, situada justo al norte de la localidad de Pozo Alcón, en la que la superficie del glacis sufre un descenso total de hasta 250 m.

En el sector de Pozo Alcón, al suroeste de la falla de Tíscar, la superficie del glacis ha sufrido una subsidencia relativa y un basculamiento general hacia el noroeste, es decir, justo al contrario de la que debía de ser la pendiente original si se tiene en cuenta la situación en la que se encontraba el centro de la cuenca endorreica (Moral y Balanyá, 2020). Algunos fragmentos de glacis situados al norte y oeste de Hinojares y al oeste de Fontanar pueden tener pendientes cercanas o incluso superiores al 10 % (Fig. 3).

Al sur del embalse del Negratín (Fig. 4) el glacis se sitúa a cota relativamente baja (650-750 msnm). Su fuerte pendiente (5 al 10 %) permite suponer que se trata de un fragmento de la superficie final de relleno de la cuenca endorreica correspondiente a un bloque hundido y basculado hacia el norte. Esta pendiente acusada podría ser la causa del intenso acarcavamiento que se ha desarrollado sobre este glacis, hasta el punto de haber sido completamente erosionado en la parte más occidental.

Un proceso similar, de intensa erosión hídrica sobre una superficie basculada de mayor pendiente, podría ser el origen de los badlands existentes al este del río Guardal (Fig. 1).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los modelos digitales del terreno han demostrado ser una herramienta muy potente en el campo de la geomorfología puesto que permiten la observación detallada de grandes extensiones del terreno de una forma rápida y sencilla y desde una perspectiva que no siempre es fácil de obtener cuando se realiza trabajo de campo.

En el caso del glacis de la cuenca de Guadix-Baza se observan numerosas lineaciones de mayor pendiente que, a modo de escalón, separan sectores de glacis situados a distintas cotas. Generalmente, se producen niveles próximos a los 10 m, aunque en Baza y en Pozo Alcón pueden superar los 100 m de desnivel.

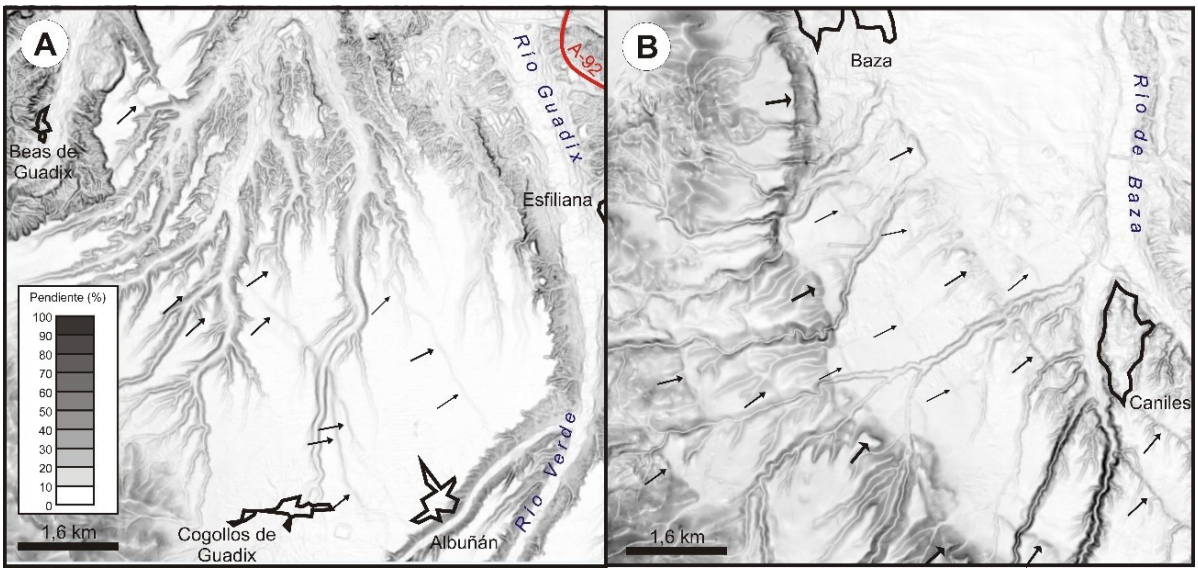


FIGURA 2. Mapa de pendientes de un sector situado al sur de Guadix (A) y del sector comprendido entre Baza y Caniles (B). Las flechas señalan las lineaciones localizadas que escalonan el glacis. En todos los casos, el relieve desciende hacia el noreste.

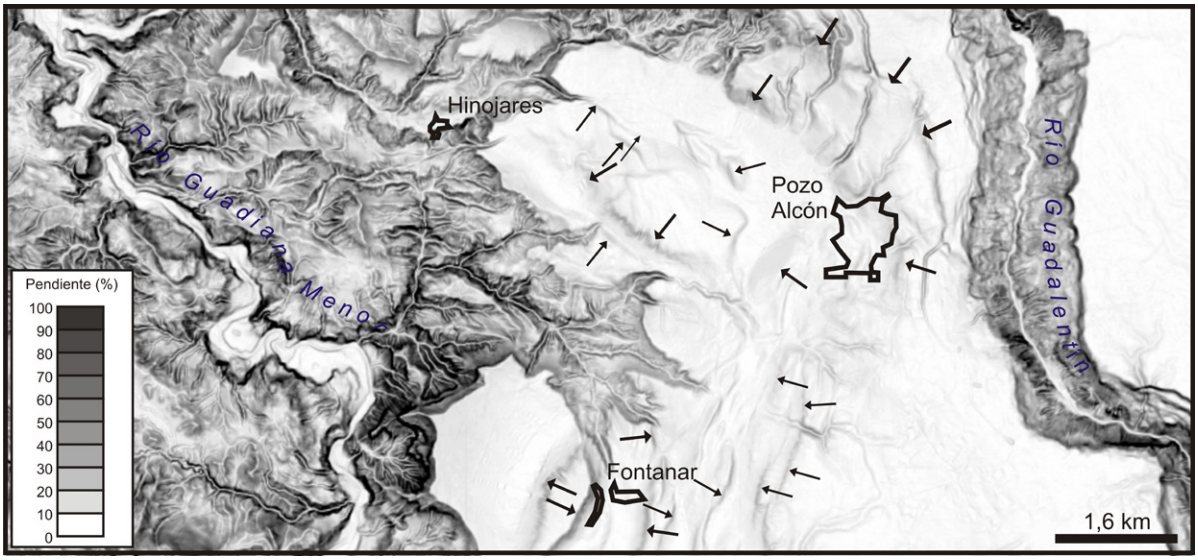


FIGURA 3. Mapa de pendientes del sector de Pozo Alcón. El relieve desciende preferentemente hacia el suroeste y el noroeste.

Utilizando la superficie del glacis como nivel de referencia y a partir de observaciones puntuales de planos de falla, estas morfologías pueden ser interpretadas como fallas normales. La dirección predominante es NNO-SSE en la mitad meridional de la cuenca, mientras que en el sector de Pozo Alcón se observan dos familias, de direcciones NO-SE y NNE-SSO. Los principales saltos topográficos se relacionan con la falla de Baza y con la prolongación suroriental de la falla de Tíscar. Teniendo en cuenta que la edad de la superficie final de relleno de la cuenca de Guadix-Baza podría ser de unos 400 ka, se pueden estimar unas tasas aparentes de salto vertical de unos 0,06 cm/año en la prolongación de la falla de Tíscar y de 0,04 cm/año en la falla de Baza.

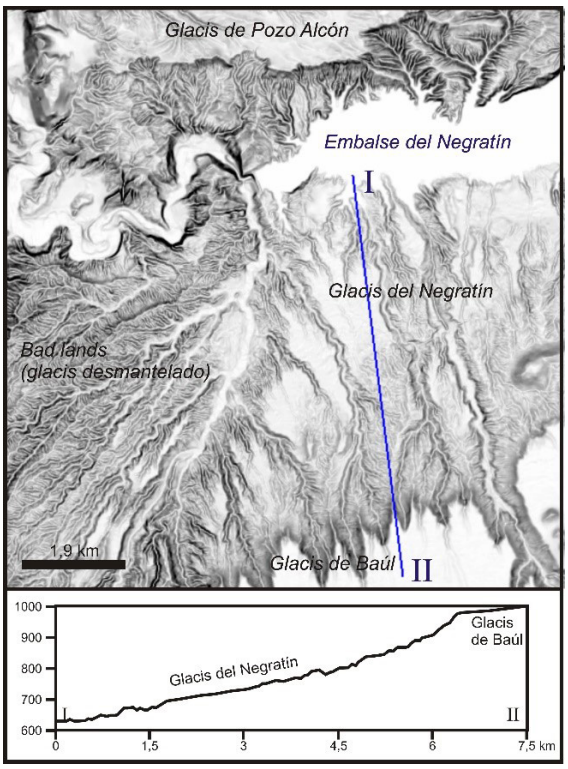


FIGURA 4. Mapa de pendientes y perfil topográfico del glacis del Negratín.

En el glacis de Pozo Alcón existen numerosos fragmentos basculados que, en conjunto, producen un basculamiento hacia el oeste y noroeste. Otro caso llamativo corresponde al glacis de Negratín que parece corresponder a un bloque hundido y basculado hacia el norte. De confirmarse esta hipótesis, habría que descartar la existencia de varias generaciones de glacis en la cuenca y existirían unas tasas de erosión sensiblemente inferiores a las calculadas en algunos trabajos previos (Pérez-Peña *et al.*, 2009).

Obviamente, las mayores tasas de erosión hídrica se producen en los segmentos en los que la superficie final de relleno de la cuenca presenta más pendiente, lo que habría favorecido el espectacular desarrollo de los badlands en el glacis del Negratín y al este del río Guardal.

Con la salvedad del sector de Pozo-Alcón, cuya estructura parece ligada a la actividad más reciente de la Falla de Tíscar, la dirección aparente de extensión es OSO-ENE a SO-NE, es decir, subparalela a las estructuras de acortamiento de las sierras vecinas. Esta orientación podría estar expresando una situación de estiramiento paralelo a las directrices estructurales similar a la descrita en las Béticas Occidentales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PGC2018-100914-B-I00 y UPO-1259543. Por otra parte, nos gustaría expresar nuestra más sincera gratitud a un revisor anónimo.

REFERENCIAS

Alfaro, P., Delgado, J., Sanz de Galdeano, C., Galindo-Zaldívar, J., García-Tortosa, F.J., López-Garrido, A.C., López-Casado, C., Marín, C., Gil, A. y Borque, M.J. (2008): The Baza Fault: a major active extensional fault in the Central Betic Cordillera (South Spain). *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1353-1365.

Calvache, M.L. y Viseras, C. (1997): Long-term control mechanisms of stream piracy processes in southeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 93-105.

Díaz-Hernández, J.L. y Juliá, R. (2012): Comments on "Quaternary landscape evolution and erosion rates for an intramontane Neogene basin (Guadix-Baza basin, SE Spain)". *Geomorphology*, 171-172, 201-203.

García-Tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Gibert, L., López-Garrido, A.C., Sanz de Galdeano, C. y Ureña, M. (2008): Geomorphologic evidence of the active Baza Fault (Betic Cordillera, south Spain). *Geomorphology*, 97, 374-391.

García-Tortosa, F.J., Alfaro, P., Sanz de Galdeano, C. y Galindo-Zaldívar, J. (2011): Glacis geometry as a geomorphic marker of recent tectonics: The Guadix-Baza basin (South Spain). *Geomorphology*, 125, 517-529.

Moral, F., Balanyá, J.C. (2020): Recent fault-controlled glacis deformation and its role in the fluvial capture of the Guadix-Baza basin (Betic Cordillera, southern Spain). *Geomorphology*, 363. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107226.

Pérez-Peña, J.V., Azañón, J.M., Azor, A., Tuccimei, P., Della Seta, M. y Soligo, M. (2009): Quaternary landscape evolution and erosion rates for an intramontane Neogene basin (Guadix-Baza basin, SE Spain). *Geomorphology*, 106, 206-218.

Vera, J.A. (1970): Estudio estratigráfico de la depresión de Guadix-Baza. *Boletín Geológico y Minero*, 81, 429-462.

¿Qué fiabilidad tienen las edades del laboratorio de luminiscencia de la Universidad Autónoma de Madrid? El ejemplo de las fallas cuaternarias en el sector central de la Cadena Ibérica (NE España)

How reliable are the ages of the Universidad Autónoma de Madrid Luminescence Lab? The example of the Quaternary faults in the central sector of the Iberian Chain (NE Spain)

D. Moreno[1], F. Gutiérrez[2], M. del Val1,[3], F. Jiménez[1], D. Carbonel[2]

1 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca, 3 09002 Burgos. davinia.moreno@cenieh.es miren.delval@cenieh.es fernando.jimenez@cenieh.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Calle Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain fgutier@unizar.es dcarbone@unizar.es
3 Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco. Barrio Sarriena s/n, 48940, Leioa, Bizkaia, Spain

Palabras clave: ESR dating, OSL dating, fluvial terraces, paleoseismology, seismic hazard

Resumen

La geocronología es una herramienta esencial en estudios de geomorfología, tectónica y paleosismología orientados a caracterizar fallas activas y evaluar su potencial sismogénico. La cantidad y calidad de los datos geocronológicos disponibles determina la fiabilidad de las evaluaciones de peligrosidad sísmica que incorporan en su modelo de fuentes fallas activas, teniendo por tanto implicaciones socio-económicas importantes. Tradicionalmente, la caracterización de las fallas cuaternarias en el sector central de la Cordillera Ibérica (tasas de desplazamiento, edad de paleoterremotos, recurrencia), se ha basado en edades proporcionadas por el Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM lab), ahora cerrado. El propósito de este trabajo es evaluar la validez de las edades previas del UAM lab en dicha área obtenidas en los años 90 o principios de los 2000, así como su protocolo, aplicando diferentes métodos de datación: Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE), Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL), series de Uranio-Torio (U/Th) y radiocarbono (^{14}C). En buena parte de los casos se replican las muestras que habían sido analizadas por el UAM lab. Los nuevos datos geocronológicos, la falta de coherencia de las edades del UAM lab (*e.g.* tasas de incisión, tasas de desplazamiento y valores de recurrencia anormales), así como la limitada información disponible sobre la metodología aplicada por dicho laboratorio, cuestionan seriamente la fiabilidad de las edades previas. Estas conducen a sobrestimaciones significativas del potencial sismogénico de las fallas con implicaciones relevantes (por ejemplo, interrupción y rediseño del Hospital de Teruel). También ponen de relieve la necesidad de revisar los estudios de geomorfología y del Cuaternario basados en edades no fiables.

Abstract

Geochronology is an essential tool in tectonic geomorphology and paleoseismological studies aimed at characterizing fault sources for seismic hazard assessment. The quantity and quality of the geochronological data used for fault-source characterization is crucial in seismic hazard estimates, which may have significant socio-economic implications. The characterization of Quaternary faults in the central sector of the Iberian Chain has traditionally been based on ages provided by the now closed Laboratorio de Datación y Radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM lab). Our aim in this work is to evaluate the validity of the UAM lab ages in this area obtained in the 90's or early 2000's by applying different dating methods such as Electron Spin Resonance (ESR), Optically Stimulated Luminescence (OSL), Uranium-Thorium (U/Th) series, and radiocarbon dating (^{14}C), in some cases replicating samples previously analysed at the UAM lab. These new geochronological data, the lack of consistency of the UAM lab ages (e.g. abnormal fluvial incision rates, fault slip rates, paleoearthquake recurrence), and the precarious information about the methodology applied by the UAM lab seriously question the reliability of the previous ages, which significantly overestimate the activity of the faults, potentially leading to substantial seismic hazard overestimates with societal implications (e.g., interruption and re-design of Teruel Hospital). It also highlights the need of revisiting the Quaternary and geomorphological studies carried out using those non-reliable ages .

Resultados preliminares del estudio de los depósitos de loess yesífero en los afloramientos de Cárcar (Ribera Navarra)

Preliminary results of the study of the gypsiferous loess deposits in the outcrops of Cárcar (Ribera Navarra)

E. Pardo-Igúzquiza[1], M.P. Mata[2], I. Gil-Peña[1], J.C. Larrasoaña[3] y A. Salazar[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. e.pardo@igme.es; i.gil@igme.es
2 IGME, C/ Calera 1 y 2, 28760 Tres Cantos (Madrid), p.mata@igme.es; a.salazar@igme.es
3 IGME, Unidad de Zaragoza, C/ Manuel Lasala 44, 9º B, 50006 Zaragoza. jc.larra@igme.es

Resumen: En este trabajo se presentan los resultados preliminares del estudio de unos depósitos masivos, de color ocre y de aspecto pulverulento, que afloran asociados a bancales con rumbo N150ºE y que se han interpretado como loess en el entorno del pueblo de Cárcar, Ribera Navarra, Cuenca del Ebro. Los afloramientos se han visitado en campo, se han tomado muestras y se han obtenido los primeros resultados de laboratorio. Los problemas que se plantean son principalmente dos: si se pueden considerar verdaderos depósitos de loess eólico y cuál podría ser su origen. La morfología y granulometría de los granos parece coherente con un transporte eólico y la presencia de yeso junto a la gran angulosidad de los granos de cuarzo sugieren tanto un área fuente relativamente cercana como un origen glaciar o periglaciar para los mismos. La única datación de un afloramiento de estos depósitos y que aparece en bibliografía (Iriondo y Kröhling, 2004), datan una muestra en torno a los 8.100 años A.P., lo que parece asociar estos depósitos con el evento frio 8,2 que da inicio al Norgripiense. Desde el punto de vista científico sería muy interesante estudiar la variabilidad espacial de las edades de los loess en los diferentes afloramientos. Estos depósitos también tienen una importancia práctica pues, por una parte, son tierras muy fértiles que, en el pasado, se han explotado artesanalmente como canteras para extraer material con el que mejorar fincas agrícolas en terrenos aluviales, mientras que por otra parte presentan problemas geotécnicos (suelos colapsables) y riesgos por deslizamientos en la localidad de Cárcar, que episódicamente han llegado a represar el río Ega.

Palabras clave: Cuenca del Ebro, yeso, anhidrita, depósito eólico, granos de cuarzo.

Abstract: *The first results on the study of massive, powdery, light brown silt deposits are presented in this work. These patchy deposits associated with benches with a prevalent N150ºE orientation have been interpreted as loess. They occur around the village of Cárcar, in the upper part of the Ebro Basin. The outcrops have been visited, samples have been taken and the first laboratory results have been obtained. There are two main questions to be answered: firstly, are these sediments true loess deposits? and, secondly, which is their geologic origin? The grain-size distribution of the samples and the morphology of the grains seems to be consistent with sediments that have experience aeolian transport. Additionally, the presence of gypsum together with the angularity of the quartz grains suggest both a proximal evaporitic source area and a distal glacial/periglacial source area. The only dating of a sample of these deposits is given in Iriondo and Kröhling (2004), and assign a date of 8,100 years B.P. to the sample. This dating seems to link these deposits with the 8.2 cold event that marks the beginning of the Norgripian in the Holocene. From a scientific point of view, it would be very interesting to study the spatial variability of the ages of these deposits in the different outcrops. These deposits also have an important practical significance because, on one hand, they hold very fertile soils, while, on the other hand, they pose geotechnical problems and geological hazards including hydrocompaction (collapsible soils) and landsliding.*

Keywords: *Ebro basin, gypsum, anhydrite, aeolian deposit, quart grains.*

INTRODUCCIÓN

A lo largo del Valle del Ebro, en el noreste de la Península Ibérica (Fig. 1) aparecen parches de unos depósitos eólicos que se encuadran entre los más representativos de la zona del Mediterráneo Occidental (Boixadera *et al.*, 2015). Dichos afloramientos aparecen tanto en la cabecera de la Cuenca del Ebro, por ejemplo en torno a Cárcar (Iriondo y Kröling, 2004 y este trabajo), en su parte media, por ejemplo en torno a Zaragoza (Luzón *et al.*, 2012) y en su parte baja, en las zonas de Batea y Gandesa (Iriondo y Kröling, 2004; Boixadera, 2015). Estos depósitos tienen un gran interés científico en relación a estudios paleoclimáticos y geomorfológicos, así como un interés aplicado en relación a sus propiedades geotécnicas, riesgos geológicos y agricultura.

Los depósitos de loess asociados al transporte eólico han sido profusamente estudiados en la literatura científica en relación a su origen, sus propiedades y sus implicaciones paleoclimáticas en el Cuaternario (Muhs, 2007). Es por ello que resulta de gran interés el estudio de los depósitos de Cárcar

tanto a nivel local como por su integración en los depósitos de loess de la Cuenca del Ebro, siendo característicos de su zona de cabecera, y por ende de los depósitos del Mediterráneo Occidental y su integración en los estudios de los depósitos de loess a escala global (Muhs and Bettis, 2003).

AFLORAMIENTOS DE CÁRCAR

La Fig. 1 muestra la localización geográfica de los afloramientos de Cárcar, que se encuentran muy cerca de dicha localidad de la ribera navarra. Estos depósitos fueron estudiados por Iriondo y Kröling (2004) en el afloramiento I-K de Fig. 1, pero que no ha podido ser localizado porque los autores proporcionan unas coordenadas geográficas poco precisas. Estos autores aportan datos interesantes sobre los loess de dicho afloramiento como son su granulometría, edad (8,1 ka) y composición mineralógica (26% de cuarzo, 74% de yeso y anhidrita) y formulan una interesante hipótesis de su origen no periglacial sino más acorde a los loess desérticos (Smalley *et al.,* 2019) a partir de depósitos de tipo "*playa lake*" (Gutiérrez, 2005).

Además de dichos depósitos se han encontrado otros afloramientos de gran interés. Por una parte, están los depósitos en las afueras del mismo pueblo de Cárcar (D en Fig. 1) y visibles desde su casco urbano (Fig. 2), donde se observa su típica disyunción columnar (Fig. 1). El espesor de estos depósitos es de unos 8 m y no se han muestreado por su difícil acceso.

El afloramiento marcado como 1 en la Fig. 1 presenta un gran corte de 10 m de altura y es un escarpe antrópico por la excavación de tierra para fertilizar otras fincas en el aluvial de Ega. En las observaciones de campo se ha observado un cambio lateral de facies a depósitos aluviales de tipo grava y arena homométrica que, aunque no excluyen el origen eólico de estos depósitos, pues el loess puede aparecer intercalado con otros sedimentos (fluviales, por ejemplo), ponen en duda su origen a falta de análisis más detallados de campo y laboratorio. Por ello nos centramos en las muestras de los afloramientos 2 y 3 de la Fig. 1, que son las más representativas. En campo aparecen en bancales masivos (Fig. 3), de color ocre y aspecto pulverulento, y en los afloramientos tienen un aspecto homogéneo sin estructuras de corriente, pero si presentan en superficie concreciones calcáreas y estructuras de "nidos de avispas" (Fig. 3). Estos depósitos se encuentran localizados en un alto topográfico con la misma dirección N150ºE. De estos afloramientos se tomaron muestras para su estudio en laboratorio.

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Se han estudiado dos muestras representativas del afloramiento de Cárcar mediante microscopía electrónica de barrido en un JEOL JSM 6010 con EDS del IGME. La mineralogía predominante es el sulfato cálcico (yeso/anhidrita), acompañado de cuarzo, calcita, otros silicatos como arcillas y feldespatos y cantidades pequeñas de óxidos de Ti o circón. En este estudio se ha observado una clara distribución de tamaño bimodal con una moda principal en torno a 50 µm y una moda secundaria de granos en torno a 2 µm, que se muestran adheridos a los granos de la moda principal y están constituidos por minerales de la arcilla y yesos (Buurman *et al.*, 2001; Sun *et al.*, 2002). Los granos de cuarzo son angulosos y muestran rasgos de fractura frágil como lo atestiguan las líneas de Wallner (Fig. 3), escalones y surcos, rasgos morfológicos típicos de ambientes glaciares y periglaciares y producidos por abrasión mecánica (Woronko, 2016)

¿LOESS PERIGLACIAL O PLAYA LAKE LOESS?

Tradicionalmente se ha venido considerando que los depósitos de loess estaban asociados a procesos periglaciares (Smalley y Vita-Finzi, 1968). Con posterioridad, los límites de la glaciación pleistocena en China fueron reinterpretados llegándose a la conclusión de que no eran tan extensos como se pensaban y que los desiertos podían haber representado importantes áreas fuente de los depósitos de loess chinos dando origen a los denominados loess de desierto ("desert loess"; Smith *et al.*, 2002). De acuerdo a Iriondo y Kröhling (2004) la presencia de una gran proporción de yeso/anhidrita implicaría un origen en una zona de "playa lake" o "efecto salina". Sin embargo, teniendo en cuenta que el sustrato aflorante en la zona está constituido en gran parte por yesos y que la meteorización de dicho sustrato generalmente da lugar a un regolito en el que predominan las partículas de yeso de tamaño limo, el origen del yeso en el loess también pudo ser su incorporación, durante el transporte eólico, al pasar el viento sobre este tipo de material de meteorización en áreas cercanas. Por otro lado, la micromorfología de los granos de cuarzo, hacen pensar en procesos de erosión, transporte y sedimentación producidos en ambientes glaciares y periglaciares.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados preliminares de este trabajo, se propone la presencia de depósitos primarios de loess al menos en los afloramientos 2 y 3 (Fig. 1) de Cárcar, sin eliminar que también lo pudieran ser los otros. Estos afloramientos (2 y 3) están en un alto topográfico lejos de los depósitos fluviales del Ega y sin relación alguna con sus terrazas más altas. Estos afloramientos muestran un aspecto masivo, pulverulento y con perforaciones o "nidos de avispas". Estos depósitos eólicos están constituidos en su mayor parte por yesos de grano fino con un área fuente relativamente cercana, junto a granos de cuarzo angulosos y con marcas superficiales de abrasión mecánica lo que podría indicar una procedencia más lejana relacionada con ambientes glaciares y periglaciares. Este hecho es coherente con la datación establecida para depósitos similares y cercanos por Iriondo y Kröhling (2004), y que corresponde al evento frío 8,2 ka. Un estudio más detallado de estos afloramientos aportará más datos acerca de la génesis de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Francisco Gutiérrez Santolalla por las sugerencias y comentarios que han permitido mejorar la versión final de este trabajo.

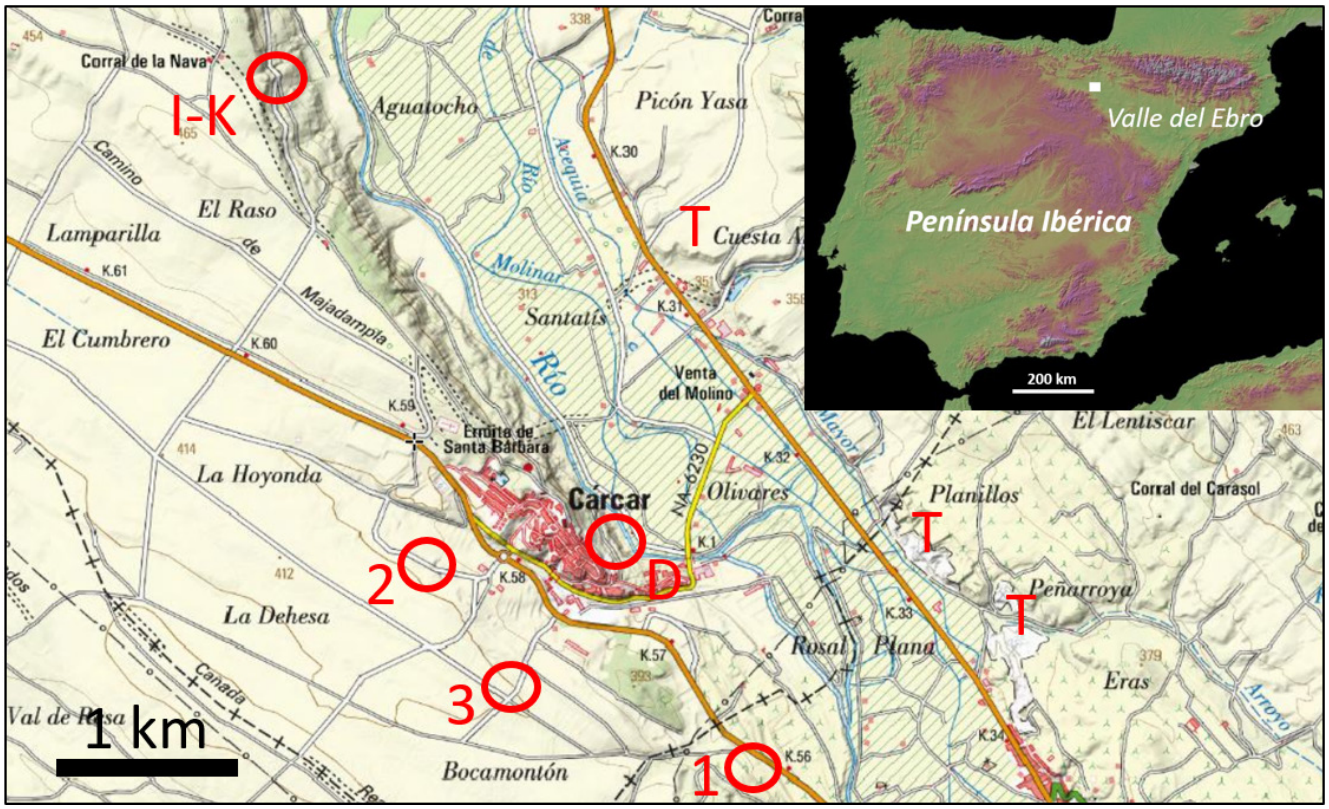


FIGURA 1. Localización geográfica de los afloramientos de loess de Cárcar en la parte alta de la Cuenca del Ebro. En particular los afloramientos más interesantes (2 y 3, Fig. 3) se encuentran en un umbral topográfico entre la llanura aluvial de río Ega y la llanura aluvial del río Ebro, fuera de la imagen por su parte izquierda, pero a pocos kilómetros. El afloramiento I-K es el área donde debería estar el perfil muestreado y datado por Iriondo y Kröling (2014) pero que no pudo ser localizado en campo. El afloramiento 1 está a la misma altura que las terrazas (T) del Ega por su margen izquierdo (siguiendo la dirección del flujo del río hacia la parte inferior de la imagen). El afloramiento D resulta inaccesible al existir riesgo de deslizamiento como se observa en la Fig. 2.

REFERENCIAS

Boixadera, J., Poch, R.M., Lowick, S.E. y Balasch, J.C. (2015): Loess and soils in the eastern Ebro Basin. *Quaternary International*, 376: 114-133.

Buurman, P., Pape, Th., Reijneveld, J.A., de Jong, F. y van Gelder E. (2001): Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlation for fine fractions of marine, fluvial, and loess samples. *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences*, 80: 49-57.

Gutiérrez, M. (2005): *Climatic Geomorphology*. Elsevier, 793 p.

Iriondo, M.H. y Kröhling, D.M. (2004): Loess yesífero en el Cuaternario Superior de la cuenca del Ebro: características generales. En: *Homenaje a Emiliano Aguirre. Geología y Paleoecología* (Rubio, S., ed.), Madrid, 45-50.

Luzón, A., Rodríguez-Lópe, J.P, Pérez, A., Soriano, M.A., Gil, H. y Pocovi, A. (2012): Karst subsidence as a control on the accumulation and preservation of aeolian deposits: A Pleistocene example from a proglacial outwash setting, Ebro Basin, Spain. *Sedimentology*, 59: 2199-2225.

Muhs, D.R. (2007): Loess deposits, origins and properties. In: *Encyclopedia of Quaternary Science* (Elias, S., ed.), Elsevier, 1405-1418.

Muhs, D. R., and Bettis, E. A., III. (2003). Quaternary loess-paleosol sequences as examples of climate-driven sedimentary extremes. *Geological Society of America Special Paper*, 370, 53–74.

Smalley, I., Marshall, J., Fitzsimmons, K., Whalley, W.B. y Ngambi, S. (2019): Desert loess: a selection of topics. *Geologos*, 25: 91-102.

Smalley, I.J., Vita-Finzi, C. (1968): The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of ‘‘desert’’ loess. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38, 766– 774.

Smith, B.J., Wright, J.S. and Whalley, W.B. (2002): Sources on non-glacial, loess-size quartz silt and the origins of “desert loess”. *Earth-Science Review*, 59: 1-26.

Sun, D., Bloemendal, J., Rea, D.K., Vandenberthe, J., Jiang, F., An, Z. y Su, R. (2002): Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components. *Sedimentary Geology*, 152: 263-277.

Woronko, B. (2016): Frost weathering versus glacial grinding in the micromorphology of quartz sand grains: processes and geological implications. *Sedimentary Geology*, 335: 103-119



FIGURA 2. Afloramiento D en la Fig. 1 asociado a deslizamientos. Izquierda: en la parte central izquierda se observan las morfologías conocidas como torrecitas del loess. También se observan escarpes de fracturas relacionados con el deslizamiento de la ladera hacía el río Ega. La foto está tomada desde la iglesia que puede verse en la foto de la derecha. Derecha: foto desde el río donde se observa la disyunción vertical en bloques de las torrecitas del loess y el riesgo de caída sobre el río Ega en la parte inferior de la imagen.



FIGURA 3. Izquierda: bancal del afloramiento 3 en la Fig. 1. El depósito tiene 7 m de espesor y aparece masivo y homogéneo, sin ningún tipo de depósito de materiales de granulometría gruesa, tipo arena o grava. Derecha: aspecto del afloramiento 2 donde se observan concreciones carbonatadas y muchos agujeros de insectos que le confieren una textura de “nido de avispas”.

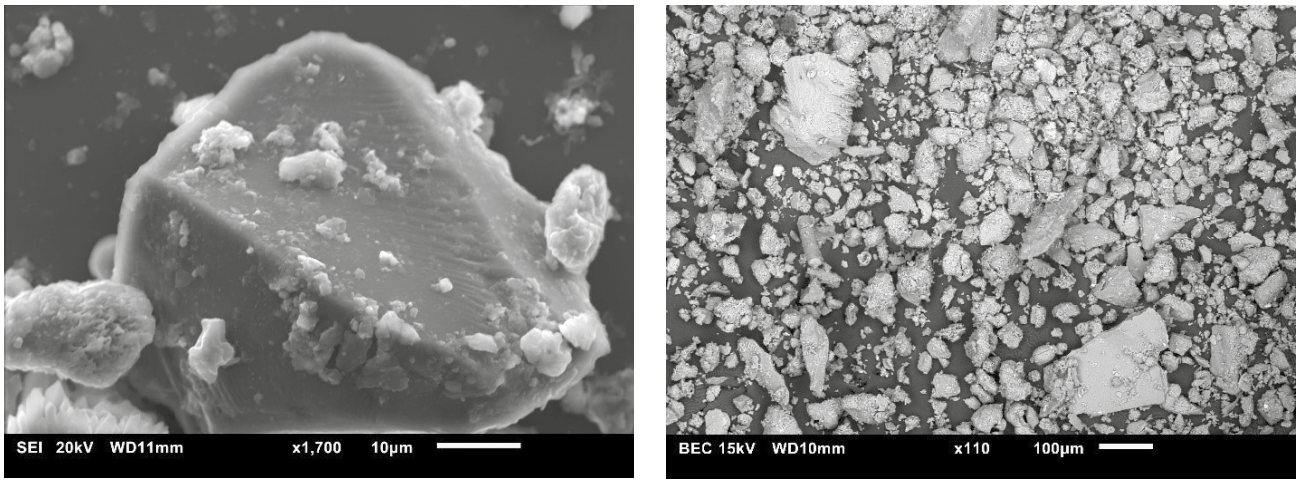


FIGURA 4. Imágenes de microscopía electrónica de barrido. Izquierda: Grano de cuarzo con rasgos típicos de una fractura frágil como son las líneas de Wallner (flecha blanca). Derecha: Imagen que muestra la bimodalidad de la distribución de tamaños (en volumen) con una moda principal en torno a los 50 micrómetros y otra moda asociada a la población de granos pequeños y que aparecen adheridos a la población principal de granos mayores.

Marmitas fluviales en sustratos metasedimentarios de la Zona Centro Ibérica en Extremadura.

Potholes in metasediments in Central Iberian Zone in Extremadura.

E. Rebollada Casado[1], Mª T. de Tena Rey[2], P. Muñoz Barco[1] y J.A. Salgado Carmona[3]

1 Dirección General de Política Forestal, Junta de Extremadura. Avda. Luis Ramallo s/n. 06800 Mérida. eduardo.rebollada@hotmail.com, pedro.munoz@juntaex.es
2 Departamento de Expresión Gráfica, Centro Universitario de Mérida. Calle Santa Teresa Jornet, 38. 06800 Mérida. mtdetena@unex.es
3 Universidad Nacional de Educación a Distancia. Centro Asociado de Mérida. Calle Moreno de Vargas, 10. 06800 Mérida. jossalgado@merida.uned.es

Palabras clave: marmitas fluviales, pizarras metamórficas, Extremadura.

Resumen

Los estudios sobre marmitas fluviales se han circunscrito fundamentalmente a las formadas sobre sustrato ígneo, por su extensión geográfica, dimensiones y desarrollo. Sin embargo, en Extremadura existen algunos ejemplos de marmitas en otros tipos de sustratos competentes, como el metamórfico, en concreto pizarras metamórficas del Neoproterozoico (De Tena *et al.*, 2019).

En teoría, la formación y evolución de este tipo de morfologías fluviales debería seguir el mismo patrón que cualquier tipo de sustrato geológico competente. Sin embargo, la particularidad más destacada de las marmitas fluviales desarrolladas en sustratos metamórficos es que no llegan a adquirir las geometrías de los estadios más evolucionados, como ocurre en las rocas ígneas, por ejemplo (Muñoz *et al.*, 2014).

En este trabajo, se lleva a cabo el estudio de diferentes marmitas fluviales formadas en materiales metamórficos de la Zona Centro Ibérica en Extremadura, valorándose los condicionantes particulares del sustrato geológico, y las características de su desarrollo y geometría aplicando herramientas SIG. Este estudio permite analizar el singular proceso formativo y evolutivo de las marmitas en materiales sedimentarios metamórficos, para compararlo con el desarrollado en rocas ígneas.

Abstract

Studies about fluvial potholes have been mainly limited to those formed on igneous substrate, due to their geographical extension, dimensions and development. However, in Extremadura there are some examples of potholes in other types of hard substrates, such as metamorphic ones, specifically Neoproterozoic metamorphic slates (De Tena et al., 2019).

In theory, the formation and evolution of this type of fluvial morphologies should follow the same pattern as any type of competent geological substrate. However, the main feature of the fluvial potholes developed in metamorphic substrates is that they do not acquire the geometries of the most evolved stages, as occurs in igneous rocks, for example (Muñoz et al., 2014).

In this paper, the study of different fluvial potholes formed in metamorphic materials of the Central Iberian Zone in Extremadura is carried out, assessing the particular conditioning factors of the geological substrate, and the characteristics of its development and geometry by applying GIS tools. This study allow to analyze the unique formative and evolutionary process of the potholes over metasediments, to compare it with that developed over igneous rocks.

Referencias

De Tena Rey, Mª T., Rebollada-Casado, E., Muñoz-Barco, P. y Charro-Lobato, C. (2019). Marmitas de gigante en pizarras: río Tamuja (Botija, Cáceres). *XV Reunión Nacional del Cuaternario* (Bilbao). Libro de resúmenes, 140-143.

Muñoz Barco, P., Rebollada Casado, E., De Tena Rey, Mª T. y Cubero San Miguel, J.J. (2014). Catálogo de marmitas de gigante en Extremadura. *XIII Reunión Nacional de Geomorfología*. Actas, 123-126

Caracterización y monitorización de deslizamientos activos en el Embalse de Rules (Sur de España).

Characterisation and monitoring of active landslides in the Rules Reservoir (Southern Spain).

C. Reyes-Carmona[1], M. Moreno-Sánchez[2], A. Barra[3], J.P. Galve[2], R. Sarro[1], O. Monserrat[3], T. Teixidó[4], A. Riquelme[5], P. Ruano[2], A. Millares[6], J.V. Pérez-Peña[2], R.M. Mateos[1] y J.M. Azañón[2]

1 Geohazards InSAR laboratory and Modelling group, Instituto Geológico y Minero de España. 28003 Madrid, España. c.reyes@igme.es, r.sarro@igme.es, rm.mateos@igme.es,
2 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071 Granada, España. marcosms@ugr.es, jpgalve@ugr.es, pruano@ugr.es, vperez@ugr.es, jazanon@ugr.es
3 Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya, Geomatics Division, 08860 Castelldefels, España. anna.barra@cttc.cat, omonserrat@cttc.cat
4 Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Campus de Cartuja. 18011 Granada, España. tteixido@ugr.es
5 Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante. 03080 Alicante, España. ariquelme@ua.es
6 Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA). 18006 Granada, España. mivalag@ugr.es

Palabras clave: InSAR, cartografía geomorfológica, deslizamientos, Embalse de Rules

Resumen

Los deslizamientos en embalses pueden generar situaciones críticas y peligrosas que conlleven a una gran cantidad de pérdidas materiales, económicas e incluso humanas. Las técnicas de teledetección han demostrado ser herramientas de gran utilidad para evitar o minimizar estos desastres. Una de estas técnicas es la interferometría de radar satélite (InSAR, en sus siglas en inglés), que es capaz de detectar movimientos milimétricos del terreno con una gran resolución temporal. En este trabajo, presentamos los resultados obtenidos mediante InSAR en el Embalse de Rules (Sur de España). La integración de estos datos con observaciones geomorfológicas nos ha permitido definir tres deslizamientos activos en las laderas del embalse. Dos de estos deslizamientos son de carácter rotacional retrogresivo, que afectan a la carretera nacional N-323 y a un viaducto de la Autovía A-44. Además, los patrones de movimiento muestran una correlación con los cambios en el nivel del embalse. El deslizamiento restante es de carácter traslacional y presenta un riesgo potencial de experimentar una aceleración crítica y ruptura de la ladera. Esto generaría un colapso de la masa deslizada en el embalse, que tendría consecuencias devastadoras para embalse y alrededores. Por ello, consideramos de vital importancia la monitorización continua de la actividad de estos deslizamientos para evitar daños futuros y garantizar la seguridad del embalse.

Abstract

Landslides in reservoir contexts may generate critical and dangerous situations that usually lead to a large amount of material, economic and human losses. Remote sensing techniques have proven its effectiveness to avoid or minimize these disasters. One of these techniques refers to satellite radar interferometry (InSAR), which makes possible to detect millimetric ground surface movement at high temporal resolution. In this work, we present the results obtained through InSAR in the Rules Reservoir (Southern Spain). The integration of these data with geomorphological observations allowed us to define three active landslides in the reservoir slopes. Two of these landslides are of the retrogressive rotational type and they affect the N-323 National Road and the A-44 Highway viaduct. In addition, movement patterns show a correlation with changes in the level of the reservoir. The other landslide has a translational character and thus, a potential hazard of experiencing a critical acceleration and slope failure. This would generate a collapse of the sliding mass into the reservoir, that would have devastating consequences for the reservoir itself and surrounding areas. Therefore, we consider that continuous monitoring of these landslides is crucial to avoid, far enough in advance, irreversible damages that would affect the reservoir safety.

Fallas cuaternarias en la rasa asturiana (sector de Avilés): indicadores geomorfológicos y estructurales

Quaternary faults in the Asturian rasa (Avilés sector): geomorphological and structural indicators

A. Rodríguez[1], L. Quintana[2], L. González-Menéndez[1] y A. Suárez[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de León. Avda. Real 1, Parque Científico Edificio 1, 24006, León. a.rodriguez@igme.es; l.gonzalez@igme.es; a.suarez@igme.es

2 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Oviedo, C/ Matemático Pedrayes 25, 33005, Oviedo. la.quintana@igme.es

Resumen: La rasa asturiana es una antigua plataforma de abrasión marina elevada durante el levantamiento reciente de la Cordillera Cantábrica y compartimentada en bloques desnivelados y basculados por fallas. Debido a la escasez de afloramientos, la detección de estas fallas es difícil. En este trabajo se describen varios indicadores, geomorfológicos y estructurales, de posibles fallas cuaternarias en el sector de Avilés de la rasa occidental asturiana. Entre los indicadores geomorfológicos se observan desnivelamientos de la rasa, codos fluviales, lomas de obturación, *knickpoints* y patrones de drenaje ortogonales y asimétricos. Los indicadores estructurales son dos afloramientos de fallas en materiales paleozoicos y mesozoicos. Todos ellos sugieren la existencia de cuatro fallas inversas, de dirección NE-SO, paralelas a las estructuras variscas y con un movimiento relativo de elevación de sus bloques NO. Adicionalmente, los indicadores geomorfológicos fluviales también sugieren que dichas fallas son posteriores a la emersión de la rasa y al desarrollo de la red de drenaje cuaternaria.

Palabras clave: Rasa, neotectónica, indicadores geomorfológicos, red fluvial.

Abstract: *The Asturian rasa is an old wave-cut platform rised during the recent tectonic uplift of the Cantabrian Mountains. This uplift was accompanied by the breakage of the rasa into several fault blocks that experienced differential vertical displacement and tilting. Due to the scarcity of outcrops, the detection of these faults is difficult. This paper describes several geomorphological and structural indicators of probable Quaternary faults in the Avilés sector of the Asturian western rasa. The geomorphological indicators include vertical offsets of the rasa, fluvial elbows, shutter ridges, knickpoints and orthogonal and asymmetrical drainage patterns. The structural indicators are two fault outcrops in Paleozoic and Mesozoic materials. These data suggest the existence of four reverse faults with NE azimuth, parallel to the Variscan structures. In these faults the NW blocks moved upward, relative to the footwall. Additionally, fluvial geomorphological indicators also suggest that these faults have been active during the uplift of the rasa and the development of the Quaternary drainage network.*

Keywords: *Rasa, neotectonics, geomorphological indicators, fluvial drainage network.*

INTRODUCCIÓN

La franja costera asturiana se caracteriza por la presencia de la denominada rasa, una antigua plataforma de abrasión marina, inclinada ligeramente hacia el norte, con depósitos marinos y continentales suprayacentes, y elevada durante el levantamiento de la Cordillera Cantábrica (Mary, 1983). Los estudios geomorfológicos sobre esta rasa son numerosos, sin embargo, los centrados en las fallas que la afectan son escasos. Mary (1983) propone tres niveles encajados hacia el norte; con edades (atendiendo a relaciones de corte, alteritas y eventos de transgresión) Mioceno inferior-medio (nivel superior), Plioceno inferior (nivel medio) y Pleistoceno inferior (nivel inferior); y posteriormente desnivelados por fallas de dirección NO-SE, NE-SO y E-O. En la rasa occidental asturiana, cerca del Cabo Busto, Gutiérrez Claverol *et al.* (2006) describen, por primera vez, dos fallas afectando a depósitos pleistocenos suprayacentes a la rasa. Se trata de dos fallas inversas de rumbo y buzamiento N40ºE/74ºNO y compatibles con la dirección de esfuerzos actuales en el NO de la Península Ibérica. También en la rasa occidental asturiana, Álvarez-Marrón *et al.* (2008) proponen que la rasa está compartimentada en bloques desnivelados y basculados por fallas de orientación NO-SE y NE-SO. En el presente trabajo se muestran varios indicadores geomorfológicos y estructurales de fallas cuaternarias que permiten precisar los modelos estructurales de la rasa occidental asturiana en el sector de Avilés.

MARCO GEOLÓGICO Y METODOLOGÍA

En la zona de estudio afloran formaciones paleozoicas deformadas durante la orogenia varisca y formaciones mesozoicas deformadas durante la extensión mesozoica y contracción alpina. Atendiendo a su resistencia a la erosión, entre los materiales paleozoicos destacan las cuarcitas de la Fm. Barrios y las areniscas de la Fm. Naranco, mientras que entre los mesozoicos destacan los conglomerados

silíceos y areniscas del Dogger (Fig. 1). La red de drenaje está controlada por la litología y estructura del sustrato.

A partir de un mapa de pendientes con resolución de 5 m, se han diferenciado tres niveles de rasa escalonados en altitudes decrecientes hacia el norte a 220 m aprox. (R1), 140 m aprox. (R2) y 60 m aprox. (R3). La ausencia de evidencias que muestren un control litológico y/o estructural entre estos niveles sugiere que se trata de tres niveles de rasa relacionados con niveles del mar diferentes.

FALLAS CUATERNARIAS: INDICADORES

En la zona de estudio, las rasas R1 y R2 se encuentran ligeramente desnivelados a ambos lados de cuatro lineaciones morfológicas de rumbo NE-SO: los ríos Ferrerías, Raíces y Casal y el escarpe sur del monte Pando (de oeste a este en el mapa de la Fig. 1). Los desniveles oscilan entre los 5 m (río Casal) y los 17 m (río Ferrerías), con cotas más altas al NO de dichas lineaciones (Fig. 1, ver cotas). Dichos desniveles son indicadores de que las lineaciones son posiblemente coincidentes con cuatro fallas: las de Ferrerías, Raíces, Casal y Pando (Fig. 1). Las tres primeras ya fueron propuestas por Álvarez-Marrón *et al.* (2008) y la cuarta por Julivert *et al.* (1972). A continuación, se describen nuevos indicadores, geomorfológicos y estructurales, que apoyan la existencia de estas fallas y su actividad reciente.

Falla de Ferrerías

El río Ferrerías presenta un trazado anómalo. En primer lugar, se observa un codo fluvial muy marcado (Fig. 1, localidad A) y, en segundo lugar, mientras que el tramo aguas arriba de dicho codo ("tramo alto") recorre una depresión alargada de fondo amplio y paralelo a la estratificación, el tramo inmediatamente aguas abajo ("tramo bajo") recorre un valle encajado y perpendicular a la estratificación. En la actualidad, aguas arriba de dicho codo, se encuentra un depósito de represamiento fluvial. Este trazado anómalo puede interpretarse como el resultado de un proceso de captura fluvial. En este sentido, se propone que el "tramo bajo" del río Ferrerías capturó en la localidad A al "tramo alto" (que drenaba hacia el norte).

Al NO del río Ferrerías existen dos lomas alargadas en dirección NE-SO (Fig. 1, localidades B y C) relacionadas con puntos anómalos en los ríos Ferrerías y Pisiego. La loma de la localidad B limita por el oeste el codo del río Ferrerías. Por su parte, la loma de la localidad C señala un cambio en el trazado del río Pisiego, ya que mientras que el "tramo alto" recorre un valle de fondo amplio, el "tramo bajo" se desvía hacia el norte para continuar por una vaguada encajada. Estas relaciones permiten interpretar las dos lomas descritas como lomas de obturación fluvial oblicuas al drenaje. Cerca de las divisorias de estas lomas se pueden observar cantos rodados dispersos.

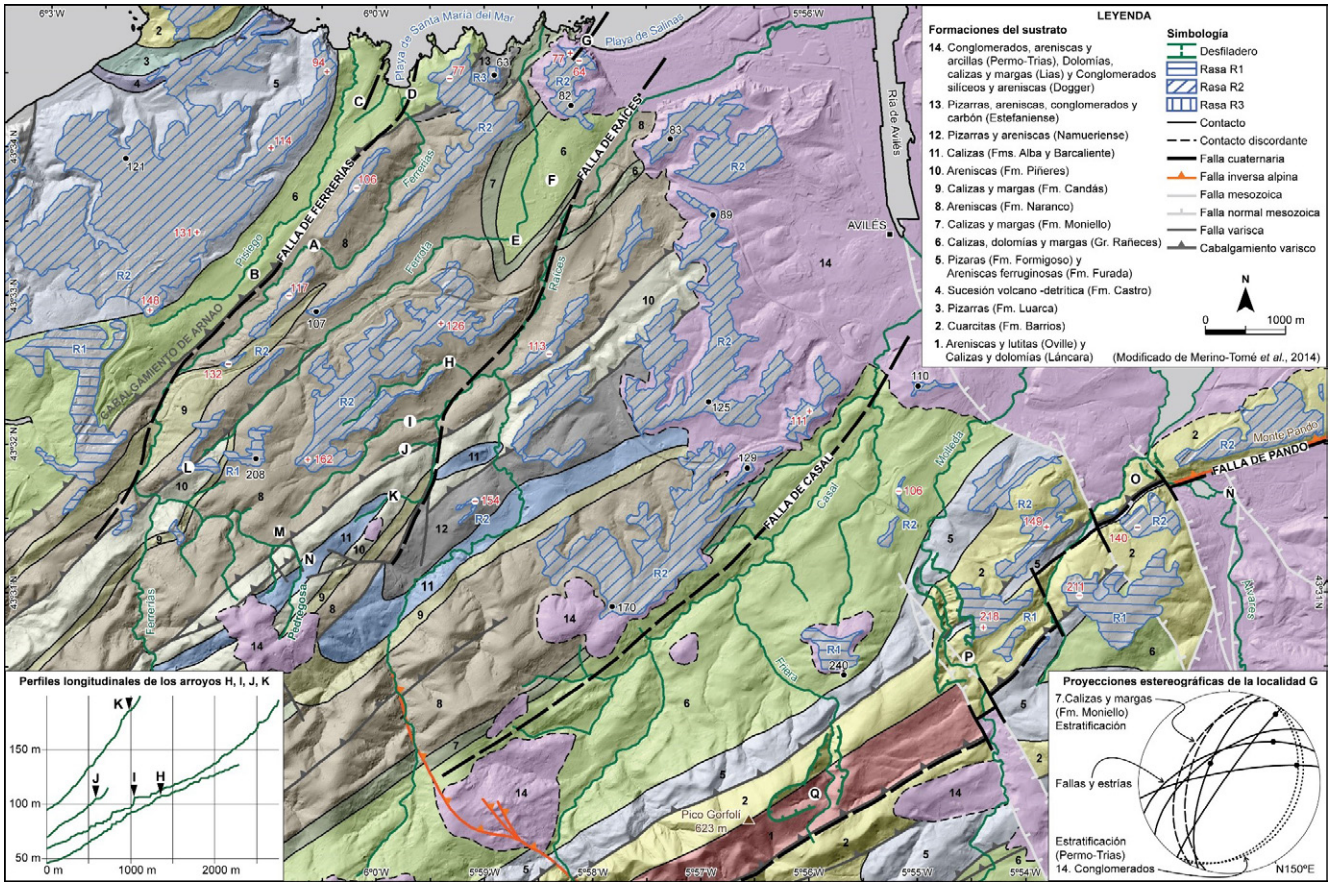


FIGURA 1. Mapa geológico de la zona de estudio. Cotas: en negro las generales y en rojo las que indican desnivelamiento de la rasa y con signo +/- cuando se indica movimiento relativo de elevación/hundimiento.

El desnivelamiento de la rasa R2 en el entorno del río Ferrerías, el codo de dicho río y las lomas de obturación mencionadas son coherentes con la existencia de la Falla de Ferrerías y con el movimiento inverso de su bloque NO (Fig. 2). Este bloque podría haberse elevado aprovechando gran parte del trazado del cabalgamiento varisco de Arnao, el cual se habría reactivado como una falla inversa reciente. Esta falla no se prolongaría hasta la costa por el trazado del cabalgamiento, sino que se bifurcaría en una falla detectada en el extremo oriental de la playa de Santa María del Mar (Fig. 1, localidad D). Dicha falla brechifica intensamente unas areniscas (afloramiento de la Fm. Naranco no cartografiado) y presenta un rumbo y buzamiento N13ºE/74ºNO coherente con el modelo de falla inversa propuesto.

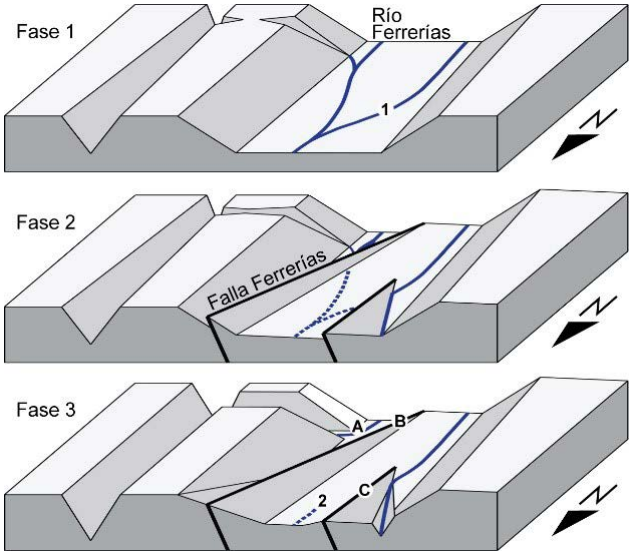


FIGURA 2. Reorganización fluvial asociada a la Falla de Ferrerías: Claves: 1: río Pisiego, 2: arroyo de la playa de Santa María del Mar, A: localidad A (codo del río Ferrerías), B y C: localidades B y C (lomas de obturación de los ríos Ferrerías y Pisiego respectivamente).

En el contexto anterior, la loma de la localidad B podría interpretarse como un escarpe de falla o un pliegue asociado a la reactivación del cabalgamiento de Arnao. La elevación de esta loma habría levantado los cantos rodados asociados al río Ferrerías, represado el drenaje del "tramo alto" de dicho río y favorecido la captura anteriormente mencionada. La loma de la localidad C también podría interpretarse como un pliegue o un escarpe de falla asociado a una falla cuaternaria. Dicha estructura, al encontrarse separada del trazado de la Falla de Ferrerías, sería una falla menor, aunque de similar cinemática. La elevación de esta loma también habría levantado los cantos rodados asociados al río Pisiego, desviado el trazado de dicho río hacia el norte y descabezado el curso de agua que actualmente desemboca en la playa de Santa María del Mar.

Falla de Raíces

El río Ferrota, en el bloque NO de la Falla de Raíces, también presenta un codo fluvial muy marcado (Fig. 1, localidad E). Este río presenta un "tramo alto" amplio, un "tramo bajo" encajado, y un interfluvio con el río Raíces (Fig. 1, localidad F) que también se puede interpretar como una loma de obturación fluvial. Cerca de la divisoria de esta loma también se pueden observar cantos rodados dispersos. Estos cantos parecen indicar la antigua confluencia de los ríos Ferrota y Raíces en dicha loma, la cual también podría interpretarse como un pliegue o un escarpe de falla asociado a una falla cuaternaria (Falla de Raíces).

En el extremo occidental de la playa de Salinas se observan las calizas devónicas de la Fm. Moniello y los conglomerados permo-triásicos brechificados y afectados por varias fallas de rumbo NNE-SSO a ENE-OSO, buzamiento hacia el NO y elevación relativa de los bloques NO (Fig. 1, localidad G, ver proyecciones estereográficas). En estas fallas se han medido algunas estrías que indican movimientos principalmente oblicuos, no habiéndose podido determinar directamente si la componente vertical fue inversa o directa. No obstante, de acuerdo con el régimen contractivo que produjo la elevación de los bloques NO, se propone un movimiento oblicuo inverso senestro. Hacia el SO de la localidad G se observa una vaguada rectilínea de dirección NE-SO, disectada en los conglomerados y areniscas del Dogger y culminada por la rasa (R2). En las dos vertientes de dicha vaguada se observan varios niveles de areniscas subhorizontales (Dogger) a diferentes cotas en cada vertiente. Adicionalmente, la rasa presenta un desnivel de 13 m con cotas más altas al NO (Fig. 1, ver cotas). Todo ello parece indicar que las fallas descritas se prolongan hacia el SO provocando la elevación del bloque NO.

El río Raíces, hacia el sur, en su margen izquierda, presenta cuatro arroyos con cambios bruscos de pendiente en sus perfiles longitudinales (Fig. 1, arroyos H, I, J, K, ver perfiles longitudinales). Los tramos aguas arriba de estos *knickpoints* podrían interpretarse como valles colgados relacionados con el escarpe generado por la posible Falla de Raíces.

El arroyo Pedregosa, en el bloque NO de la Falla de Raíces, presenta un patrón de drenaje ortogonal y asimétrico, con afluentes más numerosos y con mayor recorrido en su margen izquierda. Adicionalmente, en su margen derecha se observan cantos rodados dispersos (Fig.1, localidades L, M, N). Tanto el patrón ortogonal como los afloramientos de cantos rodados parecen indicar que el arroyo Pedregosa y los arroyos de su margen izquierda formaban parte de la cabecera de los ríos Ferrota y Raíces, hacia el NE. Posteriormente, el basculamiento hacia NO del bloque NO de la Falla de Raíces habría cambiado la dirección de drenaje de estas cabeceras hacia la línea de máxima pendiente, hacia el NO, pasando a convertirse en tributarios del río Ferrerías.

Fallas de Casal y Pando

El río Casal presenta un patrón de drenaje asimétrico, con afluentes más numerosos y con mayor recorrido en su margen derecha (Fig.1). Esta geometría anómala podría tener un control litológico o bien ser un indicador de un escarpe de falla al NO del río Casal (Falla de Casal) así como del basculamiento hacia el NO del bloque SE de la posible falla.

Finalmente, el río Álvares, en el bloque SE de la Falla de Pando, presenta un codo fluvial con un sistema lacustre asociado (Fig. 1, localidad Ñ) que parecen indicar que el escarpe sur del monte Pando ha funcionado recientemente como un escarpe de falla inversa (Falla de Pando). En el bloque NO de la Falla de Pando, los encajamientos fluviales de los ríos Friera, Molleda y Álvares (Fig. 1, localidades O, P, Q), podrían estar relacionados con la continuidad hacia el SO de la Falla de Pando, el levantamiento de su bloque NO y el consecuente encajamiento de la red de drenaje.

CONCLUSIONES

En el sector de Avilés de la rasa occidental asturiana existen varios indicadores geomorfológicos de posibles fallas cuaternarias posteriores a la emersión de la rasa y desarrollo de la red de drenaje. Se trata de cuatro fallas de dirección NE-SO, buzando hacia el NO y con un movimiento relativo de elevación de sus bloques NO. Presentan una cinemática inversa, quizás con algo de oblicuidad senestra. La mayor parte de estas fallas reactivan fallas previas. En ocasiones, sin embargo, se presentan como estructuras nuevas, probablemente nucleadas en superficies de estratificación paleozoicas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto "Cartografía Geomorfológica de España a escala 1:50.000" del Instituto Geológico y Minero de España.

REFERENCIAS

Álvarez-Marrón, J., Hetzel, R., Niedermann, S., Menéndez, R. y Marquínez, J. (2008): Origin, structure and exposure history of a wave-cut platform more than 1 Ma in age at the coast of northern Spain: A multiple cosmogenic nuclide approach. *Geomorphology* 93: 316-334.

Gutiérrez Claverol, M., López Fernández, C. y Alonso, J.L. (2006): Procesos neotectónicos en los depósitos de rasa de la zona de Canero (Occidente de Asturias). *Geogaceta* 40: 75-78.

Julivert, M., Truyols, J., Marcos, A. y Arboleya, M.L (1972): Mapa geológico de la Hoja nº13 (Avilés). *Mapa Geológico de España E. 1:50.000.* Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. IGME.

Mary, G. (1983): Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 13, 3-35.

Depósitos gravitacionales paraglaciares en Torre de Babia (Cordillera Cantábrica)

Paraglacial gravitational deposits in Torre de Babia (Cantabrian Mountains)

A. Rodríguez[1], A. Suárez[1] y V. Alonso[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de León. Avda. Real 1, Parque Científico Edificio 1, 24006, León. a.rodriguez@igme.es; a.suarez@igme.es

2 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. alonsovictoria.uo@uniovi.es

Resumen: Entre las formas del relieve identificadas en el valle de Torre de Babia (Cordillera Cantábrica) destacan los depósitos glaciares y gravitacionales. Uno de estos depósitos, atendiendo a sus características litológicas, estructuras sedimentarias, morfología, relaciones geométricas con la topografía y extensión, ha sido clasificado como una avalancha de rocas. La trayectoria propuesta para esta avalancha de rocas presenta un recorrido de 2.3 km, 700 m de desnivel y un ángulo de alcance de 16.9°, sugiriendo una gran movilidad, probablemente condicionada por la topografía y la litología lutítica del sustrato sobre el que se desplazó. Tanto la avalancha de rocas como los sedimentos de origen glaciar fueron afectados posteriormente por diferentes procesos gravitacionales que han sido clasificados como flujos de bloques y coladas de tierra. Los tres tipos de depósitos gravitacionales descritos en este trabajo se relacionan con la evolución paraglaciar del valle, en la que jugaron un papel importante, inicialmente, los procesos de descompresión asociados a la deglaciación, y, posteriormente, la incisión de la red de drenaje.

Palabras clave: avalancha de rocas, flujos de bloques, coladas de tierra, depósitos glaciares y evolución paraglaciar.

Abstract: *Glacial and gravitational deposits stand out among other landforms identified in the Torre de Babia valley (Cantabrian Mountains). One of these deposits, according to its lithology, sedimentary structures, morphology, as well as its extent and geometric relationships with the surrounding topography, has been interpreted as an old rock avalanche. The proposed avalanche path has a runout distance of up to 2.3 km, with a vertical fall of 700 m and an angle of reach of 16.9°, suggesting a high mobility, probably conditioned by the topography and the underlying argillaceous bedrock. This rock avalanche as well as the sediments of glacial origin have been subsequently affected by different gravitational processes classified as block flows and earth flows. The three types of gravitational deposits presented here are related to the paraglacial evolution of this valley, where debuttressing associated with the deglaciation initially played an important role and were later influenced by incision of the fluvial network.*

Keywords: *rock avalanche, block flows, earth flows, glacial deposits and paraglacial evolution.*

INTRODUCCIÓN

El cambio de condiciones glaciares a no glaciares provoca un reajuste rápido de los procesos geomorfológicos, especialmente los gravitacionales. Church y Ryder (1972) proponen el término "paraglaciar" para definir "procesos no glaciares que están directamente condicionados por la glaciación". Posteriormente, Wyrwoll (1977) utiliza el término "paraglaciar" para referirse a los procesos gravitacionales directamente condicionados por la deglaciación. El objetivo de este trabajo es identificar la secuencia de depósitos gravitacionales paraglaciares que afectan al valle de Torre de Babia (Cordillera Cantábrica).

MARCO GEOLÓGICO

El valle de Torre de Babia se sitúa en la vertiente sur de la Cordillera Cantábrica occidental (Fig. 1A). En este valle se localiza el área de estudio de este trabajo, concretamente al norte de la localidad de Torre de Babia, en la vertiente NE del Montihuero (2180 m) (Fig. 1B). En esta vertiente afloran materiales del Devónico, destacando, de muro a techo, dos unidades principales: las lutitas grises de la formación Valporquero (Grupo La Vid) y las calizas bioclásticas y margas de la Fm. Santa Lucía. La estratificación buza preferentemente hacia el SO con distintos ángulos debido a la presencia de pliegues menores. En el relieve se reconocen formas tanto erosivas como deposicionales de origen gravitacional, fluvial, glaciar y kárstico (Fig. 1C). Destacan las formas de origen glaciar, especialmente los depósitos de *till*, algunos formando complejos morrénicos, y las cubetas de sobreexcavación glaciar ocupadas en la actualidad por las lagunas de Las Verdes (1725 m) y Chabuezo (1695 m). Estas formas, correlacionables con otras formas glaciares datadas al oeste del área de estudio por Jalut *et al.* (2010), se atribuyen al último ciclo glaciar (Würm).

FORMAS DEL RELIEVE

En la Majada Las Verdes se observan varios afloramientos de un depósito de bloques (Fig. 2A) cuyas características inducen a clasificarlo como una avalancha de rocas (**A**, Fig. 1C). Este depósito, que no presenta cortes en profundidad, está constituido en superficie por un conjunto caótico de grandes bloques angulosos (de tamaño métrico) de la Fm. Santa Lucía. En los bloques de mayores dimensiones se reconocen estructuras en puzle, caracterizadas por una fracturación con escasa disgregación (*jigsaw-brecciated units* en Hewitt *et al.*, 2008). Estas acumulaciones de bloques se disponen de forma asimétrica respecto al fondo del valle, concentrándose principalmente en la ladera orientada al SO (*brandung* en Hewitt *et al.*, 2008). En esta ladera los bloques se sitúan hasta una cota máxima de 1541 m, 28 m

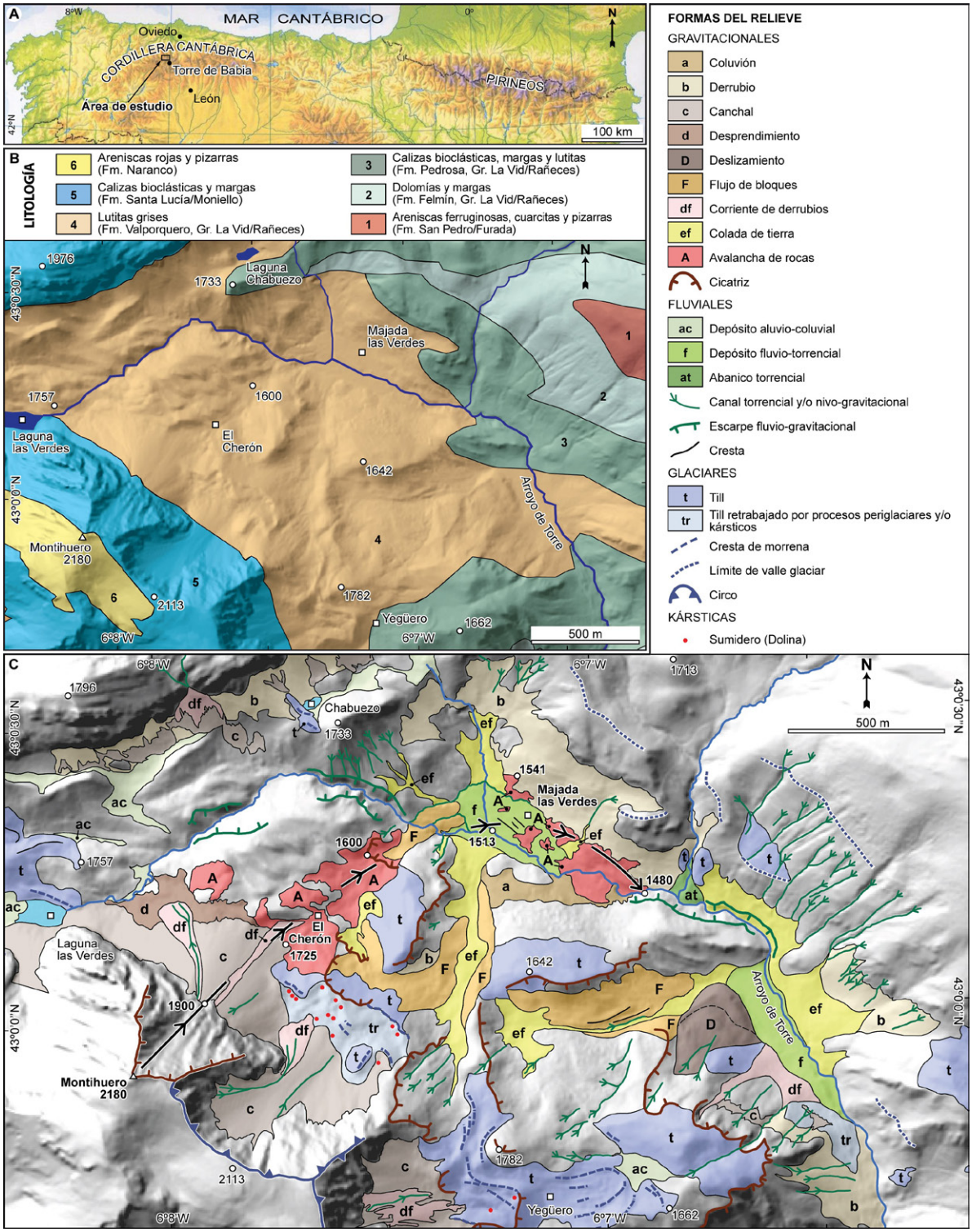


FIGURA 1. A) Situación geográfica, B) mapa litológico (basado en Merino-Tomé *et al.*, 2014) y C) mapa geomorfológico del área de estudio. Se representa la trayectoria de la avalancha de rocas de la Majada Las Verdes (flechas negras).

por encima del fondo de valle. En la canal de El Cherón se observan otros afloramientos de un depósito similar al descrito anteriormente (**A**, Fig. 1C). El sustrato sobre el que se sitúan todas estas acumulaciones de bloques está constituido por las lutitas de la Fm. Valporquero. Interpretamos que la desconexión de los distintos afloramientos del depósito puede explicarse, en primer lugar, porque las avalanchas de rocas generan topografías irregulares en la que se alternan promontorios y depresiones (Hewitt *et al.*, 2008) y, en segundo lugar, porque se trata de un evento antiguo afectado por procesos posteriores de erosión y sedimentación.

En el tramo superior de la ladera NE del Montihuero afloran calizas masivas y tableadas de la Fm. Santa Lucía (Fig. 1B). Estas rocas están afectadas por dos familias de discontinuidades principales: la estratificación, buzando hacia el interior de la ladera, y una familia de fracturas paralelas a la pendiente. Interpretamos que la superficie de rotura de la avalancha se sitúa en esta área, iniciándose con un mecanismo combinado de vuelco y deslizamiento favorecidos por la orientación de la estratificación y la fracturación respectivamente. Ladera abajo se localiza el canchal con forma de cono de mayores dimensiones en el valle de Torre de Babia. La singularidad de este depósito de ladera sugiere que podría estar relacionado con el incremento de los procesos de inestabilidad gravitacional (desprendimientos y corrientes de derrubios) en la superficie de rotura de la avalancha de rocas.

En las figuras 1C y 2B se proponen respectivamente la trayectoria y perfil de la avalancha de rocas. Interpretamos que esta trayectoria estaría condicionada por la topografía. La cota máxima de la zona de salida se situaría en la cumbre del Montihuero a 2180 m. Desde ahí, descendería por la canal de El Cherón, flanqueando o rompiendo la morrena más occidental del circo glaciar del Montihuero, hasta alcanzar la Majada Las Verdes. En esta zona, impactaría con la ladera opuesta, remontando un desnivel de 28 m, y cambiaría de dirección hasta detenerse a una cota de 1480 m, generando así la acumulación de bloques (*brandung*) de la Majada Las Verdes. El ángulo de alcance de esta trayectoria (16.9º) es inferior al esperado en los desprendimientos (32º en Hungr *et al.*, 2005) y entra en el rango típico de las avalanchas de rocas (Grämiger *et al.*, 2016). Adicionalmente, la cota máxima de la cabecera (2180 m), la cota máxima a la que pudo situarse el depósito de la avalancha de rocas (probablemente en el ápice del actual canchal a 1900 m) y su recorrido mínimo (2.3 km), indican que, mientras el desnivel de rotura alcanzó los 280 m, el recorrido se propagó una distancia mínima 8.2 veces superior. Esta gran movilidad es característica de las avalanchas de rocas (Corominas y Ruiz-Carulla, 2016) y en la zona de estudio puede estar explicada por el desnivel del área de rotura (280 m) y del recorrido (700 m) así como por la litología lutítica del sustrato sobre el que se desplazó.

Existen indicios de que la avalancha de rocas fue posterior a la retirada del glaciar del valle de Torre de Babia. Por un lado, la distribución asimétrica respecto al fondo de valle de los bloques, así como la escasa disgregación observada en los bloques de mayores dimensiones, apuntan a que el depósito no ha sufrido un transporte posterior a su emplazamiento. Y, por otro lado, la presencia de un glaciar durante la avalancha de rocas hubiera facilitado una trayectoria más rectilínea (Corominas y Ruiz-Carulla, 2016) y un mayor número de depósitos de bloques colgados respecto al fondo de valle actual.

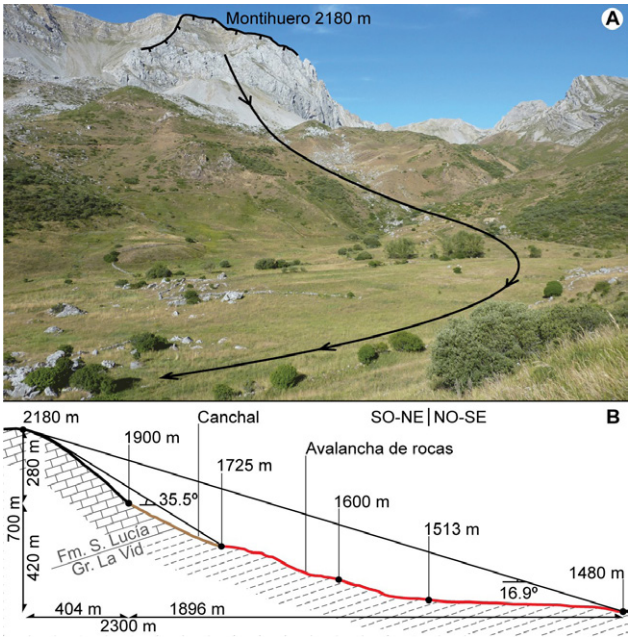


FIGURA 2. A) Panorámica y B) perfil topográfico de la trayectoria propuesta para la avalancha de rocas de la Majada Las Verdes. El perfil topográfico se ha elaborado a partir de la trayectoria representada en la Fig. 1C.

Adicionalmente, en la zona de estudio se observan otros depósitos con características propias de flujos de bloques (**F**, Fig. 1C). Estos materiales están asociados a superficies de deslizamiento poco profundas y relativamente planas que afectan tanto al *till* glaciar como a la avalancha de rocas (A). Interpretamos que estos flujos de bloques son, inicialmente, deslizamientos planares superficiales (*debris slides* en Hungr *et al.*, 2014) que removilizan el *till* glaciar y la avalancha de rocas (A) en las zonas de mayor pendiente y que, posteriormente, progresan como flujos con bajo contenido en agua (*dry debris flows* en Hungr *et al.*, 2014).

La avalancha de rocas (A) y los flujos de bloques (F) se encuentran localmente afectados por otros depósitos clasificados como coladas de tierra (**ef**, Fig. 1C). Estos materiales están asociados a superficies de deslizamiento que afectan a las lutitas de la Fm. Valporquero. En la actualidad, dichas superficies se encuentran fuertemente incididas por canales de arroyada. En este caso y a diferencia de los flujos de bloques, las coladas de tierra están constituidas mayoritariamente por materiales finos. Interpretamos que estas coladas de tierra son flujos que afectan a las lutitas fácilmente deformables de la Fm. Valporquero con menor (*earth flows* en Hungr *et al.*, 2014) o mayor (*mud flows* en Hungr *et al.*, 2014) contenido en agua.

Por último, asociados al fondo de valle se observan otros materiales clasificados como depósitos fluvio-torrenciales (**f**, Fig. 1C), constituidos por sedimentos finos con gravas y cantos polimícticos, desde angulosos a redondeados. Cabe destacar que, en la Majada Las Verdes, embebidos en esta unidad, se encuentran numerosos bloques métricos angulosos de la Fm. Santa Lucía. Interpretamos que estos depósitos están originados por procesos fluvio-torrenciales con participación de otros procesos con más carga sedimentaria (flujos de tierra y *debris flows*) que, a su vez, están fosilizando la avalancha de rocas (A).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El depósito de bloques de la Majada Las Verdes presenta dificultades para ser clasificado genéticamente, sin embargo, sus características litológicas, estructuras sedimentarias, morfología, relaciones geométricas con la topografía y extensión permiten interpretarlo como una avalancha de rocas posterior a la retirada del hielo glaciar.

La secuencia de movimientos de ladera propuesta, desde la extensa y extremadamente rápida avalancha de rocas (**A**), hasta los flujos (**F**) de los depósitos glaciares y gravitacionales previos y las coladas de tierra (**ef**) que afectan a las lutitas del sustrato, indica un cambio cualitativo en la dinámica de laderas de la zona de estudio. Esta secuencia parece correlacionarse con una evolución en tres fases de los procesos paraglaciares en el valle de Torre de Babia. Fase 1) Deglaciación y descompresión de los valles glaciares y aparición de grandes movimientos de ladera. Fase 2) Desmantelamiento de los depósitos glaciares y gravitacionales previos, quizá favorecido por la fusión del permafrost (de forma similar a lo descrito por Tapia Baldis y Trombotto Liaudat, 2019 en los Andes centrales). Fase 3) Procesos gravitacionales condicionados fundamentalmente por el aumento de las lluvias y la incisión fluvial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del Instituto Geológico y Minero de España a este trabajo en el marco de las III Jornadas de Geología del Aula Geológica Robles de Laciana (GeoLaciana 2019).

REFERENCIAS

Church, M. and Ryder, J.M. (1972). Paraglacial Sedimentation: A Consideration of Fluvial Processes Conditioned by Glaciation. *Geol. Soc. Am. Bulletin*, 83. 3059-3072.

Corominas, J. y Ruiz-Carulla, J.R. (2016). La avalancha de rocas de la Coma d'Espos, Pirineo Central, Lleida: un evento prehistórico catastrófico. Actas de la *XIV Reunión Nacional de Geomorfología,* Málaga, 221-228.

Grämiger, L.M., Moore, J.R., Vockenhuber, C., Aaron, J., Hajdas, I. and Ivy-Ochs, S. (2016). Two early Holocene rock avalanches in the Bernese Alps (Rinderhorn, Switzerland). *Geomorphology* 268: 207-221.

Hewitt, K., Clague, J.J. and Orwin, J.F. (2008). Legacies of catastrophic rock slope failures in mountain landscapes. *Earth-science Reviews*, 87: 1-38.

Hungr, O., Corominas, J. and Eberhardt, E. (2005). *Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity*. En: Hungr, O., Fell, R, Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Vancouver Taylor and Francis Group, London, pp. 99-128.

Hungr, O., Leroueil, S. and Picarelli, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11: 167-194.

Jalut, G., Turu i Michels, V., Deboubat, J.J., Otto, T., Ezquerra, J., Fontugne, M., Belet, J.M., Bonnet, L., García de Celis, A., Redondo-Vega, J.M., Vidal-Romaní, J.R. and Santos, L. (2010): Paleoenvironmental studies in NW Iberia (Cantabrian range): vegetation history and synthetic approach of the last deglaciation phases in the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 297. 330-350.

Merino-Tomé, O., Suárez Rodríguez, A. y Alonso Alonso, J.L. (2014). *Mapa Geológico Digital continuo 1:50.000, Zona Cantábrica*. En GEODE: Mapa Geológico Digital continuo de España [28/08/2019]. IGME, Madrid.

Tapia Baldis, C. and Trombotto Liaudat, D. (2019): Rockslides and rock avalanches in the Central Andes of Argentina and their possible association with permafrost degradation. *Permafrost and Periglac Process*. 2019; 30:330-347.

Wyrwoll, K.H. (1977). Causes of rock-slope failure in a cold area: Labrador-Ungava. *Geol. Soc. Am. Rev. in Engineering Geology*, 3: 59-67.

Cronología de formas periglaciares relictas conservadas en la Cordillera Cantábrica central.

Chronology of relict periglacial landforms preserved in the central Cantabrian Mountains.

L. Rodríguez-Rodríguez[1], V. Rinterknecht[2], D. Bourlès[3], G. Aumaître[3], K. Keddadouche[3]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Avd. los Castros 48, 39005 Santander, España. laura.rodriguezr@unican.es

2 Centre National de la Recherche Scientifique (UMR8591), 1 place Aristide Briand, 92195 Meudon, CEDEX, France. vincent.rinterknecht@lgp.cnrs.fr

3 Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, Avenue Louis Philibert BP80, 13545 Aix-en-Provence, CEDEX 04, France. bourles@cerege.fr; aumaitre@cerege.fr; keddadouche@cerege.fr

Palabras clave: glaciar rocoso, periglaciarismo, nucleidos cosmogénicos, Tardiglaciar.

Resumen

La Cordillera Cantábrica central presenta numerosas formas periglaciares relictas entre las que destacan los glaciares de roca (González-Villar et al., 2011). Aunque algunos autores sitúan tentativamente su periodo de actividad entre 25–21 y 14–11 ka (Oliva et al., 2016), apenas existen edades absolutas directamente obtenidas de estos registros (Rodríguez-Rodríguez et al., 2017). Hemos realizado 34 dataciones de superficies de exposición basadas en el nucleido cosmogénico ^{10}Be para determinar el momento de estabilización del pie o cresta frontal más adelantada de seis formas periglaciares. Las formas analizadas cubren un rango altitudinal que oscila entre 1466 y 1975 m s.n.m., asociados a relieves cuyas cotas máximas oscilan entre 1884 m s.n.m. (Pico Corteguerón) y 2141 m s.n.m. (Pico Peña Agujas), y que están desarrolladas en laderas de orientaciones norte y sur. Las edades obtenidas oscilan entre ~16–13 ka, y son consistentes con los datos obtenidos anteriormente en los valles de Monasterio y Porma, ampliando nuestro conocimiento sobre el pasado periglaciar de este entorno de montaña.

Abstract

The central Cantabrian Mountains present numerous relict periglacial landforms, among which rock glaciers outstand (González-Villar et al., 2011). Although some authors have tentatively dated their activity between 25–21 and 14–11 ka (Oliva et al., 2016), there are scarce absolute ages directly obtained from these records (Rodríguez-Rodríguez et al., 2017). Here we present 34 new surface exposure ages based on the in situ-produced cosmogenic nuclide ^{10}Be that evidence the stabilization age of the frontal ridge or toe of six periglacial landforms. The studied landforms cover the altitudinal range 1466-1975 m a.s.l. and are linked to reliefs which maximum elevation ranges from 1884 m a.s.l. (Corteguerón peak) to 2141 m a.s.l. (Peña Agujas peak), developed in both north and south-facing slopes. Resultant ages (ca. 16–13 ka) are consistent with previous analysis carried out in the Monasterio and Porma valleys and provide a deeper understanding on past periglacial activity of this mountain setting.

Referencias

Gómez-Villar, A., González-Gutiérrez, R.B., Redondo-Vega, J.M., Santos-González, J., 2011. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 37 (2), 49-80.

Oliva, M., Serrano, E., Gómez-Ortiz, A., González-Amuchastegui, M.J., Nieuwendam, A., Palacios, D., Pérez-Alberti, A., Pellitero-Ondicol, R., Ruiz-Fernández, J., Valcárcel, M., Vieira, G., Antoniades, D., 2016. *Quaternary Science Reviews* 137, 176-19.

Rodríguez-Rodríguez L, Jiménez-Sánchez M, Domínguez-Cuesta MJ, Rinterknecht V, Pallàs R, Aumaître G, Bourlès DL, Keddadouche K. 2017. *Quaternary Science Reviews* 171, 166-181.

Las superficies de erosión neógenas en la Cordillera Ibérica: más diversas y complejas de lo que pensábamos.

The Neogene planation surfaces of the Iberian Chain: more diverse and complex than believed.

J.L. Simón

Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias. Grupo de Investigación Geotransfer, Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. jsimon@unizar.es

Palabras clave: morfotectónica, Superficie de Erosión Fundamental, evolución del relieve.

Resumen

En la década de 1980 se consolida en la Cordillera Ibérica un modelo de evolución del relieve en el que dos superficies de erosión neógenas representan hitos fundamentales: (i) la *Superficie de Erosión Intramiocena (SEI)*, que al comienzo del Mioceno superior habría sido hundida en el interior de la Cuenca de Teruel para convertirse en la discordancia basal de su relleno sedimentario; (ii) la *Superficie de Erosión Fundamental (SEF)*, que en el Plioceno superior habría arrasado ampliamente los macizos y páramos, enlazando físicamente con el nivel de colmatación de las cuencas intramontañosas (Simón, 1982; Peña *et al.*, 1984). Ahora realizamos una revisión minuciosa de la cartografía de esas superficies, mediante fotointerpretación, imágenes de satélite y modelos digitales de elevaciones (MDE), integrando observaciones de campo y un nuevo marco lito- y cronoestratigráfico de la Cuenca de Teruel (Ezquerro, 2017). Concluimos que el número de superficies de aplanamiento que escalonan el relieve de la cadena es más elevado de lo que anteriormente considerábamos. En particular, la SEF se halla desdoblada en al menos tres subniveles, siendo el segundo de ellos el más extenso en los macizos y plataformas de alturas moderadas, mientras el inferior domina el piedemonte de tránsito a la cuenca del Ebro. El nuevo modelo obliga a recalcular la amplitud de algunas de las estructuras tectónicas recientes que configuran el relieve.

Abstract

In the 1980s, the prevalent model of relief evolution of the Iberian Chain considered two planation surfaces representing key milestones: (i) the Intramiocene Erosion Surface (IES), which at the beginning of the Late Miocene would have been sunk at the Teruel Basin to become its basal unconformity; (ii) the Fundamental Erosion Surface (SEF), which during the Late Pliocene would have largely levelled the massifs and platforms, connecting physically with the filling level of intramountain basins (Simón, 1982; Peña et al., 1984). A revision of maps of these surfaces is carried out, by means of photo-interpretation, satellite images and digital elevation models (DEM), also integrating field observations and a new litho- and chronostratigraphic framework of the Teruel Basin (Ezquerro, 2017). We conclude that the number of planation surfaces in this region is higher than we previously considered. In particular, SEF splits into at least three sublevels, the second of which is the most extensive in the massifs and platforms of moderate height, while the lower one dominates the transition to the Ebro basin. The new model compel us to recalculate the amplitude of some of the recent tectonic structures controlling the relief.

Referencias

Ezquerro, L., 2017. *El sector norte de la cuenca neógena de Teruel: tectónica, clima y sedimentación*. PhD Thesis, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 496 p.

Peña J.L., Gutiérrez M., Ibáñez, M.J., Lozano, M.V., Rodríguez, J., Sánchez-Fabre, M., Simón, J.L., Soriano, M.A., Yetano, L.M. (1984). *Geomorfología de la provincial de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses*, Teruel, 149 pp.

Simón, J.L. (1982). *Compresión y distensión alpinas en la Cordillera Ibérica oriental*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. Publ. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel (1984), 269 pp.

Relación entre la variación del albedo y la temperatura de superficie (LST) en los glaciares negros de la región del Khumbu (Himalaya).

Relationship between albedo and Land Surface Temperature (LST) trend in the Khumbu region debris covered glaciers (Himalaya).

I. Vidaller[1], F. Pérez-Cabello[2], R. Montorio[2], L. Carcavilla[3],

1 Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza. ixeia@ipe.csic.es
2 Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio-IUCA, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. fcabello@unizar.es; montorio@unizar.es
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid. l.carcavilla@igme.es

Palabras clave: Cambio climático, Landsat, reflectancia, Nepal

Resumen

La cordillera del Himalaya tiene uno de los sistemas glaciares más importantes del planeta. Sin embargo, el 14% de las masas de hielo en esta zona están cubiertas por derrubios. Numerosos estudios han analizado sus propiedades, aunque todavía no existen referencias bibliográficas sobre la tendencia de sus propiedades espectrales y su relación con la temperatura de superficie. En este trabajo analizamos las tendencias del albedo y de la temperatura de superficie (LST) utilizando una serie temporal (1989-2018) de imágenes Landsat obtenidas en los meses de noviembre y diciembre. Además, se cuenta con información suplementaria de campo, recogida en una campaña en septiembre de 2019 en los glaciares de los valles del Khumbu e Imja (Himalaya central, Nepal).

Se realiza una clasificación digital utilizando un clasificador no-paramétrico *Random Forest* para analizar los cambios en los tipos de cubierta (agua, hielo, derrubios) y un análisis de tendencias (Mann-Kendal test and Sen's estimator) para caracterizar la evolución del albedo y la temperatura de superficie, así como la relación entre dichas tendencias.

Los glaciares con mayor albedo presentan unos valores medios de entre -3ºC y 0ºC, mientras que en los de menor reflectividad se recogen LST más elevadas (~8ºC). Las tendencias del albedo reflejan una disminución del 0.046% y un incremento en la LST de 0.27ºC, identificándose una relación inversa entre dichas tendencias (r^2=0.78-0.42), además de un incremento del 8% de la superficie cubierta por derrubios y agua

Abstract

The Himalayan Cordillera holds one of the most important glacier systems worldwide, but 14% of these glaciers are debris-covered. Numerous studies have analysed the different properties of these glaciers. However, the evolution of the relationship between spectral properties and surface temperature is yet to be explored. In this work we analyse albedo and Land Surface Temperature (LST) data from a set of Landsat images spanning from 1989 to 2018, always from November and December months, supplemented with data from a field campaign carried out in 2019 in glaciers of the Khumbu and Imja valleys (Central Himalaya, Nepal).

A digital classification using a non-parametric random forest classifier, and a Trends analysis (Mann-Kendall test and Sen's estimator) were performed for characterizing the glacier surfaces and assessing glacier-surface temperature and Albedo trends. Glaciers with higher albedo show average values ranging from -3ºC to 0ºC, while lower-reflectivity glaciers have higher LST (~8ºC).

Albedo and LST trends show a decrease of 0.046% and an increase of 0.27ºC, respectively, as well as an inverse relationship between these trends (r^2=0.78-0.42). An inverse relationship between albedo and surface temperature trends (r2=0.78-0.42) has been identified, together with an increase in the area occupied by supraglacial debris and water bodies (~8 %)

Impacto del cambio climático en el régimen de sequías en España

Impact of climate change on the drought regime in Spain

L.M. Barranco[1] y A. Justel[2]

1 Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX, Pº Bajo Virgen del Puerto 3, 28005 Madrid. luis.m.barranco@cedex.es
2 Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma de Madrid, Campus de Cantoblanco, 28049 Madrid. ana.justel@uam.es

Palabras clave: sequía, cambio climático, escorrentía, estadística, España.

Resumen

Se ha calculado la variación en el régimen de sequías en España hasta finales del siglo XXI mediante un análisis estadístico de series de escorrentía. Éstas fueron obtenidas por el modelo hidrológico SIMPA del CEDEX aplicado a 12 proyecciones climáticas para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 (Barranco *et al.* 2018). Se han utilizado modelos ARIMA para obtener series sintéticas largas (Hyndmann y Khandakar 2008) y posteriormente se han ajustado a una función bivariada basada en la teoría de rachas de sequías (Álvarez-Rodríguez *et al.* 2015, Salas *et al.* 2005). Se pronostica de manera general una reducción de recursos hídricos en España conforme avance el siglo XXI y por lo tanto un aumento de la escasez de agua en España. Por otro lado, también se pronostica un cambio en el régimen de sequías para cada periodo de impacto futuro (2011-40, 2040-70 y 2070-2100) con relación al periodo de control (1961-2000). La mayoría de las proyecciones climáticas muestran un futuro en el que las sequías serían más frecuentes, acusándose ese efecto cuanto más nos alejáramos en el siglo XXI. No obstante, hay proyecciones que no muestran tan clara esa señal, especialmente en cuencas del Levante y Canarias. Se aprecian escasas diferencias entre los resultados aportados por ambos escenarios de emisiones, si bien las sequías tenderían a ser más frecuentes para el escenario RCP8.5, sobre todo para los últimos periodos del siglo XXI.

Abstract

The variation in the drought regime in Spain until the end of the 21st century has been calculated using a statistical analysis of runoff series. These were obtained by the CEDEX SIMPA hydrological model applied to 12 climate projections for the RCP4.5 and RCP8.5 emissions scenarios (Barranco et al. 2018). ARIMA models have been used to obtain long synthetic series (Hyndmann and Khandakar 2008), which have been adjusted to a bivariate function based on the theory of drought runs (Álvarez-Rodríguez et al. 2015, Salas et al. 2005). A reduction in water resources in Spain is generally estimated as the 21st century progresses and therefore an increase in water scarcity in Spain. On the other hand, a change in the drought regime is also assessed for each period of future impact (2011-40, 2040-70 and 2070-2100) in relation to the control period (1961-2000). Most climate projections show a future in which droughts would be more frequent, with that effect being accused the further we move away in the 21st century. However, there are projections that do not show that signal so clearly, especially in basins of the East of the Iberian Peninsula and in the Canary Islands. There are only few differences between the results provided by both emission scenarios, although droughts would tend to be more frequent for the RCP8.5 scenario, especially for the last periods of the 21st century.

Referencias

Álvarez-Rodríguez, J.; Barranco, L.M.; Villaverde, J. y Potenciano de las Heras, Á. (2015). *Monografía del CEDEX M-127*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

Barranco, L.M. *et al.* (2018). *Ingeniería Civil* 191, 34-55.

Hyndman, R.J. y Khandakar, Y. (2008). *Journal of Statistical Software* 26 (3).

Salas, J.D.; Fu, C.J.; Cancilliere, A.; Dustin, D.; Bode, D.; Pineda, A. y Vincent, E. (2005). *Journal of Water Resources Planning and Management,* 131(5): 383-393

Variaciones temporales y espaciales en el intercambio entre aguas subterráneas y superficiales: El humedal de La Charca de Suárez. Granada, España.

Temporal and spatial variability of groundwater-surface water interactions: "La Charca de Suárez" wetland. Granada, Spain.

A.M. Blanco-Coronas[1], M. López-Chicano[1], M.L. Calvache[1], J. Benavente[1] y C. Duque[2]

1 Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. ablanco@ugr.es, mlopezc@ugr.es, calvache@ugr.es, jbenaven@ugr.es
2 Dpt. Geoscience, Aarhus University, Denmark. cduque@geo.au.dk

Palabras clave: lagunas, acuífero costero, acuífero detrítico.

Resumen

La Reserva Natural Concertada de la Charca de Suárez es un humedal localizado al sur de España, a 300 m de la línea de costa mediterránea. La zona de protección comprende un total de 4 lagunas que se encuentran en zonas deprimidas del delta del río Guadalfeo, donde aflora el nivel freático. Este estudio trata de alcanzar una aproximación al conocimiento general del funcionamiento de los humedales a partir de los datos preliminares obtenidos hasta la actualidad, con un mayor énfasis en el entendimiento de la relación entre las lagunas y el acuífero detrítico Motril-Salobreña. Blanco-Coronas, *et al.* (2020) describen la red de puntos de control instalados para el seguimiento limnimétrico, piezométrico, de caudal de entradas y salidas de agua superficial y de intercambio de flujo entre las lagunas y las aguas subterráneas. Además, se obtuvieron datos hidrometeorológicos mediante una estación meteorológica y un tanque de evaporación, y se recogieron muestras de agua para su análisis hidroquímico.Los resultados muestran que una de las lagunas tiene una buena conexión con el agua superficial. En cambio, el resto de las lagunas dependen de mayor manera de una alimentación de agua subterránea. Además, hay diferencias temporales y espaciales significativas en la dinámica dentro de una misma laguna. Dichas diferencias evidencian la importancia de un seguimiento continuo y la comparación de varias técnicas de medida para un mejor entendimiento hidrogeológico del sistema humedal de LCS-acuífero Motril-Salobreña.

Abstract

La Charca de Suárez (LCS) Nature Reserve is a wetland reserve located in the south of Spain, 300 m from the coastline of the Mediterranean Sea. The protected area encloses 4 lagoons that are placed in depressed areas of the old Guadalfeo river mouth, where water table is closed to the surface.The aim of this study is to present a first approach of the hydrodynamic behavior of these system based on preliminary measurements collected at present, with emphasis on understanding the interrelation between lagoons and the Motril-Salobreña aquifer. Blanco-Coronas, et al.(2020) described the monitoring network installed to collect data: wetland water level and groundwater level measurements,surface water inlet and outlet of the wetland system, and exchanged flux between both water bodies (wetland and aquifer). Furthermore, a meteorological station and anevaporation tank obtained thehydrometerological data and water samples were collected for hydrochemical analysis.Results show that one of the wetlands has a good surface water connection but, in contrast, the remaining wetlands depend more on groundwater level. Additionally, there are significant differences in the dynamic within the same wetland. The temporary and spatial variations of the records evidence the importance of continued monitoring and contrasting data with several techniques for a better hydrogeological understanding of the LCS wetland-Motril-Salobreña aquifer system.

Referencias

Blanco-Coronas, A.M., López-Chicano, M., Calvache, M.L., Benavente, J., Duque, C. (2020). Groundwater-Surface Water Interactions in "La Charca de Suárez" Wetlands, Spain. *Water* 12 (2): 344.

Hidrogeología de acuíferos profundos: una investigación necesaria

Hydrogeology of deep aquifers: a required investigation

C. Camuñas[1], J. del Pozo[2], J. Hornero[3], F. Ruíz[4], O. García[5] y M. Mejías[6]

1 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. c.camunas@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. j.delpozo@igme.es
3 Instituto Geológico y Minero de España. Avda. Miguel de Cervantes, 45 - 5º A, 30009, Murcia. j.hornero@igme.es
4 Instituto Geológico y Minero de España. Pza. de España. Torre Norte, 41013, Sevilla. f.ruiz@igme.es
5 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. o.garcia@igme.es
6 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. m.mejias@igme.es

Resumen: Existe un gran desconocimiento del agua subterránea almacenada en los acuíferos profundos ubicados en el territorio peninsular y no hay consenso a la hora de definir qué es un acuífero profundo, ya que puede variar dependiendo de las características hidrogeológicas regionales. Teniendo en cuenta que la mayor parte del agua subterránea continental se encuentra almacenada en los niveles más profundos, de reducida tasa de renovación, se considera necesario mejorar el conocimiento de estos acuíferos y seleccionar los más adecuados para su uso como "reservas estratégicas de agua" bajo unas condiciones específicas y una gestión compatible ambientalmente con su entorno natural. En este trabajo, en primer lugar, con el objetivo de unificar las diferentes singularidades hidrogeológicas territoriales, se ha reformulado la definición de acuífero profundo y, posteriormente, se han identificado un total de 59 acuíferos profundos en el territorio peninsular español, sistematizados según las demarcaciones hidrográficas a la que se adscriben. Por último, se ha hecho una primera selección de 8 acuíferos con el objetivo de llevar a cabo un trabajo más detallado de caracterización hidrogeológica y avanzar en la elaboración de una metodología propia para el estudio de los acuíferos profundos.

Palabras clave: acuífero profundo, agua subterránea, hidrogeología, planificación hidrológica, reserva estratégica.

Abstract: *There is a great lack of knowledge of groundwater stored in the deep Spanish aquifers and there is also no consensus in defining what a deep aquifer is, depending on regional hydrogeological features. Taking into account that, most of the continental groundwater is stored at the deepest levels, with a low renewal rate. It is considered necessary, to improve the knowledge of these aquifers and the definition of those most appropriate as "strategic water reserves" for use, under specific conditions and management appropriate to its nature context. In this work, in order to unify the different territorial considerations, the definition of deep aquifer has been reformulated, and consequently 59 deep aquifers have been identified in the Spanish peninsular zone, organized according to the hydrographic demarcations. Finally, a first selection of 8 aquifers has been made, in which an additional hydrogeological characterization has been done with the aim of improving the elaboration of its own methodology for the study of deep aquifers.*

Keywords: *deep aquifer, groundwater, hydrogeology, strategic reservoir, water management.*

INTRODUCCIÓN

A día de hoy, existe un gran desconocimiento acerca del agua subterránea almacenada en los acuíferos profundos, tanto a escala nacional como internacional. Tradicionalmente se han investigado, estudiado y aprovechado preferentemente aquellos acuíferos que se encuentran más próximos a la superficie, que poseen propiedades hidráulicas más favorables, además de una capacidad de extracción rentable para su explotación. En referencia a los acuíferos de gran espesor, se conoce y aprovecha únicamente los niveles más superficiales, desconociéndose, en la mayoría de los casos, la relación de los horizontes más profundos con los dispuestos superficialmente.

A escala mundial, Gleeson *et al.* (2015) consideran que, de todo el volumen de agua subterránea contenida en los 2 km superficiales de la corteza continental, únicamente el 6% tiene un tiempo de residencia inferior a 50 años, o lo que es lo mismo, el 94% de este volumen se encuentra a profundidades alejadas de la superficie, que implican una tasa de renovación más lenta.

En el contexto de la planificación hidrológica española se regulan los recursos hídricos presentes en el Dominio Público Hidráulico, entre ellos los de origen continental subterráneo (fracción renovable de agua en un acuífero, independiente del tiempo de renovación) y las unidades de gestión hidrológica se definen, principalmente, en base a la vinculación con los ecosistemas naturales y los usos relativos a las principales demandas. De esta manera, y en base al principio de renovación, la planificación hidrológica se concentra en los acuíferos más próximos a la superficie, que tienen una tasa de renovación de recursos elevada, son explotados hasta una profundidad rentable y, mayoritariamente, están conectados con las aguas superficiales.

Por tanto, queda fuera de esta consideración un volumen muy importante de reservas que, bien por encontrarse a profundidades superiores a los estándares de extracción o bien por estar ligados a acuíferos con propiedades hidráulicas menos favorables, no están integrados en los esquemas convencionales de planificación hidrológica de las cuencas hidrográficas.

Ante un escenario de cambio climático global, en el que se prevé una reducción sensible de los recursos hídricos en las próximas décadas, cabe plantearse la necesidad de, al menos, estudiar aquellas reservas menos conocidas y potencialmente utilizables. La mejora del conocimiento de este gran volumen de agua almacenada posibilitaría que, en caso de necesidad, se esté en disposición de considerarlas dentro del proceso de planificación, una vez que se haya avanzado en su conocimiento hidrogeológico y evaluado sus implicaciones ambientales, económicas y legales.

ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre el medio hídrico profundo a nivel mundial, y en España en particular, se han desarrollado a raíz de disciplinas ajenas a la hidrogeología en sentido estricto. Así, el conocimiento que se tiene hoy en día de la geología e hidrogeología profunda, se debe al resultado indirecto obtenido en trabajos relacionados con la investigación de hidrocarburos, con el almacenamiento profundo de CO_2, con la inyección o almacenamiento de residuos peligrosos y con la investigación geotérmica (Alley *et al.*, 2013), ya que el avance en estas disciplinas ha requerido del conocimiento de la hidrogeología profunda para su correcto desarrollo.

En España, en algunos casos, se ha adquirido conocimiento de la existencia de aguas subterráneas almacenadas en profundidad a través, únicamente, de la investigación de zonas puntuales por necesidades de abastecimiento locales. Como estudio genérico de acuíferos profundos cabe mencionar el realizado en el acuífero del El Maestrazgo (Castellón-Valencia), en el que se definió una metodología específica de investigación (Antón *et al.*, 2005). Además, en este trabajo se estableció la premisa de una profundidad de 300 m, como referencia para considerar un acuífero como profundo (profundidad de lámina de agua en acuífero libre, o profundidad del techo de formación permeable en un acuífero confinado).

OBJETIVOS

El objetivo principal del desarrollo de este trabajo es estudiar la posibilidad de considerar determinados acuíferos profundos como reservas estratégicas de agua subterránea, para su aprovechamiento ante situaciones de emergencia o crisis puntuales que determinen la imposibilidad de satisfacer la demanda actual, bajo unas condiciones de explotación ambientalmente compatibles con otros usos y con su entorno natural.

Para la consecución de este ambicioso objetivo, se ha diseñado un plan de desarrollo del trabajo estructurado en varias fases: la primera, de definición conceptual, identificación y recopilación de información existente de determinados acuíferos profundos; la segunda, de análisis detallado de los acuíferos profundos seleccionados, en los que se pretende establecer una metodología de estudio aplicada al conjunto de los acuíferos profundos; y la última fase, en la que se completaría el estudio detallado de un acuífero profundo "piloto", para conocer sus propiedades hidráulicas desde la perspectiva de la hidrogeología profunda y los factores determinantes para su explotación.

METODOLOGÍA

En la primera fase de este trabajo se ha unificado el concepto de acuífero profundo, puesto que se trata de un término ambiguo y de difícil definición, con unas connotaciones hidrogeológicas diferentes en función de la zona considerada. En función de la nueva definición, se ha elaborado un inventario de acuíferos profundos de la España peninsular, agrupados según la demarcación hidrográfica a la que mayoritariamente pertenecen. Puesto que la planificación hidrológica se articula a partir de las demarcaciones en los respectivos planes hidrológicos de cuenca, se ha mantenido esta unidad de referencia para la identificación y definición de los acuíferos profundos.

A cada acuífero profundo se le ha asignado un código identificativo propio, unas coordenadas puntuales de localización y un área poligonal de delimitación (orientativo en superficie, aunque irreal en profundidad). Se ha realizado un trabajo de recopilación de la información existente de cada acuífero, procedente de estudios hidrogeológicos específicos o bien de estudios correspondientes a otras disciplinas. Esta información incluye la de tipo gráfica, cualitativa y cuantitativa, geofísica, estructural, etc.

La información generada se ha implementado en un Sistema de Información Geográfica GIS para su análisis espacial. Otro de los pilares del proyecto es la creación de una base de datos de acuíferos profundos, en la que se incluye toda la información conocida en una ficha específica para cada acuífero, así como las referencias a la fuente de la información original. Esta base de datos es modificable y ampliable, a medida que se avance en el conocimiento de los acuíferos profundos identificados, así como en los acuíferos que se incorporen en un futuro.

ÁMBITO DE ESTUDIO

El área de estudio en el que se ha centrado este trabajo corresponde al territorio de la España peninsular. Desde el punto de vista geológico tiene características muy variadas, pudiéndose diferenciar 6 grandes unidades geológicas de rango mayor (Vera, 2004): Macizo Ibérico, Cordillera Pirenaica, Cordillera Bética, Cordillera Ibérica y Costero-Catalana, Cuencas Cenozoicas y la estructura Alpina de Antepaís Ibérico. La estratigrafía y estructura de cada

unidad presenta características propias, por lo que los acuíferos profundos a definir en cada una de ellas tendrán una tipología concreta y diferenciada, con respecto a los definidos en las otras zonas (Figura 1).

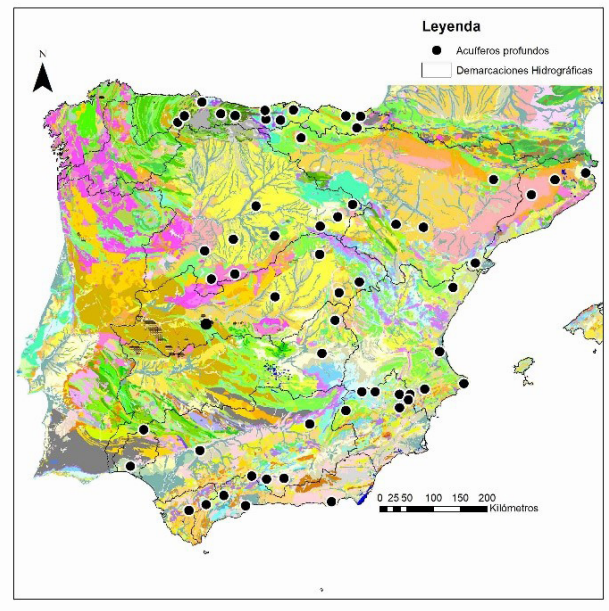


FIGURA 1. Localización de los acuíferos profundos inventariados en la Península Ibérica sobre base geológica (modificado de ITGE, 1994).

RESULTADOS DEL ESTUDIO

Entre los resultados más destacables se encuentra el nuevo planteamiento acerca de la definición de acuífero profundo. Esta visión dota de homogeneidad a su definición, por encima de la heterogeneidad propia de los condicionantes geológicos, estructurales, socio-económicos, o de cualquier otro tipo. Se trata, por tanto, de una definición más integradora que posibilita la labor de realizar una recopilación más amplia de acuíferos profundos a nivel regional.

Así, se considera "acuífero profundo" en este trabajo, a aquella formación o conjunto litológico con capacidad de almacenar y transmitir agua en condiciones de explotación, que esté situada parcial o totalmente a una profundidad superior a la considerada en la planificación hidrológica actual, tomando como valor de referencia 300 m de profundidad del nivel freático o de profundidad del muro de la formación confinante. Esta profundidad normalmente viene marcada por los estándares de explotación locales y, regionalmente, es diferente en función de la disponibilidad y suficiencia de los recursos hídricos en superficie y de los subterráneos más próximos a esta. En la Figura 2, por un lado, se puede observar la consideración de acuífero profundo en relación con el contexto geológico, y, por otro lado, con la disponibilidad de agua subterránea en superficie conectada con el ciclo hidrológico y teniendo en cuenta la planificación hidrológica.

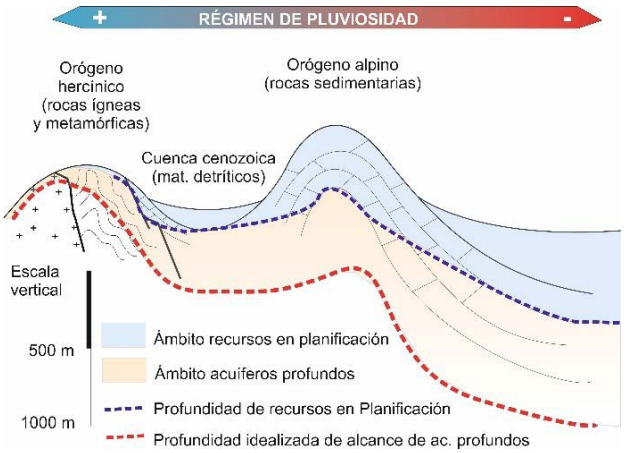


FIGURA 2. Esquema idealizado de la distribución de la profundidad de los recursos considerados en la planificación hidrológica y de las reservas incluidas en acuíferos profundos para la Península Ibérica.

En total se han identificado 59 acuíferos profundos, distribuidos en función de la demarcación dominante (Tabla I). La finalidad de este inventario es exclusivamente identificativa, sin entrar a valorar si sus recursos son renovables o no, ni la viabilidad de la explotación por la calidad de agua o las características hidráulicas, ni las afecciones que pudieran causar su posible aprovechamiento, etc. Todos estos aspectos, entre otros, deben ser analizados independientemente en el proceso de caracterización de cada acuífero, en la medida que se posea información suficiente para ello, pero no se utilizan para invalidar potenciales acuíferos profundos.

Demarcación Hidrográfica		Nº Acuíferos
ES010	Miño-Sil	-
ES014	Galicia Costa	-
ES017	Cantábrico Oriental	3
ES018	Cantábrico Occidental	9
ES020	Duero	9
ES030	Tajo	5
ES040	Guadiana	3
ES050	Guadalquivir	6
ES060	Cuencas Mediterráneas Andaluzas	3
ES063	Guadalete y Barbate	2
ES064	Tinto, Odiel y Piedras	1
ES070	Segura	6
ES080	Júcar	4
ES091	Ebro	5
ES100	Distrito de cuenca fluvial de Cataluña	3
	TOTAL	59

TABLA I. Relación del número de acuíferos profundos identificados en las demarcaciones hidrográficas de la España peninsular.

Un aspecto fundamental a resaltar es el gran desconocimiento geológico e hidrogeológico que se tiene de los niveles más profundos, salvo casos excepcionales. En una primera aproximación, se ha procurado completar, a partir de la información recopilada, la caracterización que se muestra en la Tabla II. Todos los parámetros, datos, mapas y perfiles generados se han ordenado y sintetizado en una base de datos, que además permite la generación de fichas específicas para cada acuífero profundo identificado (Figura 3).



FIGURA 3. Vista de las páginas de una ficha de caracterización de acuíferos profundos resultado de este trabajo.

Por último, se han seleccionado 8 acuíferos profundos en los que, bien por tener un mejor conocimiento de los mismos, o bien por el potencial interés que suscita la mejora del conocimiento del reservorio profundo en una zona concreta, se deberá realizar una caracterización más completa. En la selección también se ha procurado incluir acuíferos de tipología y localizaciones diversas, para tener una representación lo más amplia posible. Los acuíferos profundos seleccionados serán la base para el desarrollo de la metodología de estudio, a realizar en las siguientes fases de trabajo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La perspectiva de cambio global para las próximas décadas prevé una reducción significativa de los recursos subterráneos a nivel mundial, especialmente sensible en el área mediterránea, lo cual pone de manifiesto la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro de agua. Estos nuevos recursos deben asegurar en un futuro las crecientes demandas, sobre todo las relacionadas con el abastecimiento a la población.

Entre las opciones a considerar debe tenerse en cuenta el agua existente en los acuíferos profundos, en los que se almacena el mayor porcentaje del volumen de aguas subterráneas continentales. Pese a que, tradicionalmente, estas aguas no han formado parte del proceso de planificación hidrológica (por su baja renovación, su dificultad de estudio y explotación, por su calidad química deficiente, etc.), es importante su investigación para la mejora del conocimiento de los acuíferos profundos (funcionamiento hidrogeológico, modelo conceptual, calidad, cantidad, relación con las superficiales, etc.), en el caso de necesidad de explotación o aprovechamiento.

El objetivo final es la definición de reservas estratégicas de agua, utilizables de forma puntual ante la ocurrencia de un escenario concreto, gestionadas y explotadas a partir de un conocimiento hidrogeológico suficiente y compatible ambientalmente con su entorno natural. En este sentido, se ha dado el primer paso de identificación y caracterización de 59 acuíferos profundos en el territorio peninsular español, de los cuales se han seleccionado un total de 8 acuíferos para la caracterización y desarrollo de una metodología específica de estudio como posibles reservas estratégicas de agua subterránea.

	Bloques de información	Aspecto a determinar
CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFERO PROFUNDO	Localización y caracterización espacial	Demarcación/es Hidrográfica/s
		Comunidad/es autónoma/s
		Provincia/s
		MASb
		Área poligonal (km^2)
		Coordenadas X e Y (UTM ETRS 89) del punto representativo
		Mapa de localización (*)
	Caracterización geológica	Profundidad máxima y mínima
		Potencia media
		Formación/es geológica/s
		Litología/s
		Edad o periodo cronológica
		Planta y perfil geológicos (*)
	Caracterización hidrogeológica	Régimen de acuífero
		Tipo de porosidad
		Parámetros hidráulicos
		Piezometría
		Conexión con la superficie/ salidas
		Conexión lateral con otros acuíferos
		Modelo hidrogeológico conceptual (*)
		Estimación de reservas
		Hidrogeoquímica
	Otros datos de interés	Evaluación del interés del acuífero profundo
		de interés
		Identificación de factores que pueden afectar negativamente
		Referencias bibliográficas de información

TABLA II. Listado de parámetros recopilados para la caracterización inicial de cada uno de los acuíferos profundos.
(*) Nueva información gráfica generada en este proyecto.

REFERENCIAS

Alley, W.M., Bair E.S. and Wireman, M. (2013): "Deep" groundwater. *Groundwater*: 51-5: 653-654.

Antón, C., Araguás, L., Ballesteros, B., Barnolas, A., Gil, I., Gumiel, J.C., López Gutiérrez, J.C., Mejías, M. y Plata, J.L. (2005): Investigación sobre el comportamiento hidrogeológico de formaciones acuíferas profundas. Aplicación a la Unidad Hidrogeológica 08.07 (El Maestrazgo). Desarrollo metodológico. IGME. Centro de Documentación. Madrid, 312 p.

Gleeson, T., Befus, K.M., Jasechko, S., Luijendijk, E. and Bayani Cardenas, M. (2015): The global volume and distribution of the modern groundwater. *Nature geoscience*. Published on line DOI: 10.1038/NGEO2590, 7 p.

ITGE (1994): *Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000*.

Vera, J.A. (editor) (2004): *Geología de España. SGE-IGME*, Madrid, 890 p.

Respuesta hidrológica ante la transformación en riego. Barranco de Lerma.

Hydrological evolution of the Lerma Gully due to irrigation implementation

J. Causapé[1], D. Merchán[2], J.M. Orellana[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España—IGME, C/ Manuel Lasala 44 9B, 50006 Zaragoza, España.j.causape@igme.es; jm.orellana@igme.es

2 Universidad Pública de Navarra—UPNA, Campus Arrosadía s/n, 31006 Pamplona, España.d.merchan@unavarra.es

Resumen: El regadío es beneficioso en muchos aspectos, pero también afecta al comportamiento hidrológico de los sistemas hídricos receptores. El estudio pretende cuantificar desde 2003 las afecciones de la trasformación en riego sobre el caudal, salinidad y concentración de nitratos del barranco de Lerma. La transformación en riego aumentó el caudal del barranco de Lerma (3,8 L/s·año) disminuyendo sensiblemente su alta salinidad natural (-0,29 dS/m·año en fase transformación y 0,07 dS/m·año después de la completa puesta en riego). La concentración de nitrato también se incrementó (+7,8 mg/L·año), no obstante, la tendencia creciente con la consolidación del regadío (+4,7 mg/L·año)se logró invertir (-4,5 mg/L·año) gracias a la concienciación de los agricultores en optimizar sus prácticas de fertilización.

Palabras clave: Regadío, Retornos de Riego, Caudal, Salinidad, Nitrato.

Abstract: *Irrigation is beneficial in many ways, but it has also consequences on the hydrological behavior in water bodies receiving return flows. This study aims to quantify the effects of transformation in irrigated land over discharge, salinity and nitrate concentration in the Lerma Basin since 2003. The implementation of irrigation increased discharge in the Lerma Gully (3.8 L* s^{-1} *year*$^{-1}$*), and slightly decreased its high natural salinity (-0.29 dS* m^{-1} *year*$^{-1}$ *before the implementation and -0.07 dS* m^{-1}*year*$^{-1}$ *after the implementation). Nitrate concentration also increased (+7.8 mg* L^{-1} *year*$^{-1}$*). However, the increasing trend observed after the irrigated system become established (+4.7 mg* L^{-1} *year*$^{-1}$*) has reversed (-4.5 mg* L^{-1} *year*$^{-1}$*) thanks to the farmers' consciousness-raising on the need of optimizing fertilization practices.*

Keywords: *Irrigation Land, Irrigation Return Flows, Discharge, Salinity, Nitrate.*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El regadío conlleva un aumento significativo de productividad agraria y mejoras sociales para zonas rurales en el que la agricultura prácticamente se convierte en el único motor económico. No obstante, la transformación en riego también conlleva consecuencias sobre el medioambiente, y en particular, sobre los sistemas hídricos receptores de los retornos de riego. El presente trabajo pretende analizar los cambios hidrológicos que puede sufrir un curso de agua por la transformación en riego del territorio que drena.

ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El estudio analiza la evolución durante los últimos 16 años hidrológicos (2004-2019) del caudal y calidad de las aguas (salinidad y nitrato) del barranco de Lerma (Bardenas II, Zaragoza), cuya cuenca incluye 352 ha regables (48% de la cuenca). Las obras de transformación coincidieron con el comienzo del estudio (2003), si bien, la puesta en riego se inició progresivamente desde 2006 (36% en riego) hasta 2008 (90% en riego), cuando prácticamente todo el área regable estuvo bajo riego. En una zona donde la precipitación media anual (382 mm/año; Merchán, 2015) es menos de un tercio de la evapotranspiración potencial (1307 mm/año), se hace imprescindible el riego para el desarrollo de cultivos de verano (maíz, girasol, hortalizas, etc.) y para el aumento de la producción de cereal de invierno (trigo, cebada, etc.).

El regadío presurizado implantado se localiza principalmente en los suelos desarrollados sobre glacis cuaternarios (34% del área, Calcixerollic Xerochrepts; Soil Survey Staff, 2014) de poca pendiente (<3%) y baja salinidad (CE_e< 4 dS/m). El 66% restante son suelos desarrollados sobre el valle terciario, encajado por el barranco (Typic Xerofluvent) con pendientes escarpadas (>10%) y alta salinidad (4 dS/m < CE_e < 8 dS/m).

La medición de caudal (Q), conductividad eléctrica a 25ºC (CE) y concentración de nitrato (NO_3^-) se realizó desde octubre de 2003 a septiembre de 2019. Hasta septiembre de 2005 se efectuaron muestreos manuales con una frecuencia mensual. A partir de octubre de 2005 se instaló una estación de aforos equipada con un limnígrafo electrónico y un tomamuestras automático de agua que permitieron obtener información diaria. En julio de 2011 la estación de aforos fue equipada con sensores de medición en continuo y

telemedida con una frecuencia diezminutal. Los datos han sido analizados a partir de las medianas mensuales minimizando así la influencia de la variabilidad de las lluvias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anteriormente a la transformación en riego el barranco de Lerma era un cauce intermitente que sólo generaba escorrentía en época de lluvias y que estaba habitualmente seco durante los meses de verano. La puesta en riego lo ha convertido en un cauce perenne, cuantificándose el aumento del caudal desde el inicio del estudio (octubre 2003) hasta la total transformación en riego (marzo de 2009) en +3,8 L/s·año (Fig. 1). La consolidación del regadío ha mantenido prácticamente estable el caudal del barranco dentro de la variabilidad estacional del mismo con un pequeño aumento de caudal de +0,1 L/s·año durante los últimos 10 años.

La salinidad, determinada indirectamente por la CE sufrió un brusco descenso con la puesta en riego debido a que la salinidad natural de las aguas del barranco (con registros de hasta 8 dS/m) fue diluida con los retornos de agua de riego de baja mineralización procedente del embalse de Yesa (Río Aragón-Pirineos; 0,35 dS/m). Así pues, la CE hasta la completa transformación en riego descendió a un ritmo de -0,29 dS/m·año. Desde entonces, el descenso fue muy inferior (-0,07 dS/m·año), ocasionado por el progresivo lavado de sales inducido con el riego y su disminución en el suelo.

En cuanto al nitrato, en condiciones de secano ya se llegaron a registrar concentraciones del mismo orden (80 mg/L) a las registradas en muchos periodos bajo riego. El cese de la actividad agraria durante los años de transformación (2003-2005), unido a las lluvias de 2004, lavó el nitrato remanente en el suelo, presentando concentraciones en el barranco por debajo de los 20 mg/L en 2005. A partir de entonces, con la entrada del riego, se registró un incremento que hasta la puesta en riego total fue de +7,8 mg/L·año. La consolidación del regadío, aunque a un ritmo menor, continuó incrementando la concentración (+4,7 mg/L·año). A partir de 2015, con el desarrollo del proyecto AgroSOS, desde el que se intentó concienciar a los agricultores para optimizar sus prácticas de riego y fertilización, la tendencia se invirtió a un ritmo de -4,5 mg/L·año.

CONCLUSIONES

La transformación en riego aumentó el caudal del barranco de Lerma disminuyendo sensiblemente su alta salinidad natural. La concentración de nitrato también se incrementó, no obstante, la tendencia creciente con la consolidación del regadío se ha logrado invertir gracias a la concienciación de los agricultores en la necesidad de optimizar sus prácticas de fertilización.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación recibida por el proyecto AgroSOS (CGL2015-66016-R)Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER de la UE.

Asimismo, a la beca predoctoral otorgada por el Gobierno de Aragón a J. M. Orellana (BOA 20/07/17), coautor del estudio.

REFERENCIAS

Merchán (2015). *Hydrological Assessment of a Newly Implemented Irrigated Area in Spain: Salinization and Nitrate Pollution from Irrigation Retourn Flow.* Tesis Doctoral UNIZAR. 183 pp.

Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12th edition). USA Department of Agriculture. 359 pp.

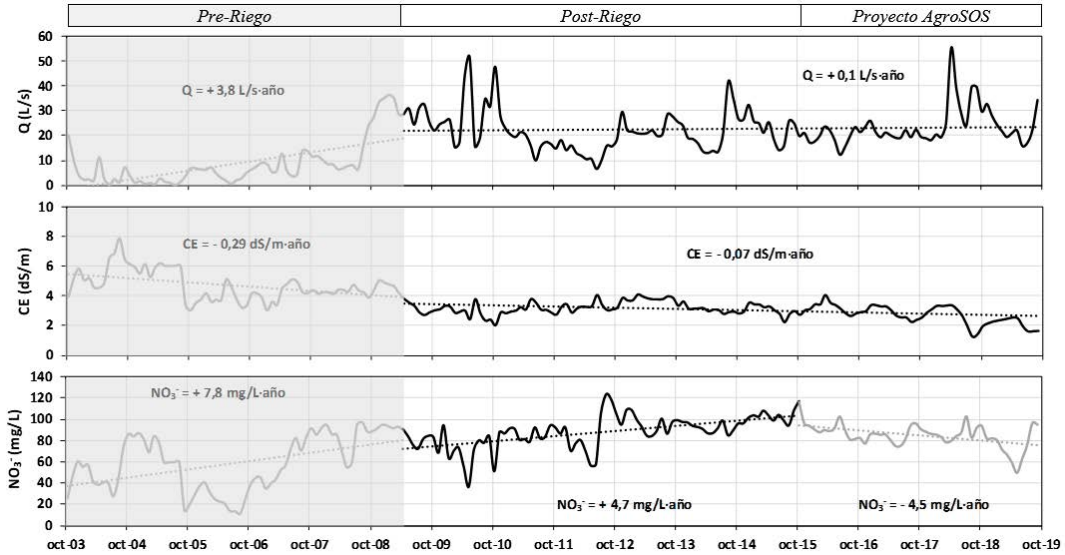


FIGURA 1. Evolución de las medianas mensuales de Caudal (Q), Conductividad Eléctrica (CE) y Concentración de Nitrato (NO_3-) en el barranco de Lerma durante el periodo pre-riego (octubre 2003 – marzo 2009) y post-riego (abril 2009 – septiembre 2019) con diferenciación en el caso del nitrato del periodo del Proyecto AgroSOS (octubre 2015 – septiembre 2019)

Detection and classification of snowmelt episodes in the Aragón River from the analysis of seismic data.

Detección y clasificación de episodios de deshielo en el rio Aragón mediante el análisis de datos sísmicos.

J. Díaz [1], P. S. Sánchez-Pastor[1,2] and M. Ruiz[1]

1 ICTJA-CSIC, c. Solé Sabarís sn, 08028 Barcelona. (jdiaz@ictja.csic.es, mruiz@ictja.csic.es)
2 Current address: Swiss Seismological Service, ETH, Zurich, Switzerland. (pilar.sanchez@sed.ethz.ch)

Abstract: *The CANF seismic broad-band station, part of the Geodyn facility in the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC), is located in an underground site in the Central Pyrenees, close to the Aragón River channel, and hence offers a good opportunity to study the long-term performance of the seismic monitoring of hydrological events. We focus here on the identification of seismic signals generated by variations in river discharge due to snow melting over six years (2011-2016). During snowmelt episodes, the temporal variations of the discharge in the drainage river result in characteristic seismic signals that can be discriminated from other sources of background vibrations. We have developed a methodology based on the analysis of the seismic spectra in order to identify days with active thaw, hence allowing to monitor the time occurrence and intensity of the snowmelting stages. A hierarchical classification of the seismic spectra has allowed us to group active thaw days according to the intensity of the discharge generated by the melting process, identifying up to four different types of episodes. These results prove that seismic data can provide a good tool to monitor snowmelt on a long-term scale, hence contributing to climate change studies.*

Keywords: *Snowmelt, Seismic data, Hierarchical classification, Aragón River*

Resumen: La estación sísmica CANF, integrada en el proyecto Geodyn del Laboratorio Subterráneo Canfranc (LSC), se localiza en la zona central de los Pirineos, en un emplazamiento subterráneo cercano al lecho del río Aragón, por lo que ofrece la oportunidad de verificar la viabilidad del uso de datos sísmicos para monitorizar eventos hidrológicos. En esta contribución nos centramos en la identificación de señales sísmicas generadas por variaciones en la descarga del río debidas al deshielo, a lo largo de un período de seis años (2011-2016). Durante los episodios de deshielo, las variaciones en la descarga en el río de drenaje generan señales sísmicas con características específicas que permiten su discriminación de otras fuentes de vibraciones. Hemos desarrollado una metodología basada en la clasificación jerárquica de los espectros sísmicos para identificar los días en los que se produce el deshielo y agruparlos en función de la intensidad de la descarga, identificando hasta cuatro tipos diferentes de episodios. Estos resultados demuestran que los datos sísmicos pueden proporcionar una buena herramienta para monitorizar los procesos de deshielo a largo plazo, contribuyendo así a los estudios sobre el cambio climático.

Palabras clave: Deshielo, Datos sísmico, Clasificación jerárquica, Río Aragón.

INTRODUCTION

Since the beginning of the seismic instrumental era it has been known that seismometers are able to record natural and human-made phenomena apart from earthquakes, including earth tides, oceanic waves surf, atmospheric disturbances or human activity. In the last decade the analysis of the ground motion recorded in the time periods without earthquake-generated wave arrivals, commonly referred to as "ambient seismic noise", has become a relevant topic, as these vibrations are now widely used in tomographic studies of the subsurface. The study of these signals has proven to be useful to provide new insights into a wide range of physical phenomena occurring in the atmosphere, the cryosphere and the hydrosphere, an approach already known as "Environmental seismology" (Larose et al., 2015). Regarding the hydrosphere, seismic noise has been used, among other objectives, to monitor the oceanic wave height at global-scale, to document changes in the depth of the water table and to investigate the different processes occurring at rivers (e.g. Gobi et al., 1993; Burtin et al., 2008).

The permanent CANF seismic broad-band station (https://doi.org/10.7914/SN/LC) provides a good opportunity to monitor at long term the Aragón River, an example of Alpine-style mountain river. This station is part of the Geodyn facility at the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC, https://lsc-canfranc.es/en) and is located in a tunnel at about 400 m of the Aragón River channel, one of the left-handed tributaries of the Ebro River. The Aragón River rises at 2050 m of elevation, 7 km North of our observation point and gives waters to the Ebro River 195 km away from its origin. The A271 gauge station, managed by the Ebro River Basin Authority (Confederación Hidrológica del Ebro, CHE) is located 5 km downstream of the seismic station, providing river discharge measurements that can

be compared with the seismic data. Along the one kilometer long sector extending north and southward of the recording point, the channel is steep, with a mean slope of 4-8 % and small cascading reaches. The channel close to the recording site alternates between sectors deeply entrenched in Paleozoic rocks, where its width is less than 2 m, and open sectors where its width reaches 8-10 m.

A previous contribution has documented that the origin of the seismic energy recorded at CANF in the 2-8 Hz frequency range is directly related to the discharge variations in the Aragón River (Díaz et al, 2014). We focus here on the seismic signals recorded during snowmelt stages, showing that the number of snowmelt episodes, their duration, the beginning and end of the snowmelt season and the different types of episodes according to the intensity of melt can be estimated from the characteristics of the associated seismic records using an innovative methodology based on the use of hierarchical clustering techniques. The data availability covers six snow seasons allows us to compare their variations over a long term scale, hence providing an interesting database for further hydrological studies. Diaz et al., (2019) have recently presented a more detailed study on this subject.

IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF SNOWMELT EPISODES

Although the discharge increases in the Aragón River generated by the snowmelt process results in amplitude variation in the seismic records, those changes are rather subtle and sometimes difficult to identify, and are better identified in the corresponding spectrograms. Spectrograms provide richer information than the time series, as the signal is decomposed to get the time evolution of its frequency content. A color palette is used to show the energy distribution, with yellow and reddish colors representing maximum energies (Figure 1).

The inspection of the seismic records associated to snowmelt episodes show that they all share some features, as a 24-hours periodicity and a V-shaped variation of the dominant frequency. These characteristics can be used to discriminate between discharge increases related to snowmelt episodes and those due to rainfall based only in the inspection of the seismic data.

We have computed the daily spectrograms and used them to identify days with active snow melting processes using an objective criterion. First, we have calculated the

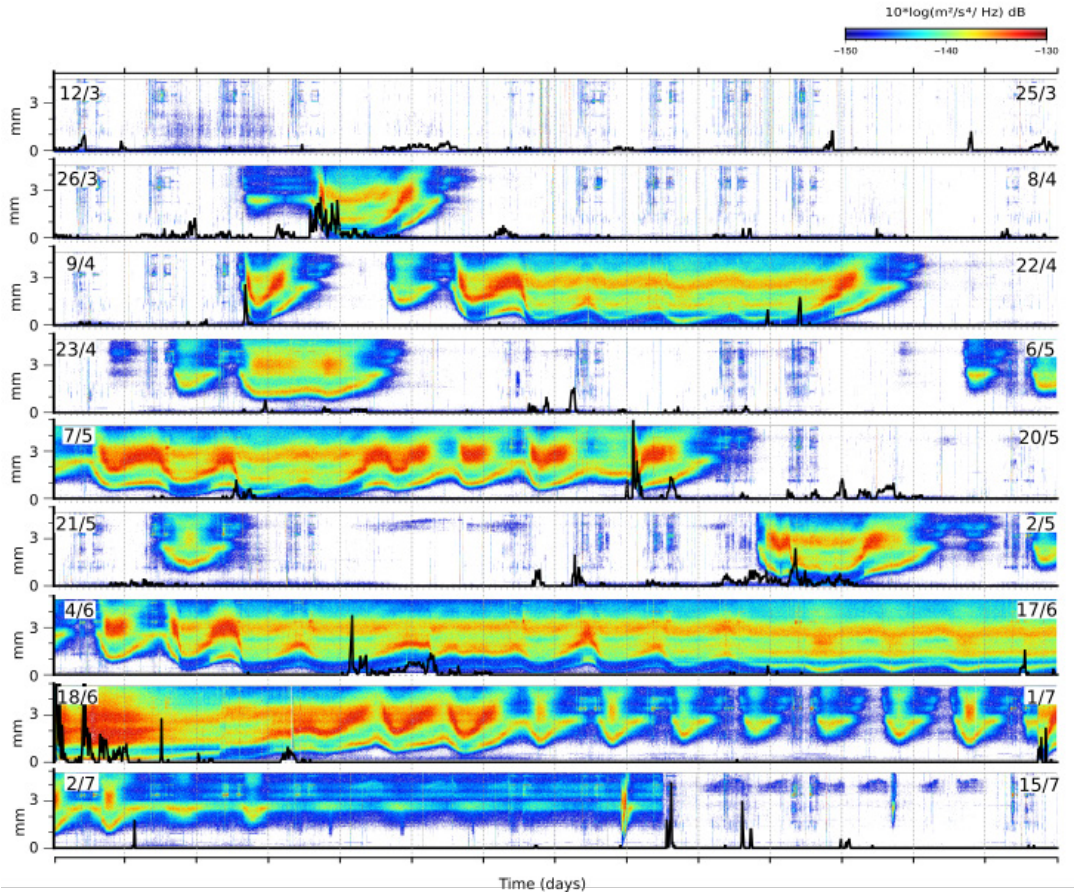


FIGURE 1. Daily spectrograms during the 2013 snowmelt season (12/3 – 18/7; Julian days 71-196). Frequency range: 1.5 - 6.5 Hz. Color scale represents the power spectral density (PSD) expressed in dB relative to 1 (m2/s4)/Hz, with the reddish colors corresponding to large energy values. Each row shows 14 days, with dates indicated by labels. Black lines show the rainfall accumulated in 15 minutes as measured at the gauge station.

cross-correlation coefficients for each pair of days for the six available snowmelt seasons. The spectrograms corresponding to days with river discharges resulting from snowmelt share similar spectral pattern and have thus high correlation values. On the contrary, signals related to rain episodes tend to have different duration, initial time and intensity, resulting in low correlation coefficients of their spectrograms.

The inspection of the spectrograms related to snowmelt suggests that they can be grouped in different families, each with distinct features. In order to classify the events in an objective and reproducible way, we have used the hierarchical classification tools provided by the Scipy Python library. Hierarchical clustering is a well-established technique that is used in many scientific domains and is often related to unsupervised machine learning procedures. Its objective is to organize a set of input points into a binary tree that groups them accordingly to their similarity. In our case, the input points are the correlation coefficients between pairs of daily spectrograms. The hierarchical clustering groups those correlation coefficients accordingly to their similarity, measured using the Ward algorithm. The final dendrogram (Figure 2) allows to identify the different clusters obtained from the spectrograms classification, hence grouping the days with similar snowmelt patterns.

For events in classes A1 and A2 the seismic energy increases sharply around 14:00 GMT, remains at relatively high levels for about 6-16 hours, and then vanishes smoothly to finally increase again. The signals recorded during each cycle are therefore clearly separated by periods without relevant seismic energy. Classes B1 and B2 are characterized by higher and sustained levels of seismic signal during the whole day. Events in the B classes have a V-shaped variation similar to those at class A2, but they show higher energy levels and covering a lower frequency range. The cycle starts between noon and 14:00 with a dominant frequency around 3.5 Hz, it reaches a frequency minimum close to 2 Hz 6-8 hours later and increases again to 4 Hz in the early morning.

From the results of this study, it can be concluded that the number of days with snowmelt activity is highly variable, ranging between 10 days during the driest season (2011) and 65 days for the 2013 season (Figure 3). The results within 2014 and 2016 suggest that a value around 35 days distributed in 2-3 major episodes is representative of this location. Typically, the snowmelt is concentrated between April and May, although during 2013 the seismic signature associated with snowmelt reaches the beginning of July.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Seismic data recorded in the LSC has allowed monitoring the time occurrence and properties of the snowmelt stages for different hydrological seasons. During snowmelt episodes, the seismic data in the 2-8 Hz frequency band reproduces the periodicity in the discharge variations of the draining river, with larger discharges during the central hours of the day and a gradual decrease in the melt stream during the night hours.

Snowmelt in the Aragon River valley can typically be observed during 30-40 days distributed in 2-3 main episodes between March and June. Significant differences appear between the six snow seasons analyzed in this study, including examples of dry seasons (2011 and 2012) and of seasons with large snowmelt accumulation (2013), with snowmelting still active in early July.

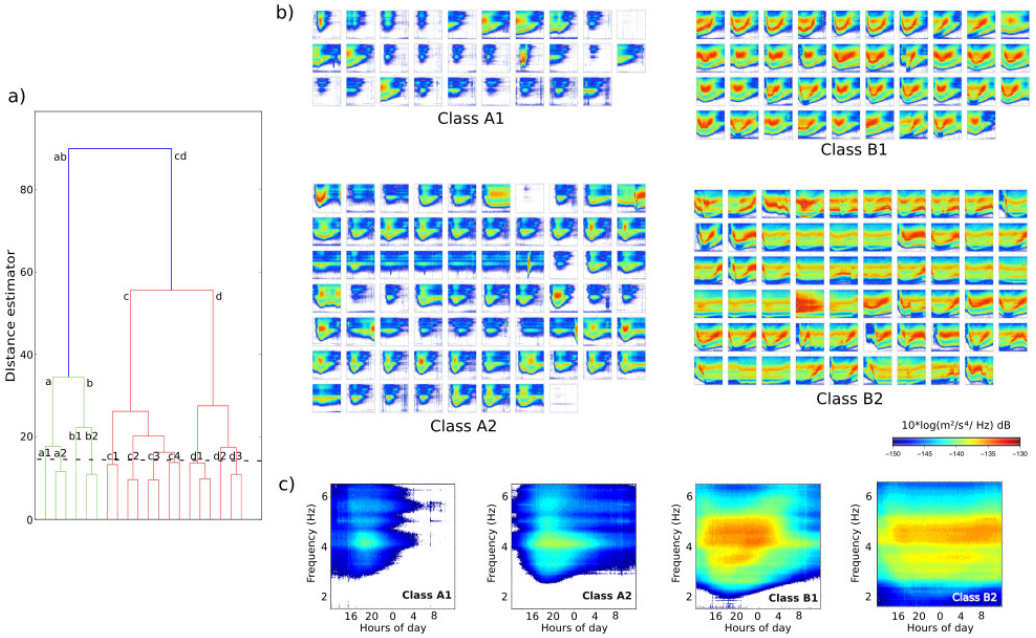


FIGURE 2. a) Dendrogram of the hierarchical classification according to the cross-correlation distance. b) Daily spectrograms included in each of the four classes related to snowmelt activity. c) Spectrograms built by summation of the individual spectrograms of each class.

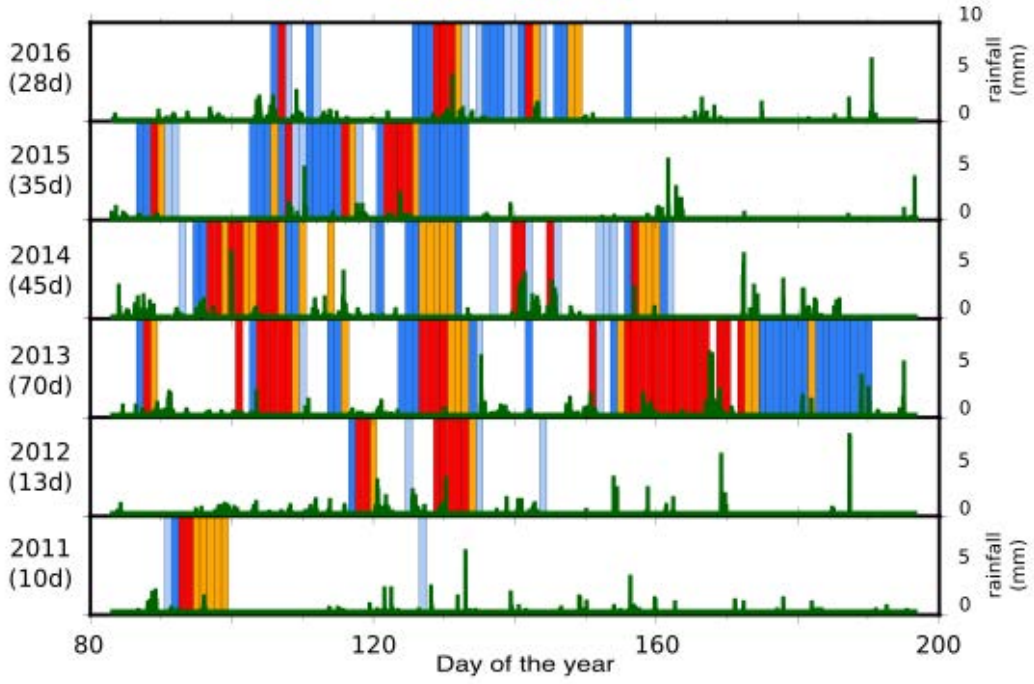


FIGURE 3. Active snowmelt periods for each investigated year. Light and dark blue bars are for A1 and A2 events, while orange and red bars show B1 and B2 ones. Green bars are for 10 or 15 minutes rainfall measurements at the A271 gauge station.

The variations in the dominant frequency during snowmelt episodes observed in the spectrograms are related to the relative contribution of water turbulence and sediment transport as sources of the seismic signals. Our results suggest that during relatively large and sustained floods, the dominant source of seismic signal is water turbulence, while for lower discharges the frequency variations are due to the different size of the bedload particles mobilized during the different phases of the discharge. However, further theoretical work is needed to fully explain the observations.

Although all the snowmelt episodes share common features, we have identified different classes of events using a methodology based in the use of hierarchical classification algorithms. Our interpretation is that the different snowmelt styles identified are related to changes in the intensity and pace of the snowmelt processes, which in turn depend on variations in the meteorological and hydrological conditions (temperature, humidity, wind speed, insulation, snow compaction, etc.). Note that these variations are difficult to infer from the available gauge station data, as this station is located downstream of a small regulatory pond which can mask the tiny discharge variations associated with snowmelt. Therefore, we consider that seismic data provide a valuable tool to study the long term variations of the snowmelt processes in high altitude mountain settings and can be considered as a proxy for the hydrological factors affecting snowmelt.

ACKNOWLEDGMENTS

This is a contribution of the MISTERIOS project [CGL2013-48601-C2-1-R] funded by the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness. Additional support from the Generalitat de Catalunya grant 2017SGR1022 and from the SANIMS project (RTI2018-095594-B-I00), funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities.

REFERENCES

Burtin A, Bollinger, L, Vergne, J, Cattin, R, and Nábělek, JL. (2008): Spectral analysis of seismic noise induced by rivers: A new tool to monitor spatiotemporal changes in stream hydrodynamics. *J Geophys Res Solid Earth*., 113, 1–14, doi:10.1029/2007JB005034

Díaz, J., Ruíz, M., Crescentini, L., Amoruso, A., and Gallart, J. (2014): Seismic monitoring of an Alpine mountain river. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 3276–3289, doi:10.1002/2014JB010955.

Díaz, J., Sánchez-Pastor, P. y Ruiz, M. (2019): Hierarchical classification of snowmelt episodes in the Pyrenees using seismic data. *PlosOne*, 14(10), doi: 10.1371/journal.pone.0223644

Govi, M., Maraga, F. and Moia, F. (1993): Seismic detectors for continuous bed load monitoring in a gravel stream. *Hydrol ciJ*.,38,123–132.doi:10.1080/02626669309492650

Larose E, Carrière S, Voisin C, Bottelin P, Baillet L, Guéguen P, et al. (2015): Environmental seismology: What can we learn on earth surface processes with ambient noise? *J Appl Geophys.*, 116, 62–74. doi:10.1016/j.jappgeo.2015.02.001

Caracterización hidroquímica e isotópica del acuífero kárstico carbonatado de la Sierra del Aramo (Asturias, NO España)

T. Esolá-Muñiz[1] y B. González-Fernández[2]

1 Departamento de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, c/Independencia, 13, 33004 Oviedo, Asturias, España. uo19608@uniovi.es, tomas.esola@gmail.com.
2 Departamento de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, c/Independencia, 13, 33004 Oviedo, Asturias, España. mbeagf@uniovi.es.

Palabras clave: Aramo, karst, hidroquímica, isótopos ambientales.

Resumen

El acuífero kárstico carbonatado de la Sierra del Aramo (Serpukhoviense-Moscoviense) abastece al 22% de la población de Asturias (NO España). Sin embargo, no se dispone de estudios hidrogeológicos de detalle. Se ha hecho una primera caracterización hidroquímica e isotópica del acuífero mediante muestreo y análisis de sus principales manantiales entre marzo de 2017 y mayo de 2018, para un futuro estudio de las relaciones entre geología, hidroquímica y comportamiento hidrodinámico. Se ha determinado: CE, pH, T, POR, concentración en iones mayoritarios y minoritarios, concentración en B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb y U y δ^2H, $\delta^{18}O$ y $\delta^{87}Sr$. Se concluye que las características hidroquímicas de la descarga son coherentes con la naturaleza del sustrato, variando de forma estacional. Los resultados revelan una interacción agua-roca significativa. Así, las concentraciones en As y Sr llegan a 1 µg/l y 600 µg/l, respectivamente, en épocas de caudal mínimo, lo cual podría relacionarse con las mineralizaciones de Sr, Cu, Ni y Co asociadas a la roca caliza. Además, existe un gradiente positivo de concentraciones de norte a sur. Las concentraciones de As y Sr podrían ser relevantes en cuanto a riesgos potenciales para la salud (WHO, 2017; USEPA, 2014), por lo que se recomienda un seguimiento regular. Los valores de δ^2H y $\delta^{18}O$ están deprimidos respecto a los de la recarga en las estaciones de referencia más cercanas (Díaz-Teijeiro, 2009), lo cual podría relacionarse con una recarga a mayor cota. Los valores de $\delta^{87}Sr$ han resultado consistentes con los de una roca caliza carbonífera.

Abstract

Despite the Aramo Range carbonate karst aquifer (Serpukhovian-Moscovian) supplies water to 22% of Asturias region (NW Spain) population, no detailed hydrological studies are available. Hydrochemical and isotopic characterisation has been performed based on sample analysis from March 2017 to May 2018, for future study of the relationship between geology, water chemistry and hydrodynamic behaviour. Obtained parameters values include: EC, pH, T, ORP, major and minor ion concentration, concentration in B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb and U, and δ^2H, $\delta^{18}O$ and $\delta^{87}Sr$. Hydrochemical characteristics of the water discharge matches the aquifer geological nature, varying seasonally. Resulting values unravel a quite relevant water-rock interaction. In this regard, As and Sr concentrations reach 1 µg/l and 600 µg/l, respectively, with a N-S positive gradient, during minimum discharge flow periods, which might relate to the Sr, Cu, Ni and Co mineralised limestone. As and Sr concentrations might be relevant for health risk (WHO, 2017; USEPA, 2014), therefore regular monitoring is recommended. δ^2H and $\delta^{18}O$ are depleted relative to the nearest reference stations (Díaz-Teijeiro, 2009), which might relate to a higher recharge altitude. $\delta^{87}Sr$ values match a Carboniferous limestone.

Referencias

Díaz-Teijeiro, M. F. , Rodríguez-Arévalo, J. y Castaño, S. (2009). *Ingeniería Civil*, 155, 87-97.

World Health Organization (2017). *Guidelines for drinking-water*. 4th Ed. 541 p.

U.S. Environmental Protection Agency (2014). *Health effects support document for Strontium*. 152 p.

Contribución de la prospección geofísica y del análisis del MDT a la definición geométrica de un acuífero neógeno: el caso del acuífero de Benalup (provincia de Cádiz)

Contribution of geophysical prospecting and the DTM analysis to the geometric definition of a neogene aquifer: the case of the Benalup aquifer (province of Cádiz)

S. García-López[1], M. Vélez-Nicolás[1], V. Ruiz-Ortiz [2], M. García[3] y M. Rodríguez[3]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales, Universidad de Cádiz, Campus Río San Pedro, 11510-Puerto Real, Cádiz (España), santiago.garcia@uca.es, mercedes.velez@uca.es
2 Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior de Algeciras, Universidad de Cádiz, Avda. Ramón Puyol s/n 11202 Algeciras, Cádiz (España), veronica.ruiz@uca.es
3 GEYTEX, S.L. Avda Jardines de Triana, 17. 41807 Espartinas (Sevilla), geytex@gmail.com

Resumen: La definición de la geometría de los sistemas hidrogeológicos abarca aspectos como la morfología del muro, la disposición de las formaciones litológicas, la compartimentación tectónica, así como otros aspectos morfoestructurales, lo que resulta fundamental para el conocimiento de su funcionamiento y por tanto, es útil para lograr una mejor gestión del recurso hídrico subterráneo. En el presente trabajo se profundiza en la geometría del acuífero de Benalup, un sistema hidrogeológico de naturaleza detrítico-calcárea ubicado en la cuenca hidrográfica del río Barbate y que presenta actualmente problemas de gestión. Para ello, se aplican técnicas geofísicas (sísmicas y eléctricas) y se combinan con el análisis del modelo digital del terreno (MDT) y con información procedente de columnas litológicas de sondeos existentes. Como resultado, se ha determinado la distribución espacial de espesores del acuífero, se ha evaluado el volumen del reservorio subterráneo y se han identificado varios sistemas de fracturas que afectan al mismo y lo compartimentan al menos en tres subsectores de funcionamiento independiente.

Palabras clave: Acuífero, geofísica, MDT, sondeo, biocalcarenitas.

Abstract: *Defining the geometry of the hydrogeological systems involves aspects such as the morphology of the bottom of the aquifer, the distribution of the lithological formations, tectonic compartmentalization and other morphostructural aspects that are of major importance to understand their functioning and to achieve a better management of groundwater resources. The present work deepens the current knowledge of the geometry the Benalup aquifer, a hydrogeological system of detritic-calcareous nature that is located in the Barbate river basin, and is subject to management problems. For this purpose, geophysical techniques (seismic and electrical) were applied in combination with the analysis of the Digital Terrain Model (DTM) and the information obtained from lithological columns from existing boreholes. As a result, the thickness distribution of the aquifer and the volume of the groundwater reservoir were determined. In addition, several fracture systems that affect the aquifer and divide it into at least three subsectors of independent functioning were identified.*

Keywords: *Aquifer, geophysics, DTM, borehole, biocalcarenites*

INTRODUCCIÓN Y ÁMBITO DE ESTUDIO

El acuífero de Benalup es de naturaleza detrítica/calcárea y está ubicado en el sector occidental de la cuenca media del río Barbate, dentro de la denominada Comarca de la Janda, en la provincia de Cádiz (Figura 1). Con una extensión de 32,6 km^2, este sistema hidrogeológico abarca parte de los términos municipales de Benalup, Medina Sidonia y Vejer de la Frontera.

El acuífero pertenece administrativamente a la Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate y se corresponde en su totalidad con la masa de agua subterránea (MAS) denominada 062.014 BENALUP. En la actualidad, se encuentra sometida a una significativa explotación para agricultura de regadío y, en menor medida, para el abastecimiento urbano.

La MAS 062.014 ha sido catalogada por el Plan Hidrológico de la Demarcación en vigor como en mal estado cualitativo y cuantitativo debido a (i) la presencia de concentraciones de nitratos que exceden los valores límite establecidos en la normativa y (ii) por un índice de explotación (ratio entre el volumen de extracciones anuales y el recurso disponible una vez satisfechas las demandas ecológicas) que supera el valor límite establecido en la normativa (0.8), según los datos manejados por la Junta de Andalucía. Hay que subrayar, no obstante, la elevada indeterminación asociada a algunos elementos del balance

y la escasez de puntos de control hidroquímico de la red de control. Aspectos relacionados con el funcionamiento, la explotación y la gestión de este sistema se pueden consultar en Vélez-Nicolás *et al.* (2020). Además, este acuífero es interesante para el desarrollo de técnicas de uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas (ITGE-DGOH, 1996) y de recarga artificial con excedentes hídricos, lo que mejoraría su estado y recuperaría las zonas de descarga natural (Ruiz *et al.*, 2019).



FIGURA 1. Situación del acuífero de Benalup.

El objetivo del presente trabajo, es integrar la información geológica preexistente del acuífero, con la obtenida mediante técnicas geofísicas, columnas de los sondeos disponibles y análisis del MDT. Se pretende así, mejorar la definición de la geometría del sistema para avanzar en el conocimiento de su dinámica y funcionamiento, de cara a lograr su gestión sostenible.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A escala regional, la cuenca del río Barbate se ubica en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas, en el límite entre el dominio Subbético de las Zonas Externas y el dominio del Complejo del Campo de Gibraltar (flysch). Los materiales más antiguos, que constituyen el sustrato de la región, son los triásicos de facies germánica (preorogénicos). Sobre estos se disponen los materiales tectosedimentarios de las unidades del Campo de Gibraltar, que responden a depósitos de naturaleza turbidítica que han sido intensamente deformados en varias fases, dando lugar a una estructuración en mantos de cabalgamiento e imbricaciones sumamente compleja. Tales procesos han sido objeto de diversos modelos interpretativos (Luján *et al.*, 2006). Posteriormente se depositaron los materiales postorogénicos, que rellenaron las cuencas terciarias con sedimentos depositados en ambientes marinos y litorales durante el Mioceno Superior y Plioceno. Por último, se produjo el depósito de materiales de origen fundamentalmente continental de edad Cuaternaria ligados a procesos sedimentarios recientes. La figura 2 representa la cartografía geológica del área.

Parte de los materiales neógenos y cuaternarios presentan un claro interés hidrogeológico. En el caso concreto del acuífero de Benalup, los materiales permeables que lo integran incluyen, de base a techo: (i) biocalcarenitas de edad Mioceno Superior con laminación cruzada, abundantes niveles con fragmentos fosilíferos calcáreos y buenas propiedades hidrogeológicas; (ii) arenas calcáreas blanco amarillentas de edad Pliocena con propiedades hidrogeológicas moderadas y (iii) arenas eólicas del Cuaternario con especial trascendencia en la recarga del sistema.

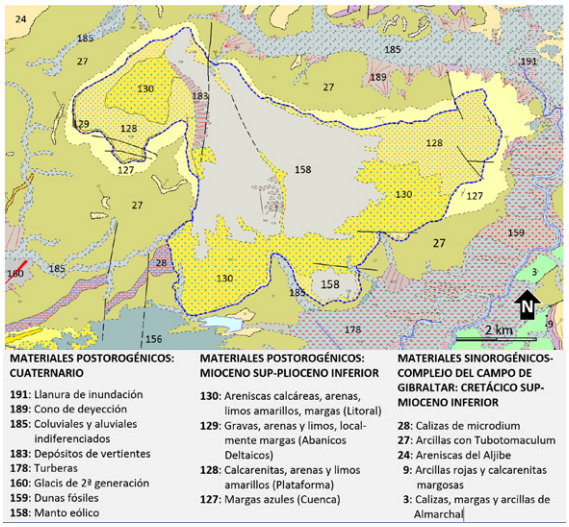


FIGURA 2. Mapa geológico del área de estudio. En línea punteada en azul se representa el borde del acuífero. Extraído del Mapa Geológico Digital continuo de España (GEODE).

La base impermeable del acuífero está constituida bien por margas azules del Mioceno Superior (sectores occidental, norte y oriental), o bien, en su sector meridional, por materiales del Complejo del Campo de Gibraltar (flysch), de naturaleza arcillosa y/o silícea-areniscosa muy cementada.

En términos fisiográficos, el acuífero de Benalup constituye un relieve tabular elevado varias decenas de metros sobre la red hidrográfica circundante. El sistema se encuentra flanqueado por un escarpe perimetral a excepción de la zona suroccidental, donde apenas existe elevación del acuífero. En este escarpe, donde aparecen evidencias de erosión remontante, se encuentran las principales zonas de descarga natural del acuífero.

MATERIAL Y MÉTODOS

La definición geométrica del acuífero comprendió varias fases de trabajo de campo y gabinete. En una etapa preliminar, se realizó un análisis de informes técnicos inéditos sobre las masas de agua de la cuenca y se llevó a cabo la revisión de la cartografía geológica de superficie a escala 1:50.000 del IGME. Para conocer la profundidad del muro del acuífero, se recopilaron datos de un total de 28 sondeos, la mayoría de explotación, procedentes de la base de datos del Instituto Geológico y Minero de España, (IGME, 2019). Adicionalmente se ha contado con las columnas litológicas de varios sondeos facilitadas por sus propietarios.

Por otra parte, para el análisis fisiográfico del sistema y de la identificación de accidentes tectónicos de potencial trascendencia en el funcionamiento del acuífero, se realizó un análisis del modelo digital del terreno (MDT) mediante mapa de pendientes, orientaciones y sombreados con distintas direcciones de iluminación. El MDT de partida fue generado por el IGN a partir de la información LIDAR (Light Detection and Ranging) con resolución espacial de 5 m (CNIG, 2019).

La campaña de exploración geofísica, dirigida a conocer la disposición y potencia de los materiales del acuífero en varios sectores, comprendió la realización de 5 calicatas eléctricas, 5 perfiles de sísmica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) y 2 perfiles de sísmica de refracción. La geofísica eléctrica fue realizada mediante la aplicación de un campo eléctrico DC a un sistema geométrico tipo Schlumberger de 585 m de extendimiento, utilizando dos datalogger de 5 canales con precisión de 1µV ó 1µA para la medida. La geofísica sísmica fue realizada con un sismógrafo multicanal digital marca EG&G Geometrics, modelo Geode de 16 canales a 24 bits y una línea de 110 ó 120 m de longitud con 12 geófonos de 4,5 Hz de frecuencia natural. La fuente de energía empleada fue impacto de martillo de 8 kg. Finalmente, los datos obtenidos fueron procesados con el software EarthImager2D (eléctrica) y SeisImager (sísmica) para la obtención de modelos geofísicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de la hipsometría se han identificado tres sectores en el acuífero (Figura 3). (i) Mesa Alta (6 km^2) es el sector más elevado, ubicado en el extremo NW y con altitudes comprendidas entre los 219 y los 70 m, (ii) Mesa Baja (25 km^2), correspondiente al sector central y más amplio del acuífero, semejante a una meseta ligeramente inclinada hacia el W con cotas comprendidas entre los 143 y los 45 m, y (iii) Dehesa de Espartinas (1,5 km^2), sector de dimensión reducida formado por una meseta a 35 m de cota, cuya génesis está relacionada con una antigua terraza fluvial del río Barbate. Esta división se ha visto corroborada por las observaciones piezométricas.

Las formaciones Mio-Pliocenas que constituyen el acuífero de Benalup presentan una pauta de plegamiento muy suave, de forma que los materiales se encuentran en posición subhorizontal, con ligeros buzamientos hacia el interior del afloramiento de 5º en su sector oriental. En el sector de Mesa Alta por su parte, el buzamiento es mayor, de 16º, alcanzando los 45º en las proximidades del gran accidente tectónico que separa Mesa Alta de Mesa Baja, lo que se atribuye al efecto de arrastre de falla.

En relación con la fracturación, hay que señalar que los recubrimientos eólicos cuaternarios dificultan su identificación. Moreno (1983) destaca que la densidad de la fracturación en este sector es relativamente baja, aunque se identifican a nivel regional cuatro familias de fracturas y diaclasas sin prácticamente movimiento, cuyas direcciones son: N80ºE a N110ºE, N15ºE, N150ºE y N55ºE. Estas

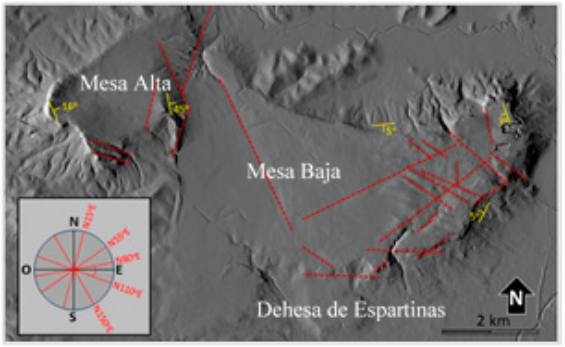


FIGURA 3. Fracturas inferidas en el acuífero de Benalup a partir del MDT-LiDAR (del IGN) sombreado. En la esquina inferior izquierda se incluye un diagrama con las direcciones regionales de fracturación.

direcciones han sido representadas en la figura 3, en donde también se han representado varios accidentes tectónicos inferidos por la morfología del relieve, según se deduce del examen del MDT sombreado. Especialmente significativa es una larga falla que se inicia al norte del límite Mesa Alta-Mesa Baja y se dirige hacia la Dehesa de Espartinas, con unos 4 Km de longitud y que produce un hundimiento de unos 10 m en el bloque occidental del acuífero. Destaca asimismo la presencia de dos fracturas de entre 800 y 900 m de longitud localizadas en el extremo meridional de Mesa Alta atribuibles a procesos gravitacionales.

Los ensayos sísmicos permitieron identificar diferentes tipos de materiales atendiendo a la velocidad de propagación de las ondas S; valores inferiores a 450-550 m/s fueron atribuidos a materiales de granulometría fina (arcillas y margas) y valores superiores a este rango, a calcarenitas de carácter acuífero. Ello permitió inferir la posición del muro del acuífero con la limitación de la profundidad de investigación propia de la metodología empleada (unos 80 m).

La prospección geoeléctrica proporcionó resultados menos concluyentes, lo que se atribuye a un escaso contraste de resistividades entre el material acuífero inferior (biocalcarenitas Miocenas) y la formación impermeable que actúa como muro del acuífero. En efecto, se baraja como hipótesis la ausencia de margas azules del Mioceno Superior bajo gran parte del acuífero, siendo sustituidas estas por los materiales flyschoides que engloban bloques de arenisca y/o calizas que reducen el contraste respecto a la formación superior. Además, los ensayos geoeléctricos pudieron verse afectados por la cercanía de fallas, la existencia de transiciones composicionales y otros fenómenos no identificados. En general, los materiales acuíferos de tipo calcarenítico presentan valores de resistividad eléctrica elevados, superiores a 100 Ohm·m, aunque la presencia de niveles de matriz más arcillosa puede reducir considerablemente dichos valores. A los materiales arcillosos se les atribuye una resistividad inferior a los 20 Ohm·m, con variaciones si existe una alternancia de niveles areniscosos o saturados.

La figura 4 muestra una síntesis de los resultados obtenidos en las labores de prospección geofísica. A la vista de los mismos, se puede atribuir a la formación acuífera un espesor superior a los 100 m en algunos sectores de Mesa

Baja. Cambios laterales en la resistividad eléctrica indican una reducción del espesor del acuífero en las proximidades de Mesa Alta debido probablemente a la presencia de fallas que elevan el sustrato impermeable inferior.

A partir de la interpolación de los datos recopilados desde distintas fuentes, ha sido posible confeccionar un mapa de espesores del acuífero (figura 5) y la realización de una estimación del volumen del reservorio subterráneo considerando una porosidad eficaz media. La distribución espacial de espesores ofrece un valor medio de 81,4 m, con valores mínimos en el sector meridional de Mesa Baja y Dehesa de Espartinas donde se alcanzan valores de tan solo 20 m. Los valores máximos se encuentran a unos 3 km al norte de la localidad de Cantarranas, donde el espesor del acuífero alcanza los 132 m, así como en el sector oriental de Mesa Baja. En base a dichos espesores y a la superficie de la formación, el volumen total de material acuífero se ha estimado en 2.656 hm^3. Si como primera aproximación se admite un espesor saturado de 70 m y una porosidad eficaz del 4,5%, el volumen de reservas de agua subterránea ascendería a 103 hm^3.

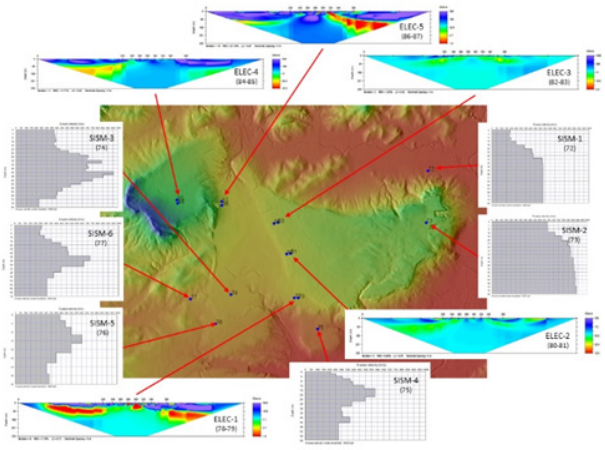


FIGURA 4. Posición y resultados de los ensayos geofísicos sísmicos y eléctricos realizados en el marco del presente estudio

CONCLUSIONES

Se ha determinado la geometría del acuífero a partir de la integración de la información cartográfica preexistente, las observaciones in situ, las columnas de sondeos disponibles, el MDT y la prospección geofísica realizada. A raíz de ello se han identificado tres subsistemas delimitados por accidentes tectónicos y se ha evaluado el volumen de reservas del acuífero considerando una porosidad de 4,5%. La mejora del conocimiento del acuífero, catalogado en mal estado cuantitativo y cualitativo, debe de contribuir a optimizar la gestión del recurso y plantear alternativas que favorezcan la sostenibilidad y el cumplimiento de las directrices ambientales.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto REMABAR financiado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Agradecemos también la información facilitada por Aqualia y la Comunidad de Usuarios y Regantes Ingeniero Eugenio Olid.

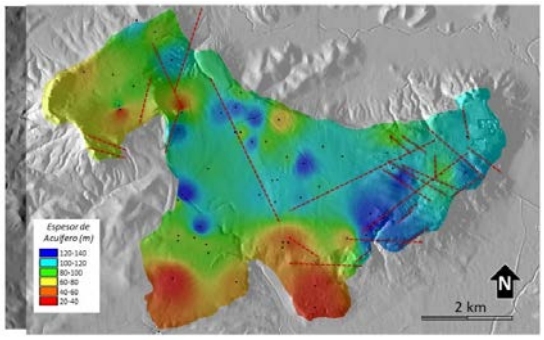


FIGURA 5. Mapa de espesores del acuífero de Benalup, obtenido por interpolación por el método IDW. Los puntos negros representan las ubicaciones en las que la profundidad del muro es conocida o estimada.

REFERENCIAS

CNIG (2019). Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica. http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp

IGME (2019). Base de datos de Puntos de Agua del Instituto Geológico y Minero de España. http://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=9946b35822504920b31c7ca580868f8d

ITGE-DGOH. (1996). *Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de recursos hídricos. Cuenca hidrográfica de los ríos Guadalete y Barbate*. Informe inédito. 49 pags.

Luján, M., Crespo-Blanc, A., Balanyá, J.C. (2006). The Flysch Trough thrust imbricate (Betic Cordillera): A key element of the Gibraltar Arc orogenic wedge. *Tectonics*: 25, TC6001, doi: 10.1029/2005TC001910

Moreno, F. (1983). Estudio tectónico y neotectónico de la Hoja de Vejer de la Frontera. *Informe complementario a la memoria del mapa geológico nacional*, Hoja 1073.

Ruiz-Ortiz, V., García-López, S., Solera, A., Paredes-Arquiola, J., 2019. Contribution of decision support systems to water management improvement in basins with high evaporation in Mediterranean climates. *Hydrology Research*. 50, 1020–1036; doi.org/10.2166/nh.2019.014.

Vélez-Nicolás, M., García-López, S., Ruiz-Ortiz, V., Sánchez-Bellón, A. (2020). Towards a sustainable and adaptive groundwater management: lessons from the Benalup aquifer (Southern Spain). *Sustainability 2020*, 12, 5215; doi:10.3390/su12125215.

Datación del agua del manantial de Meliones (provincia de Málaga) y su integración en un modelo hidrogeológico conceptual de carácter regional

Dating the groundwater drained by the Meliones spring (Málaga province) for integration into a regional hydrogeological conceptual model

J.M. Gil-Márquez[1], M. Mudarra[1], J.F. Martín-Rodríguez[1], F. Carrasco[1,2], L. Linares[2] y B. Andreo[1]

1 Departamento de Ecología y Geología y Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, E-29071, Málaga. josemgil@uma.es, mmudarra@uma.es, josefranciscomr@uma.es, fcarrasco@uma.es, andreo@uma.es

2 Academia Malagueña de Ciencias. C/ Moratín 4, 1ºB, E-29015, Málaga. luislinares@telefonica.net

Resumen: El manantial de Meliones (provincia de Málaga) es una polisurgencia hipersalina asociada a la formación arcilloso-evaporítica del Trías de Antequera. Su drenaje natural deteriora la calidad química del agua embalsada en la presa del Guadalhorce, una de las fuentes de abastecimiento a la ciudad de Málaga. Algunos organismos públicos ejecutaron medidas correctoras con un enfoque muy local, centradas en la alteración de los procesos de infiltración rápida en el entorno inmediato al manantial, que no han solucionado el problema. Sin embargo, existen evidencias de que el Trías de Antequera es un sistema hidrogeológico complejo, en el que flujos rápidos localizados en los enclaves kársticos evaporíticos coexistirían con otros de tipo difuso. En este trabajo se ha datado el agua del manantial de Meliones con ^{3}H, CFC-12 y ^{4}He. Además, se han creado modelos de parámetros agregados que definen la distribución de edad de la muestra. Los resultados evidencian que la mayor parte del agua hipersalina drenada por la surgencia fue infiltrada hace más de un siglo. Esto confirma la existencia de un sistema regional con flujos jerarquizados donde flujos regionales lentos y de gran recorrido confluyen con otros rápidos y más cortos.

Palabras clave: datación de agua subterránea, karst evaporítico, Trías de Antequera, Meliones.

Abstract: *Meliones spring (Malaga province) is a brine outlet related to a clayey-evaporitic formation ("Trias de Antequera"). The groundwater drained by the spring salinizes the water dammed in the Guadalhorce reservoir, one of the supply source to the city of Malaga. So far, corrective actions were focused on the local scale, particularly in the modification of infiltration dynamics near the spring, but they did not fix the problem. However, there is some evidence that the "Trias de Antequera" is a complex hydrogeological system, in which diffuse flow and quick flows (within karst evaporite enclaves) would coexist. In this work, the groundwater drained by Meliones spring was dated based on ^{3}H, CFC-12, and ^{4}He. Additionally, lumped parameter models were developed to define the groundwater age distribution of the sample. Results prove that most of the groundwater drained by the spring was infiltrated more than a century ago. This confirms the existence of a hierarchically organized regional groundwater flow system where slow and long-distance regional flows converge in the spring with faster and shorter conduit flows.*

Keywords: *Groundwater dating, "Trias de Antequera", Meliones outlet, evaporite karst,*

INTRODUCCIÓN

El manantial de Meliones es una polisurgencia que drena agua de elevada salinidad asociada al llamado Trías de Antequera (provincia de Málaga). Está situado en el estrecho de Gobantes, en la margen izquierda del río Guadalhorce (Fig. 1), bajo la cota de máximo embalse de la presa del Guadalhorce. Por esa razón, la surgencia queda inundada durante largos periodos. El aporte salino medio de este manantial al río Guadalhorce en el periodo 1981-2003 se estimó en 470 Tm/día. Ello produce un deterioro de la calidad química del agua embalsada por la presa, que presenta un contenido medio de NaCl del orden de 4-8 g/l (Mudarra *et al.*, en prensa), lo que impide su uso para el abastecimiento urbano sin un tratamiento previo de desalobración. Igualmente, el uso del agua para regadío se ve comprometido en los momentos en los que la concentración de sal en el agua del embalse es mayor.

Durante las últimas cinco décadas, varios organismos han investigado este problema, pero, a pesar del tiempo transcurrido desde la puesta en funcionamiento de la presa (1976) y del capital público destinado, aún no se ha alcanzado una solución eficaz que reduzca el vertido de aguas altamente salinas al embalse. Entre las actuaciones realizadas se incluye el sellado de formas de infiltración preferencial (sumideros kársticos) en las proximidades del área de descarga, con idea de impedir la alimentación del sistema (Guzmán del Pino, 2003). El objetivo no se cumplió, pues la rápida dinámica geomorfológica del karst evaporítico favoreció la aparición de nuevas formas que favorecen la infiltración. Otra de las medidas consistió en captar el

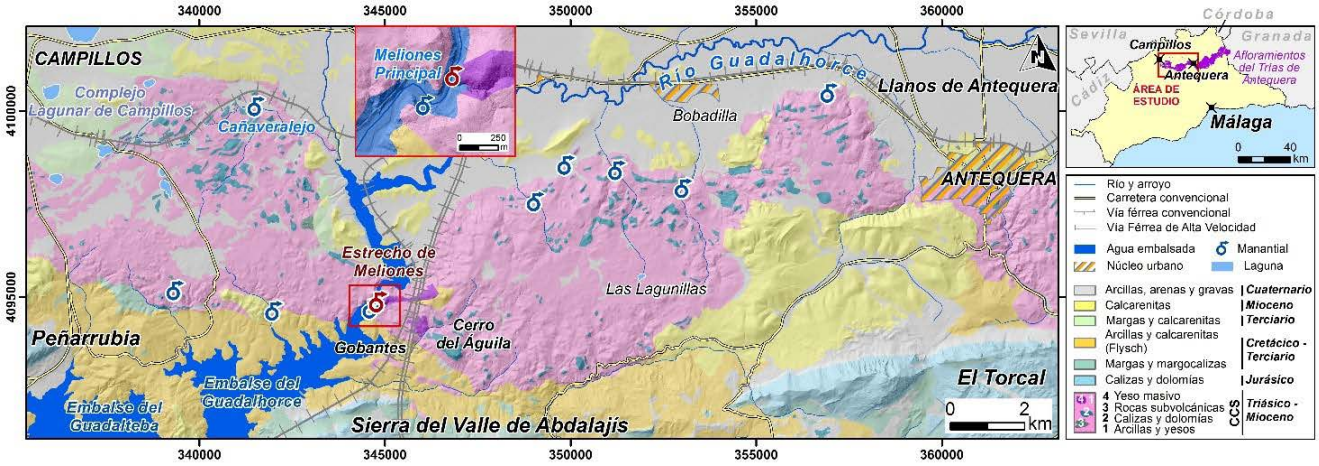


FIGURA 1. Localización geográfica y esquema geológico del área de estudio. En el recuadro rojo se representa en detalle la ubicación del manantial de Meliones en la que se llevó a cabo el muestreo.

agua subterránea salada mediante sondeos y conducirla hacia el mar (SGOP, 1993). Todas las medidas correctivas desarrolladas hasta la fecha se han centrado en abordar el problema a escala local, sin considerar ni comprender el funcionamiento hidrogeológico del Trías de Antequera en su conjunto.

Trabajos recientes (Andreo *et al.*, 2016; Gil-Márquez *et al.*, 2020; Mudarra *et al.*, *en prensa*) evidencian que la situación de los manantiales y humedales en los afloramientos del Trías de Antequera y formaciones afines, y las características físico-químicas de sus aguas, forman parte de un sistema hidrogeológico regional en el que también intervienen flujos por conductos. La evolución geoquímica de las aguas subterráneas estaría determinada por el tiempo de interacción del agua con las rocas, además de por las litologías predominantes.

El objetivo de este trabajo es determinar la edad aparente del agua drenada por el manantial de Meliones, usando técnicas de datación basadas en ^{3}H, ^{4}He y CFC-12 (CCl_2F_2). Además, la disponibilidad de datos de concentración de diferentes trazadores ambientales permite elaborar modelos de mezcla que proporcionan una distribución de edad de la muestra; es decir, asignar distintas edades (o rangos de edades) a diferentes fracciones que constituyen la muestra. Los resultados alcanzados han sido integrados en el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del Trías de Antequera, propuesto en trabajos previos. Este conocimiento ayudará a reorientar las posibles actuaciones de remediación.

ÁREA DE ESTUDIO

Bajo la denominación "Trías de Antequera" se incluye al conjunto de materiales que se extienden, en dirección E-O, por la parte centro-septentrional de la provincia de Málaga (Fig. 1), y que han sido diferenciados por Sanz de Galdeano *et al.* (2008) del resto de los llamados Complejos Caóticos Subbéticos (CCS) de la Zona Externa de la Cordillera Bética. En conjunto se trata de una megabrecha con una estructura interna caótica, en la que hay un amplio predominio de litologías triásicas de facies germano-andaluza, pero que además contiene bloques de otros materiales (calizas, dolomías, margocalizas, margas y areniscas) de edades Triásico - Terciario. Parte de estos materiales están cubiertos discordantemente por sedimentos postorogénicos del Mioceno Superior y del Cuaternario de la Vega de Antequera y Llanos de Campillos (Fig. 1). El área de estudio, el sector de Meliones-Gobantes, abarca la mitad occidental de los afloramientos del Trías de Antequera (~100 km^2, Fig. 1).

La elevada solubilidad de las rocas evaporíticas del Trías de Antequera (yeso, anhidrita y halita) favorece los procesos de disolución y karstificación. Ello ha dado lugar a uno de los paisajes kárstico-evaporíticos más singulares de España, con abundantes formas, tanto exo- como endokársticas: depresiones, colapsos, dolinas, simas y cuevas (Calaforra y Pulido-Bosch, 1999). La situación y abundancia de estas formas vienen en parte determinadas por la existencia de estructuras halocinéticas subcirculares, que destacan en el relieve como altiplanos, separados unos de otros por cañones fluvio-kársticos, como el formado por el río Guadalhorce a su paso por el estrecho de Meliones (Fig. 1). Sin embargo, las geoformas más comunes en el área de estudio son las depresiones kársticas, algunas de las cuales presentan sumideros kársticos, que se activan durante los periodos de lluvia. Por el contrario, donde no existen sumideros, las depresiones pueden permanecer inundadas de forma temporal o permanente, lo que origina humedales.

A los materiales del Trías de Antequera y del resto de los CCS se les ha atribuido tradicionalmente un funcionamiento propio de un acuitardo, debido al predominio de litologías de baja permeabilidad (arcillas, areniscas). Sin embargo, allí donde los enclaves evaporíticos adquieren mayor desarrollo, la permeabilidad aumenta y el medio adquiere rasgos de acuífero de tipo kárstico. Todo ello confiere al conjunto arcilloso-evaporítico cierta complejidad hidrogeológica, similar a la que se podría encontrar en un sistema en el que coexistirían flujos jerarquizados de diferentes longitudes y a distintas escalas, desde las áreas de recarga hasta las zonas de descarga (Andreo *et al.*, 2016). En cualquier caso, estos

sistemas se alimentan por infiltración directa del agua de lluvia y también de la escorrentía a través de sumideros kársticos, mientras que la descarga tiene lugar por manantiales, hacia cauces fluviales o hacia humedales.

El drenaje subterráneo en el área de estudio se produce sobre todo hacia el estrecho de Meliones (río Guadalhorce), donde hay varias surgencias salinas (Fig. 1), situadas entre 345 y 353 m s.n.m.; la cota más baja de cuantos manantiales existe en el Trías de Antequera. El valor medio de descarga conjunta de todas ellas es 20-45 l/s. La conductividad eléctrica del agua varía entre 90 y 200 mS/cm, y las facies hidroquímicas son del tipo clorurada-sódica (Carrasco, 1986). El CEDEX realizó algunas campañas de medición de ^{3}H en el entorno de Meliones (Baonza *et al.*, 1997). Los resultados dieron lugar a distintas interpretaciones. Así, Carrasco (1986) dedujo que el agua del manantial tenía en parte un origen prenuclear, mientras que Guzmán del Pino (2003) concluyó que se trataba de una mezcla de aguas con menos de una década desde su infiltración.

MÉTODOS

En noviembre de 2017, coincidiendo con que el nivel del embalse se encontraba por debajo de la cota del manantial, se tomaron muestras de agua para su datación. Para el análisis de ^{3}H la muestra se tomó directamente desde el manantial. Para determinación de gases, el agua fue muestreada en cilindros de cobre (He) y en botellas de acero inoxidable con doble apertura (CFC-12). La determinación analítica se llevó a cabo en el Instituto de Física Ambiental de la Universidad de Bremen. El análisis de ^{3}H se realizó según en el método de incubación de ^{3}He. Los isótopos de He se determinaron mediante espectrometría de masas y el CFC-12 con cromatografía de gases. La concentración de CFC-12 (pmol/kg) fue transformada a concentración atmosférica (pptv), de acuerdo con sus condiciones de recarga (17ºC, 650 m s.n.m. y agua dulce). La descripción detallada de los procedimientos metodológicos de muestreo y análisis se recoge en Gil-Márquez *et al.* (2020).

A partir de los resultados, se generaron distintos modelos de parámetros agregados, con ayuda del programa TracerLPM (Jurgens *et al.*, 2012). Con los datos de ^{3}H y CFC-12 se crearon modelos simples. Los resultados de dichos modelos, junto con los valores de ^{4}He, sirvieron para modelos binarios, en los que se simuló una mezcla entre una fracción joven de agua (con ^{3}H y CFC-12) y otra antigua (sin ^{3}H ni CFC 12). Los modelos empleados fueron los de dispersión (DM), de pistón exponencial (EPM) y de mezcla binaria entre dos modelos de flujo pistón (PFM), dos DM y dos EPM (véase Jurgens *et al.*, 2012).

RESULTADOS

En la tabla I se recogen los resultados analíticos y su interpretación en términos de datación. El contenido de 3H de la muestra es 1.14 UT (1 UT = 0,119 Bq/kg de H_2O). El agua infiltrada a partir de 1953, tras la liberación antropogénica de ^{3}H como consecuencia de los ensayos termonucleares, tendría más de 2 UT, de acuerdo con la función de ^{3}H en precipitación en el S de España escalada a 2018 (Gil-Márquez *et al.*, 2020). Por tanto, la muestra estaría constituida por una fracción de agua moderna (con ^{3}H) y otra antigua, infiltrada antes de 1953 (sin ^{3}H).

Según las condiciones de recarga consideradas, la concentración de CFC-12 en la muestra (0,3 pmol/kg) equivale a una concentración atmosférica de 82,6 pptv (Tabla I). Dicho valor se registró en la atmósfera del hemisferio norte en el año 1966, de forma que la edad aparente de la muestra sería 52 años. No obstante, según los datos de ^{3}H, la concentración de CFC 12 en la muestra estaría diluida por la existencia de una fracción antigua, por lo que la edad de la fracción moderna (que es la que aporta el CFC-12) sería menor.

^{3}H (UT)	CFC-12		Edad aparente CFC-12 (años)	^{4}Herad (cm^{3}STP/kg)	Edad aparente ^{4}He$_{rad}$ (años)
	pmol/kg	pptv			
1,14	0,3	82,6	52	$1{,}2\cdot10^{-3}$	2.300

TABLA I. Resultados analíticos de la muestra de agua del manantial de Meliones y su interpretación en términos de edad aparente

La muestra del manantial presenta un contenido en ^{4}He$_{rad}$ de $1{,}2\cdot10^{-3}$ cm^{3}STP/kg (Tabla I). La datación con ^{4}He$_{rad}$

Modelo	Edad media (años)	Edad mediana – GA_{50} (años)	Trazadores utilizados	Modelo simple	Mezcla binaria				
				Parámetro del modelo	Edad media F_j	Parámetro F_j	% F_j	Edad F_v	Parámetro F_v
EPM	148	109	^{3}H, CFC-12	0,15	-	-	-	-	-
DM	289	124	^{3}H, CFC-12	1,43	-	-	-	-	-
EPM-EPM	2291	960	^{3}H, CFC-12, ^{4}He$_{rad}$	-	59	0,7	43,4	4000	0,15
DM-DM	2307	491	^{3}H, CFC-12, ^{4}He$_{rad}$	-	57	0,17	42,9	4000	1,4
PFM-PFM	2348	4000	^{3}H, CFC-12, ^{4}He$_{rad}$	-	46	-	41,8	4000	-

TABLA II. Descripción y resultados obtenidos de la aplicación de distintos modelos de parámetros agregados. Fj, Fracción joven; Fv, fracción vieja

depende de la tasa de acumulación de este gas en las aguas subterráneas, que puede variar hasta dos órdenes de magnitud, dependiendo del contenido en U y Th en el medio. Gil-Márquez *et al.* (2020) estimaron una tasa de acumulación de $^4He_{rad}$ de $5{,}2 \cdot 10^{-10}$ $cm^3STP/g \cdot año$ en otros manantiales del Trías de Antequera. Según ese valor, la edad aparente de $^4He_{rad}$ del agua sería de 2.300 años (Tabla I). No obstante, el cálculo debe ser tomado con precaución, pues existen numerosas incertidumbres asociadas a la determinación de este gas en aguas salinas (Gil-Márquez *et al.*, 2020). Lo que sí es evidente es que la fracción de agua antigua drenada por el manantial de Meliones tiene una edad elevada. De hecho, según la tasa de acumulación más alta encontrada en literatura por Gil-Márquez *et al.* (2020), de $1{,}2 \cdot 10^{-9}$ $cm^3STP/g \cdot año$, la menor edad aparente del $^4He_{rad}$ posible sería de 630 años.

Los modelos de parámetros agregados con los que se consiguió un mejor ajuste son los que se indican en la tabla II. Las edades medias de la muestra según los modelos simples son 148 y 289 años (EPM y DM, respectivamente). Con los modelos binarios, la edad resultante es del orden de 2300 años (Tabla II), debido a que incorporan también el $^4He_{rad}$. Los tres modelos binarios determinan que la fracción de agua joven está comprendida entre 41,8 y 43,4 %. Pese a que los modelos simples no determinan el porcentaje de cada una de las que la edad mediana (acumulación del 50%) se alcanza después de 100 años (Fig. 2), por lo que la fracción joven es inferior al 50%. Además, en todos los modelos el agua de menos de 10 años está prácticamente ausente y el agua de menos de 40 años tan sólo supone un 20%.

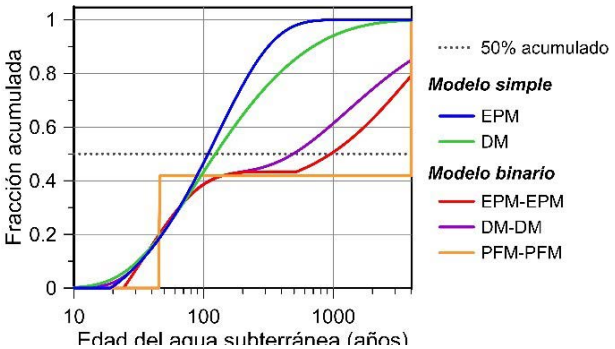


FIGURA 2. Distribución de edad de la muestra de agua del manantial de Meliones, según los distintos modelos aplicados. Se incluye la línea a la que se acumula el 50% de la muestra (edad mediana).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el agua drenada por el manantial de Meliones en noviembre 2017 fue mayoritariamente infiltrada hacía varias décadas e incluso, buena parte tendría más de un siglo. El uso conjunto de varios trazadores ambientales corrobora la interpretación de Carrasco (1986) sobre la presencia de aguas con distinta edad en el drenaje del manantial de Meliones. Ello contradice claramente la idea de que las surgencias salinas estarían asociadas únicamente a la recarga que tiene lugar a través de los sumideros kársticos que hay en su entorno. No obstante, las respuestas naturales del manantial a los eventos de recarga son más o menos rápidas y sus variaciones hidroquímicas denotan la existencia de un marcado desarrollo de la karstificación en la zona no saturada, lo que favorece la entrada y el flujo rápido de agua menos mineralizada hacia la zona saturada (Mudarra *et al.*, en prensa).

Todo ello estaría en consonancia con el modelo hidrogeológico conceptual propuesto por Andreo *et al.* (2016) para los afloramientos de los CCS, incluido el del Trías de Antequera. Según el modelo, flujos lentos, profundos, ascendentes y de mayor tiempo de residencia en el medio, se mezclarían con otros rápidos de agua menos mineralizadas y que discurren a través de los conductos de la zona no saturada. Asimismo, la salinidad de los manantiales asociados a los afloramientos de los CCS está muy relacionada con el tiempo de residencia del agua subterránea en el medio, pero que la karstificación, localmente, puede modular las respuestas naturales (Gil-Márquez *et al.*, 2020).

Por tanto, el agua hipersalina del manantial de Meliones debe guardar relación con flujos regionales de gran tiempo de residencia en el medio. La karstificación puede producir variaciones hidrodinámicas en el manantial y podría modificar la distribución de edad del agua drenada en cada momento y, en consecuencia, su salinidad. Así pues, las medidas correctoras que se planteen no pueden ir encaminadas a reducir el drenaje del manantial, pues el flujo de agua se origina en gran parte en una escala regional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del Grupo de investigación RNM-308 de la Junta de Andalucía a los Proyectos de Excelencia RNM-8087 y RNM-6895R de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen la colaboración del Dr. J. Sültenfuß de la Univ. de Bremen.

REFERENCIAS

Andreo, B., Gil-Márquez, J.M., Mudarra, M., Linares, L. y Carrasco, F. (2016): Hypothesis on the hydrogeological context of wetland areas and springs related to evaporitic karst aquifers (Málaga, Córdoba and Jaén provinces, Southern Spain). *Environmental Earth Sciences*, 75(9): 1–19.

Baonza, E., Plata, A. y Escolano, A. (1983): *Estudio sobre procedencia y comportamiento del agua del manantial salino de Meliones en el embalse del Guadalhorce (Málaga)*. CEDEX, inédito.

Calaforra, J.M. y Pulido-Bosch, A. (1999): Gypsum karst features as evidence of diapiric processes in the Betic Cordillera, Southern Spain. *Geomorphology*, 29(3–4): 251–264.

Carrasco, F. (1986): *Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce: el medio físico. Hidrogeoquímica*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 435 p.

Gil-Márquez, J.M., Sültenfuß, J., Andreo, B. y Mudarra, M. (2020): Groundwater dating tools (3H, 3He, 4He, CFC-

12, SF6) coupled with hydrochemistry to evaluate the hydrogeological functioning of complex evaporite-karst settings. *Journal of Hydrology,* 580:124263.

Guzmán del Pino, J.L. (2003): *Estudio hidrogeológico, edáfico y de contaminación salina en la cuenca media del río Guadalhorce.* Tesis Doct. Univ. Granada.

Jurgens, B.C., Böhlke, J.K. y Eberts, S.M. (2012): TracerLPM (Version 1): *An Excel® workbook for interpreting groundwater age distributions from environmental tracer data. Techniques and Methods*, USGS, 60 p.

Mudarra, M., Gil-Márquez, J.M., Andreo, B., Carrasco, F. y Linares, L. (en prensa): Funcionamiento hidrogeológico del Trías de Antequera. Hipótesis sobre el modelo general de flujo subterráneo. *Boletín Geológico y Minero,* 131 (2).

Sanz de Galdeano, C., Lozano, J.A. y Puga, E. (2008): El "Trías de Antequera": Naturaleza, origen y estructura. *Revista de La Sociedad Geológica de España*, 21(3): 111–124.

SGOP (1993): *Prueba experimental de captación de las salmueras surgentes al embalse del Guadalhorce (Málaga). Servicio General de Obras Públicas*. Informe inédito.

Respuesta hidrológica del sistema kárstico Güixas-Rebeco ante las precipitaciones (Villanúa, Pirineo Central)

Hydrological response of Güixas-Rebeco karstic system facing rainfalls (Villanúa, Central Pyrenees)

R. Giménez[1], M. Bartolomé[2] y A. Moreno[1]

1 Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Av. Montañana, 1005 Zaragoza. reiesgimenez@gmail.com, amoreno@ipe.csic.es
2 Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid mbart@mncn.csic.es

Palabras clave: Karst, Monitorización, Eventos extremos, Pirineo, Villanúa

Resumen

Las cuevas de las Güixas y el Rebeco (~1000 msnm) constituyen la zona de descarga del sistema kárstico del Macizo de Collarada (Villanúa, Pirineo Central). La cueva de las Güixas se explota turísticamente, mientras que la cueva del Rebeco es visitada frecuentemente por espeleólogos. Ambas cuevas tienen entradas superiores que funcionan como trop-plein. En 2017 se instalaron sensores de presión para monitorizar las fluctuaciones del nivel del agua en los cursos activos, así como varios pluviómetros en la zona superior del macizo (~1700 y 2600 msnm) para controlar las precipitaciones. Puntualmente, se han realizado mediciones del caudal mediante trazadores químicos solubles. Las inundaciones dentro de las cuevas afectan a las visitas a la cueva turística de las Güixas provocando su suspensión e imposibilitan la entrada en la cueva del Rebeco. En las Güixas, el agua asciende a través de un gran sifón de ~14 m de desnivel hasta la zona turística. Los ensayos de trazadores no muestran conexión hidrológica entre las dos cuevas. La medida de los niveles de agua indica una respuesta similar ante las precipitaciones en los distintos sistemas, que se inundan simultáneamente. Las medias de caudal indica que con ~ 900 l/s en las galería turística de las Güixas el agua desborda por la entrada superior del Rebeco. Este caudal corresponde con unas precipitaciones previas de ~60 mm y una respuesta de ~8 horas. Las avenidas tienen lugar principalmente durante la primavera, cuando se combinan la fusión de la nieve con las precipitaciones en forma de lluvia. Además, se observan oscilaciones de los niveles, que ocurren sin eventos de lluvia y que se relacionan con la fusión de la nieve durante el día, alcanzando su máxima cota durante la noche. La respuesta observada está relacionada con la cantidad y modo de las entradas de agua en el sistema, del agua retenida en su interior y las pérdidas del mismo. Este estudio representa un primer paso para la reconstrucción cuantitativa de las paleoavenidas registradas en estalagmitas.

Abstract

The Güixas-Rebeco caves (~1000 m a.s.l) represent the discharge sector of the karstic system located in the Collarada massif (Villanúa, Central Pyrenees). Güixas is a show cave, while Rebeco is usually visited by cavers. Both caves present upper entrances which act as a trop-plein. In 2017 several pressure sensors were installed to control water level fluctuations, as well as pluviometers in the high altitudes (~1700 and 2600 m a.s.l) of the massif to control rainfall inputs. Water flow was punctually estimated using salt gauging techniques. Floods in the caves affect to the touristic visits and make impossible the entrance in Rebeco cave. The water rises through a -14 m siphon flooding the touristic area. Tracer experiments not showed the hydrological connexion between caves. Water level monitoring shows similar responses linked to the rainfall events in both systems. The flow rates of ~ 900 l/s in the tourist gallery of the Güixas concur with water ascents through the upper entrance of the Rebeco. This flow rate corresponds with rainfalls around 60 mm, with a response of 8 hours. Floodings increase during spring, when snow melting is added to the rainfall amount. Moreover, daily water level fluctuations are observed in relation with snowmelt, reaching the maximum water level during the nights. The response of both caves should be related to the amount and mode of water inputs in the system, the amount of water retained and the water lost. This study is the first step for the quantitative paleoflood reconstruction based on stalagmites.

Cartografía predictiva de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas mediante algoritmos de clasificación supervisada.

Predictive mapping of groundwater dependent ecosystems by means of supervised classification algorithms.

V. Gómez-Escalonilla[1], P. Martínez-Santos[1] y E. Montero[1]

1 Departamento de Geodinámica. Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. C/José Antonio Novais 12, 28040 Madrid, Spain. vigome01@ucm.es; pemartin@ucm.es; emontero@geo.ucm.es

Palabras clave: machine learning, ecosistemas acuáticos, aguas subterráneas, Lagunas de Ruidera

Resumen

Este trabajo presenta una novedosa metodología que permite elaborar cartografías predictivas mediante información basada en datos de campo. Para ello, se utilizan sistemas de información geográfica en los que se compilan diferentes capas de información geoespacial. Los algoritmos de clasificación supervisada se entrenan con una muestra de los datos originales, tratando de encontrar patrones de relación entre las variables explicativas y la variable objetivo, en este caso, la presencia o ausencia de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas. Los factores que van a afectar a la presencia o no de estos cuerpos de agua son el tipo de litología, la pendiente, la elevación del nivel freático, las fracturas, los índices de humedad y las zonas de acumulación potencial de flujo entre otros. La zona de estudio, con una extensión de más de 5.000 km^2, se encuentra en Castilla-La Mancha e incluye el Parque Natural de las Lagunas de Ruidera. Los datos de entrada se han extraído de los humedales y los manantiales del Inventario Español de Zonas Húmedas (DGOH, 1991) y Montero (2000), respectivamente. Los resultados son superiores a 0,80 en la puntuación de la prueba y el área bajo la curva de características operativas del receptor (AUC), que son las métricas más utilizadas en los métodos de aprendizaje automático.

Abstract

This paper presents a novel methodology for predictive mapping using information based on point-source field data. For this purpose, different layers of spatial information have been collected and compiled in a geographic information system. The supervised classification algorithms are trained with a sample of the original data, trying to find patterns of relationship between the explanatory variables and the target variable, in this case, the presence or absence of groundwater-dependent ecosystems. The factors that will condition the presence or absence of these bodies of water are lithology, slope, water table elevation, fractures, humidity indices, permeability and flow accumulation potential among others. The study area, with an extension of more than 5,000 km^2, is located in Castilla-La Mancha and includes the Lagunas de Ruidera Natural Park. Input data have been extracted for wetlands and springs from the Spanish Inventory of Wetlands (DGOH, 1991) and Montero (2000), respectively. Outcomes are above 0.80 in test score and area under the receiver operating characteristic curve (AUC), the most used metrics in machine learning methods.

Referencias

DGOH (1991). *Estudio de las Zonas Húmedas Continentales de España. Inventario, tipificación, relación con el régimen hídrico general y medidas de protección.* INITEC. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid

Montero, E. (2000). *Contribución al estudio de la geometría y los límites del acuífero del Campo de Montiel. Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel",* Excma. Diputación de Albacete, 177 p.

Evidencia de la idiosincrasia del transporte de fármacos en aguas subterráneas a partir de datos de manantiales

Evidences of the idiosyncrasy of pharmaceutical compound transport in groundwater using data from natural springs

M. Gros[1], J. Mas-Pla[1, 2], M. Celic[1], A. Menció[2], D. Brusi[2] y M. Petrovic[1, 3]

1 Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA) – Universitat de Girona, 17003 Girona; mgros@icra.cat, jmas@icra.cat, mcelic@icra.cat
2 GAiA-Geocamb, Dept. de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, 17003 Girona; anna.menció@udg.edu, david.brusi@udg.edu
3 Catalan Institution for Research and Advanced Studies (ICREA); mpetrovic@icra.cat

Palabras clave: contaminantes emergentes, fármacos, transporte, agua subterránea.

Resumen

Los fármacos que se encuentran en el agua subterránea proceden de actividades humanas. Los manantiales naturales son lugares de descarga de las aguas subterráneas y aportan información sobre los procesos de transporte de contaminantes. Se presentan los resultados de un muestreo estacional en once manantiales naturales en la región de Osona (Barcelona) para determinar el comportamiento de los fármacos en las zonas más superficiales del sistema hidrogeológico. La concentración de nitrato se mantiene uniforme a pesar de las variaciones geológicas e hidroquímicas, por lo que puede definirse un régimen hidrológico estable para cada manantial. Solo unos pocos fármacos aparecen regularmente en los manantiales muestreados, siendo los más comunes doxiciclina, ofloxacino, sulfametazina y sulfametoxazol. Cuando aparecen, las concentraciones son del mismo orden de magnitud. Su gran variabilidad estacional en las fuentes se atribuye tanto a factores hidrológicos como a procesos de transporte reactivo. Sin embargo, dada la estabilidad de los parámetros químicos e isotópicos y la alta reactividad de los fármacos en suelos, postulamos que su aparición podría estar vinculada a fuertes eventos de recarga en el pasado. En síntesis, algunos fármacos están habitualmente presentes en los manantiales, y consecuentemente en los arroyos y en la recarga del acuífero. Sin embargo, la previsibilidad de la aparición de fármacos en manantiales es baja, dificultando la evaluación de la calidad del agua de manantial para usos públicos y la implementación de estrategias de monitoreo eficientes.

Abstract

Pharmaceuticals and antibiotics (PhACs) occur in groundwater from human sources. Natural springs stand as locations where groundwater discharges occur and, provide information about pollutant transport processes. A seasonal survey of pharmaceutical compounds at 11 natural springs in Osona (Barcelona) was conducted to track their behavior, and to describe their fate in the uppermost parts of a hydrogeological system. Neither changes in chemistry nor in stable isotope content, which describe the spring hydrogeology, seem to influence nitrate concentration, as nitrate content stays uniform despite geological variations. A steady hydrological regime can thus be defined for each spring based on chemical data. Just a few PhACs are regularly found in springs, being the most common doxycycline, ofloxacin, sulfamethazine, and sulfamethoxazole. Where found, concentrations are usually about the same order of magnitude. The large seasonal variability of their occurrence in the spring flow is attributed to hydrological factors and reactive transport processes. We postulate that their appearance is linked to past strong recharge events. In synthesis, some PhACs are usually present in the spring flow, and subsequently in streams and aquifer recharge; yet the predictability of their appearance in springs is low. Seasonal variability hinders the assessment of spring water quality for public uses, and the execution of efficient monitoring strategies.

Financiación: Proyecto PACE-IMPACT (FEDER-MCIU-AEI/CGL2017-87216-C4-4-R) y EU Marie Skłodowska-Curie Action (H2020 -MSCA-IF RESOURCE).

Variaciones estacionales de la salinidad del agua subterránea en las márgenes de la Salina Grande de Villafáfila (Zamora)

Seasonal changes of groundwater salinity at the margins of the Salina Grande de Villafáfila (Zamora)

P. Huerta[1], P. Carrasco[2], I. Armenteros[3], C. Recio[3] y J.C. Gonzálo[3]

1 Departamento de Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca. phuerta@usal.es
2 Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca.
3 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca.

Palabras clave: salinidad, laguna, geofísica, SEDT, agua subterránea

Resumen

Las lagunas de Villafáfila han sido utilizadas históricamente para la obtención de sal a partir de la concentración de sus aguas salobres. Actualmente las lagunas están alimentadas por agua de lluvia, por manantiales de agua salobre, asociados a la descarga de flujo subterráneo regional y por la descarga de agua superficial por las laderas que rodean las lagunas. En este trabajo se muestran los resultados de 2 campañas de sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (SEDT), realizadas durante el verano, cuando las lagunas están secas y durante el invierno, cuando las lagunas tienen agua. Estos resultados han sido acompañados por medidas directas de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas. Durante el invierno, la interfase entre el agua dulce recargada en las laderas y el agua salobre que domina debajo de éstas y de las lagunas tiene una pendiente más suave que durante el verano. En invierno, las aguas subterráneas de las márgenes de la laguna recargadas por el agua de lluvia contienen aguas más dulces hacia la superficie mientras que en verano se produce concentración salina hacia la superficie por evaporación en la zona capilar. Además, se observa una retirada de unos 300 m hacia las laderas de la zona dominada por aguas dulces. Se interpreta que la alta evaporación estival en las zonas de baja pendiente produce un bombeo de agua por capilaridad que provoca el ascenso de la interfase entre agua dulce - agua salobre unos 20 m.

Abstract

Villafáfila lakes have been traditionally used for salt extraction by concentration of their brackish waters. Nowadays the lakes are nourished by rain water, by brackish waters from springs related to regional groundwater flows, and by the discharge of fresh groundwaters coming from the hills surrounding the lakes. In this work are shown the results of two geophysical campaigns of time-domain electromagnetic method, carried out during summer, when lakes dry out and during winter when lakes contain water. These results are accompanied by direct measurements of the groundwater electric conductivity. During winter, the freshwater (recharged on the hills) -brackish water (regional groundwaters) interface slope is more gentle than during the summer when it is more steep. Groundwaters in the lake margins are recharged by rain during winter and contain fresh waters close to the ground surface. In contrast during summer, evaporation produces salt concentration in the capillary zone. Besides, a 300 m retreat of the fresh groundwaters towards the hills. It is interpreted that high evaporation during summer produces groundwater pumping through capillarity in the lowlands surrounding the lakes. This provokes about 20 m uplift of the freshwater-brackish water interface.

Agradecimientos: Este trabajo se ha realizado gracias la financiación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, PGC2018-094566-B-C21 y ha contado con la colaboración de la Empresa Técnicas Geofísicas.

Caracterización hidrogeoquímica e isotópica preliminar de los manantiales epiperidotíticos de las Peridotitas de Ronda.

Preliminary hydrogeochemical and isotopic characterization of the epiperidotites springs of the Ronda Peridotites.

P. Jiménez-Gavilán[1], I. Vadillo-Pérez[1] y R. Scapini-Gallardo[1]

1 Grupo de Hidrogeología y Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. pgavilan@uma.es; vadillo@uma.es; rocio-sg97@hotmail.com

Resumen: En los macizos de Sierra Bermeja y Alpujata, que forman parte de uno de los afloramientos más importantes de peridotitas del mundo (Las Peridotitas de Ronda), se ha realizado una caracterización preliminar de las aguas subterráneas clasificadas como epiperidotíticas, a partir de los datos hidroquímicos e isotópicos de 39 manantiales muestreados en los años 2015 y 2019. Este estudio hidrogeoquímico e isotópico preliminar ha permitido definir algunos de los principales procesos hidrogeoquímicos que tienen lugar en los dos macizos, así como la existencia de, al menos, dos modelos de flujo subterráneo diferentes.

Palabras clave: Peridotitas, manantiales epiperidotíticos, flujo subterráneo, hidrogeoquímica, isótopos.

Abstract: *In the Sierra Bermeja and Alpujata massifs, which form part of one of the most important outcrops of peridotite in the world (Las Peridotitas de Ronda), a preliminary characterization of the groundwater classified as epiperidotites has been carried out based on the hydrochemical and isotopic data of 39 springs sampled in the years 2015 and 2019. This preliminary hydrogeochemical and isotopic study have been defined some of the main hydrogeochemical processes occur in the two massifs, as well as at least the existence of two different subsurface flow models.*

Keywords: *Peridotites, epiperidotites springs, groundwater flow, hydrogeochemistry, isotopes*

INTRODUCCIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

En la parte occidental de la provincia de Málaga, al sur de la Península Ibérica (Fig. 1), se encuentra uno de los mayores afloramientos de lherzolitas orogénicas del mundo (Obata, 1980), aunque también se encuentran harzburgitas, dunitas y capas máficas (Hernández-Pacheco, 1967), que se conocen en su conjunto como las Peridotitas de Ronda, y cuya presencia constituye uno de los principales argumentos para la futura declaración de parte de esta área como Parque Nacional.

El macizo peridotítico presenta un grado generalizado de serpentinización, si bien se diferencia una de origen interno (debida a emanaciones hidrotermales), y otra como resultado de la transformación atmosférica del olivino (hidratación superficial) y, que como resultado incluye la presencia de magnesita, clinocloro y forsterita, entre otras asociaciones minerales (Obata, 1980).

El área de estudio abarca una superficie de 450 km^2, si bien sólo se ha trabajado en dos de los macizos: Sierra Bermeja y Sierra Alpujata, en los que se han generado valles, en forma de V y asimétricos (Fig. 1), por donde circulan los ríos Padrón, Castor, Velerín, Guadalmansa, Guadalmina y Guadaiza y los ríos Real, Ojén y Alaminos, respectivamente.

Las peridotitas de Ronda son rocas ígneas plutónicas, poco permeables y con una porosidad primaria inferior al 1%, que favorecen por tanto los fenómenos de escorrentía y que no constituyen acuíferos propiamente dichos. No obstante, el elevado grado de fracturación que presentan los afloramientos peridotíticos, además de favorecer un proceso de serpentinización superficial, permite el desarrollo de una capa de alteración más o menos importante, en función de las características geomorfológicas, que da lugar a niveles acuíferos de diferente entidad (Andreo y Gervilla, 2007). Estos niveles se drenan a través de manantiales de caudal poco importante, mayoritariamente, inferior a 5 L/s, y cuya situación parece estar más ligada a cambios de pendiente (Fig. 1), como demuestra la inexistencia de manantiales en la parte meridional del sector central de Sierra Bermeja debido al importante encajamiento de la red fluvial a estas cotas (Fig. 1). Por otro lado, debido a la cercanía de las peridotitas con los acuíferos aluviales y carbonáticos como Sierra de las Nieves-Prieta y Sierra Blanca (Fig.1), existe la posibilidad de que haya transferencia de agua desde estos acuíferos hacia los niveles permeables peridotíticos, que alterarían la hidroquímica y el contenido isotópico de los manantiales que surgen en estos últimos.

Un primer estudio hidroquímico del conjunto de las surgencias existentes en estos macizos (Vadillo *et al.*, 2015) ha permitido distinguir dos grandes tipologías de aguas subterráneas: una minoritaria, relacionadas con flujos de largo recorrido y profundos, en un sistema cerrado al O_2 y al CO_2, que provoca una mineralización de las aguas, ade-

más de temperatura y pH altos (10-12); y otra mayoritaria (epiperidotíticas), debida a flujos someros o subsuperficiales (de carácter oxidante -sistemas abiertos al O_2 y al CO_2), que experimentan un menor contacto con las rocas , cuyas aguas muestran un pH entre 7-9 y mineralización menor.

Este trabajo se centra solamente en las aguas epiperidotíticas y pretende explicar las diferencias hidrogeoquímicas e isotópicas, que se observan dentro de esta tipología.

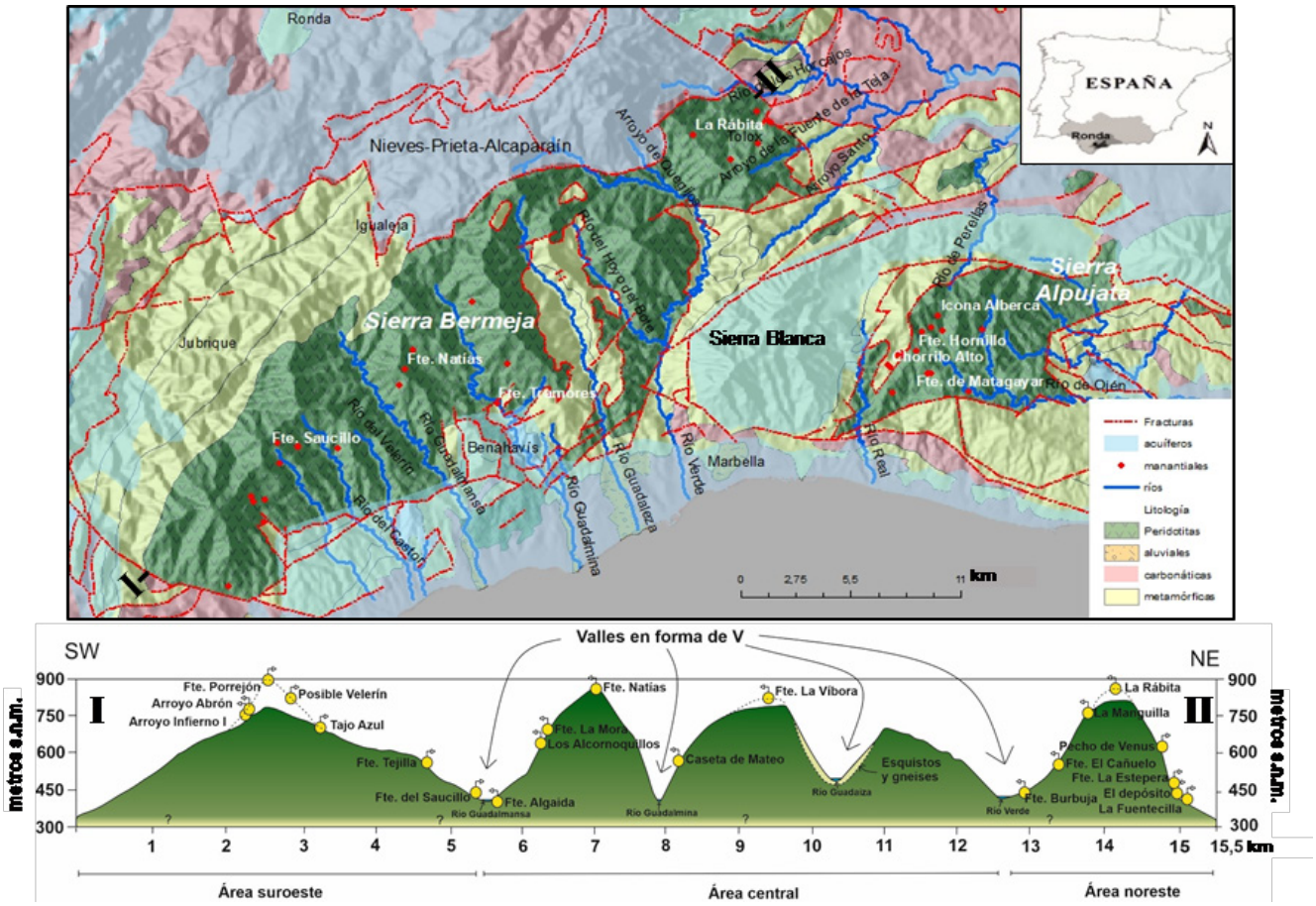


FIGURA 1. Mapa geológico e hidrogeológico de los afloramientos de Sierra Bermeja y Sierra Alpujata (Peridotitas de Ronda) junto con la localización de los puntos de muestreo (manantiales epiperidotíticos).

MATERIAL Y MÉTODOS

Los 39 manantiales epiperidotíticos, de los que 24 se encuentran en Sierra Bermeja y 15 en Sierra Alpujata (Fig. 1), fueron inventariados en trabajos anteriores (Vadillo *et al.*, 2015) y constituyen la red de control de este trabajo. Durante los muestreos llevados a cabo en las primaveras de 2015 y 2019, se midieron in-situ parámetros físico-químicos del agua: Conductividad Eléctrica, Temperatura (T) y pH, con una sonda Hach-Lange® (HQ40d). No obstante, este trabajo se ha centrado en el análisis de los resultados de los contenidos de los principales iones e isótopos estables de agua (δ^2H, $\delta^{18}O$) y de carbono inorgánico disuelto ($\delta^{13}C$), mediante la representación de las diferentes variables hidroquímicas e isotópicas en diversos tipos de gráficos. Los análisis de las muestras de agua se realizaron en el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga con equipos de cromatografía iónica de marca Metrohm® para la analítica de los iones y equipos de espectroscopía láser PICARRO® para la medida de los isótopos de agua y del carbono inorgánico disuelto.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA

A excepción de dos manantiales de Sierra Bermeja (Fuente Algaida y Fuente Burbuja), que muestran una facies bicarbonatada cálcico-magnésica, los manantiales epiperidotíticos de ambos macizos muestran, mayoritariamente, facies bicarbonatadas magnésicas (Fig. 2). La génesis de esta facies hidroquímica, al igual que ocurre en otros afloramientos peridotíticos del mundo (por ejemplo, Barnes y O'Neil, 1969), se debe probablemente a la hidrólisis por aguas subterráneas poco profundas (equilibradas con el CO_2 y el O_2 atmosférico), de los minerales magnesianos que componen la peridotita, como por ejemplo la forsterita (Paukert *et al.*, 2012):

$$Mg_2SiO_4 + 4CO_{2(g)} + 2H_2O \rightarrow 2Mg^{2+}_{(d)} + 4HCO_{3-(d)} + SiO_{2(d)}$$

Esta reacción, como resultado de la infiltración del agua de lluvia a través de la peridotita serpentinizada en condiciones de CO_2 atmosférico, aumenta el contenido en Mg y H_4SiO_4 y, en menor medida, el pH del agua que conduce a aguas ligeramente alcalinas (pH > 8) y enriquecidas en los contenidos en Mg^{2+} y HCO_3^- (Marques *et al.*, 2008; Paukert *et al.*, 2012). Así, se observa que la relación entre estas variables hidroquímicas para las aguas de facies bicarbonatadas magnésicas es muy alta (Fig. 3A), lo que obliga, en parte, a invocar un mismo proceso hidrogeoquímico para explicar el aumento de las concentraciones de ambas variables.

En este sentido, prácticamente todas las muestras de agua de los dos macizos tienen índices de Mg^{2+}/HCO_3^- similares o superiores a los definidos por la disolución de la forsterita (Fig. 3B), así como una relación rCa^{2+}/rMg^{2+} característica del campo de la disolución de las serpentinita (Fig. 3C), por lo que la disolución de los minerales de Mg (como los piroxenos, olivinos y serpentinas), explicarían el aumento progresivo del contenido en Mg^{2+} y HCO_3^- de las aguas drenadas (Margiotta *et al.*, 2012), y se erige como el proceso hidrogeoquímico más destacado.

Por otro lado, las relaciones iónicas características que se muestran en la figura 3 apuntan a que la disolución de litologías de naturaleza dolomítica es el principal proceso hidrogeoquímico que explica la facies hidroquímica de las surgencias de Fuente Burbuja y Fuente Algaida. En cambio, otras surgencias de este mismo macizo, como Fuente

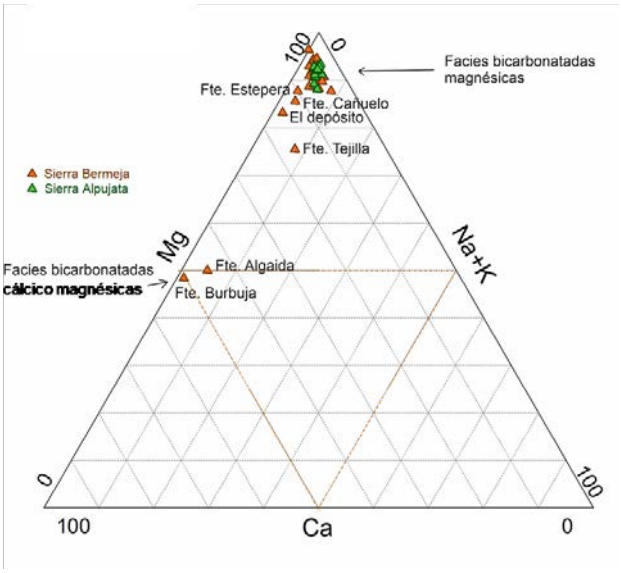


FIGURA 2. Representación de los valores medios de las dos campañas realizadas en los manantiales epiperidotíticos en el diagrama de cationes de Piper.

Tejilla, Fuente Algaida y Fuente Estepera, que también muestran una facies hidroquímica bicarbonatada magnésica (Fig. 2) y que se sitúan cercanos al contacto de las peridotitas con materiales de naturaleza carbonática, presentan un mayor contenido en Ca^{2+}, si bien las relaciones iónicas características (Fig. 3) no permiten diferenciar una

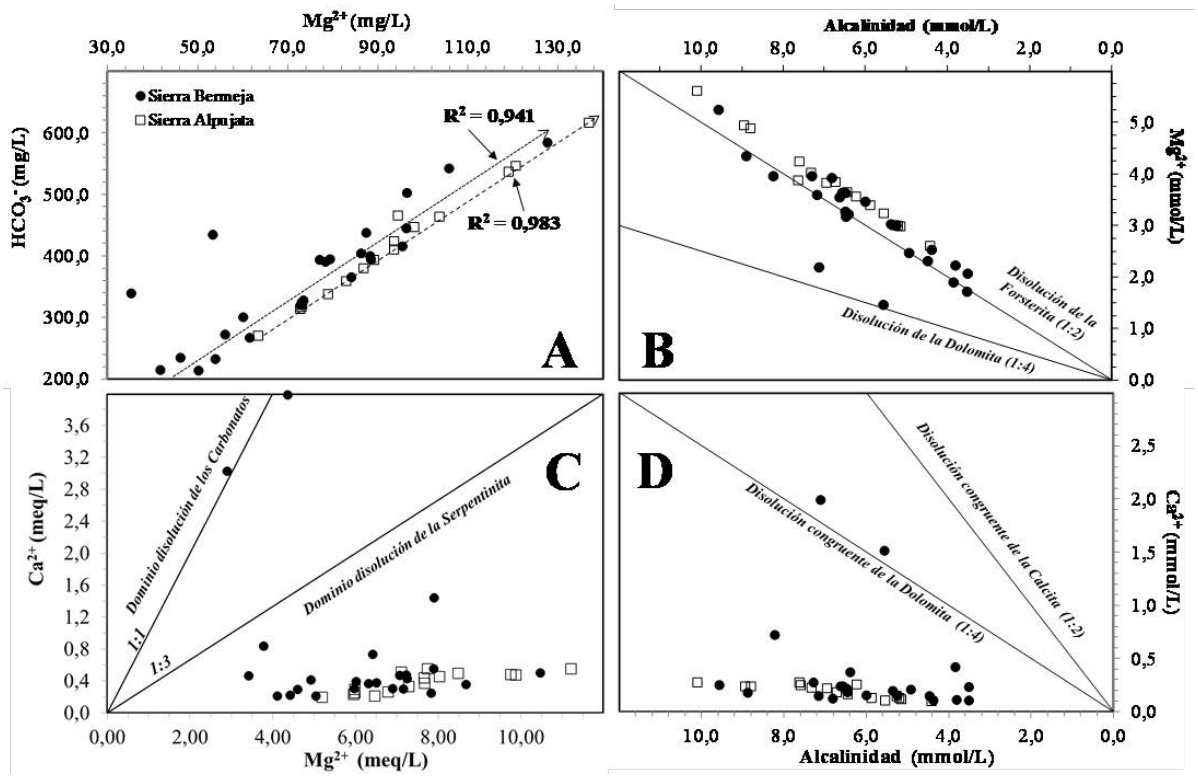


FIGURA 3. (A) Relaciones entre los contenidos en Mg^{2+} y la alcalinidad (como HCO_3-) e iónicas Mg^{2+}/Alcalinidad (B), Ca^{2+}/Mg^{2+} (C) y Ca^{2+}/Alcalinidad (D) de las aguas subterráneas de los manantiales epiperidotíticos de Sierra Bermeja y Sierra Alpujata.

tipología de aguas que sea característica de un proceso hidrogeoquímico diferente a los anteriormente descritos.

En cuanto a los resultados isotópicos, las aguas de los manantiales de Sierra Alpujata muestran valores promedio de $\delta^{18}O$ más pesados que los de Sierra Bermeja (Fig. 4), como consecuencia de su mayor cercanía al mar. Además, en ambos macizos se observa un fraccionamiento isotópico debida a la altitud de recarga (efecto altitudinal), mientras que en Sierra Bermeja debido a su mayor tamaño y su posición con respecto a las entradas de los frentes nubosos se observa un efecto continentalidad que produce un fraccionamiento isotópico desde el SW al NE (Fig. 4).

Las aguas subterráneas epiperidotíticas de ambos macizos muestran valores de $\delta^{13}C$ bajos (-14,06‰ a -19,85‰) y valores de HCO_3^- (Fig. 5) relativamente altos (> 200 mg/L). En la relación entre ambas variables (Fig. 5) se asume que: 1) el CO_2 atmosférico actual tiene valores de δ13C ~ -10‰; 2) que el suelo y la vegetación genera un CO_2 empobrecido en este isótopo que da valores entre -22‰ y -25‰ y 3) que la incorporación del CO_2 en el agua tiene lugar principalmente en un sistema abierto y a un pH en el que predomina el HCO_3^-. Con todo ello, se observa una relación exponencial decreciente para las aguas subterráneas epiperidotíticas de ambos macizos (Fig. 5), que permite diferenciar dos tipologías de aguas subterráneas diferentes: una con menor concentración de bicarbonatos e isotópicamente más pesada (entre -14‰ y -17,5‰), que pone de manifiesto el dominio del CO_2 atmosférico frente al procedente del suelo, como consecuencia de una circulación más superficial del agua subterránea que permite un equilibrio con la atmósfera; y otra con mayor cantidad de bicarbonatos y valores de $\delta^{13}C$ más ligeros (característicos de una mezcla isotópica con mayor participación del CO_2 del suelo que de la atmósfera), lo que puede indicar, a priori, una circulación subterránea que dificulta que se produzca una señal isotópica en equilibrio con la atmósfera y, por tanto, característica de una mayor profundidad de circulación y tiempo de tránsito.

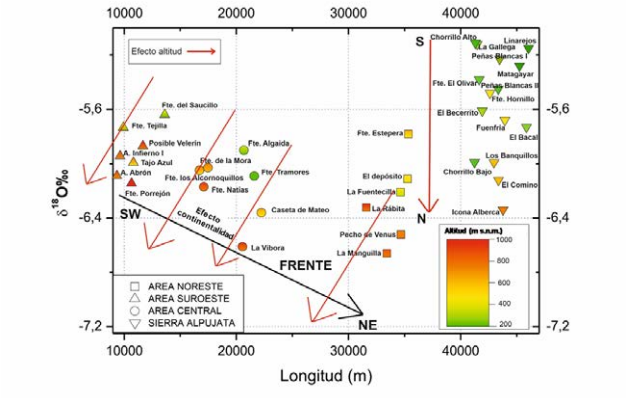


FIGURA 4. Variación longitudinal de $\delta^{18}O$ de oeste a este (tomando como referencia el punto de descarga más al oeste -5º13'27.36"O-) en los manantiales muestreados (se indica la altitud aproximada) de las tres áreas de Sierra de Sierra Bermeja (ver división en la Figura 1) y Sierra Alpujata.

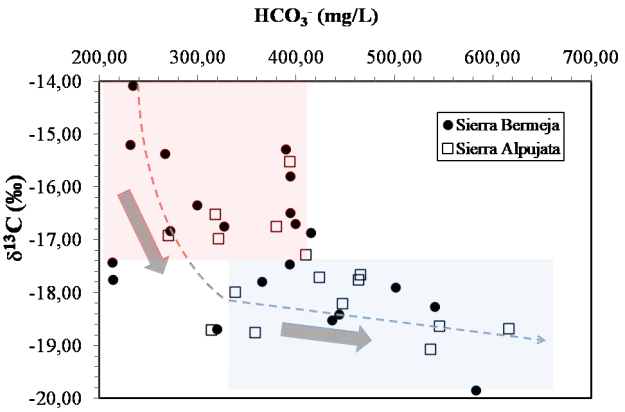


FIGURA 5. Relación del $\delta^{13}C$ y de la alcalinidad (como contenido en HCO_3^-) en los manantiales muestreados.

CONCLUSIONES

La caracterización hidrogeoquímica e isotópica de los manantiales epiperidotíticos de Sierra Bermeja y Sierra Alpujata ha puesto de manifiesto que los dos macizos funcionan como sistemas independientes. Además, en ambos macizos se observan los mismos procesos hidrogeoquímicos, en los que la disolución, por aguas subterráneas poco profundas (equilibradas con el CO_2 y el O_2 atmosférico), de los minerales magnesianos que componen la peridotita explica el aumento progresivo del contenido en Mg^{2+} y la alcalinidad de las aguas subterráneas, si bien la combinación de datos hidroquímicos e isotópicos ha permitido definir, de manera preliminar, dos modelos de flujo subterráneo con características de profundidad de circulación y tiempo de tránsito diferentes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Grupo de Hidrogeología de la UMA (RNM-308) y a los proyectos del Plan Propio y de Fondos FEDER de la UMA (UMA18-FEDERJA-101): "Hidrogeoquímica de las Peridotitas de Ronda: Caracterización de las aguas subterráneas y del metano asociado". Asimismo, se agradece a un revisor anónimo las recomendaciones para la mejora de este manuscrito.

REFERENCIAS

Andreo, B. y Gervilla, F. (2007): Las Peridotitas de Ronda. En: *Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga.* IGME-Diputación de Málaga, Madrid, 2: 212-216.

Barnes, I. y O'Neil, J.R. (1969): The relationship between fluids in some fresh alpine type ultramafics and possible modern serpentinization, western United States. *GSA Bulletin*, 80(10): 1947–1960

Hernández-Pacheco, A. (1967): Estudio petrográfico y geoquímico del macizo ultramáfico de Ojén (Málaga). *Estudios Geológicos*, 23: 85-143.

Margiotta, S., Mongelli, G., Summa, V., Paternoster, M., Fiore, S. (2012): Trace element distribution and Cr(VI) speciation in Ca-HCO_3 and Mg-HCO_3 spring waters from

the northern sector of the Pollino massif, southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 115: 1–12.

Marques, J.M., Carreira, P.M., Carvalho, M.R., Matias, M.J., Goff, F.E., Basto, M.J., Graça, R.C., Aires-Barros, L., Rocha, L. (2008): Origins of high pH mineral waters from ultramafic rocks, Central Portugal. *Applied Geochemistry*, 23: 3278-3289.

Obata, M. (1980): The Ronda peridotite: garnet-, spinel-, and plagioclase-lherzolite facies and the P–T trajectories of high temperature mantle emplacement. *Journal of Petrology*, 21: 533–572.

Paukert, A.N., Matter, J.M., Kelemen, P.B., Shock, E.L., Havig, J.R. (2012): Reaction path modeling of enhanced in situ CO_2 mineralization for carbon sequestration in the peridotite of the Samail Ophiolite, Sultanate of Oman. *Chemical Geology*, 330: 86-100.

Vadillo, I., Urresti. B., Jiménez, P., Martos, S., Durán, J.J., Benavente, J., Carrasco, F. y Pedrera, A. (2015). Caracterización hidrogeoquímica preliminar de las peridotitas de Ronda (provincia de Málaga). En: *SIAGA 2015*: 515-525.

Integración de información litoestratigráfica e hidrogeológica en un único documento gráfico: columnas hidro-estratigráficas

Integration of lithostratigraphic and hydrogeological information in a single graphic document: hydro-stratigraphic columns

J. López-Gutiérrez[1], A. de la Hera-Portillo[1], C. Marín-Lechado[2], A. Ruíz-Constán[2], F. Rubio[3] y F. Bohoyo Muñoz[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. j.lopezgu@igme.es; a.delahera@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Urbanización Alcázar del Genil, 4. Edificio Zulema bajo, 18006 Granada. c.marin@igme.es; a.ruiz@igme.es
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ La Calera, 1, 28760 Tres Cantos – Madrid. fm.rubio@igme.es; f.bohoyo@igme.es

Palabras clave: litoestratigrafía, conexión hidráulica, relaciones de yacencia, parámetros hidráulicos, Medina del Campo.

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología de trabajo que se ha manifestado útil en el estudio de la Masa de Agua Subterránea (MASb) de Medina del Campo (Cuenca del Duero, España): (1) Se ha recopilado toda la información geológica disponible sobre registros de sondeos, obtenidos de distintas fuentes. (2) Esta información ha sido procesada, depurada, ordenada y analizada de forma pormenorizada, seleccionando aquéllos puntos con datos fiables en cuanto al registro sedimentario identificado. (3) Se han elaborado tres columnas litoestratigráficas representativas de las tres zonas en las que se ha subdividido la MASb. Dichas columnas incluyen las relaciones de yacencia entre las formaciones geológicas, el tipo de acuífero/s que conforma cada una de las relaciones de conexión hidráulica entre las formaciones presentes, y la información hidrogeológica destacada relativa a parámetros hidráulicos específicos tales como permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Estas columnas hidro-estratigráficas aportan un valioso recuso de síntesis y compilación del estado de conocimiento hidrogeológico, así como un resumen gráfico que puede ser extrapolado sin dificultad con garantías de utilidad y posibilitando estudios comparativos si se define y aplica un simbolismo estandarizado.

Abstract

This work presents a work methodology that has proved useful in the study of the Medina del Campo groundwater body (Duero Basin, Spain): (1) All available geological information on sounding records, obtained from different sources, has been compiled. (2) This information has been processed, purified, sorted and analysed in detail, selecting those points with reliable data regarding the sedimentary record identified. (3) Three lithostratigraphic columns have been designed, representing the three areas into which the groundwater body has been divided. They include the lying relationships between the geological formations, the type of aquifer/s that make up each of the hydraulic connection relationships between the existing formations, and the outstanding hydrogeological information related to specific aquifer parameters such as permeability, transmissivity and storage coefficient. These hydro-stratigraphic columns provide a valuable recuse of synthesis and compilation of the state of hydrogeological knowledge, as well as a graphic summary that can be extrapolated without difficulty with guarantees of utility and enabling comparative studies if a standardized symbolism is defined and applied.

Evolución hídrica de las Lagunas Reales (Cuenca del Duero, España) durante los siglos XX y XXI

Hydraulic evolution of the Lagunas Reales (Duero Basin, Spain) during the 20th and 21st centuries

R. Mediavilla[1], J.I. Santisteban[2], V. Borruel[2], A. de la Hera-Portillo[1], M. T. López[1] y J.C. Gumiel[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, r.mediavilla@igme.es; a.delahera@igme.es; mt.lopez@igme.es; jc.gumiel@igme.es

2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, U.C.M., José Antonio Novais 12, 28040 Madrid, j.i.santisteban@geo.ucm.es; violeta.borruel@igeo.ucm-csic.es

Palabras clave: Lagunas Reales; Cuenca del Duero; clima; hidrología; hidrogeología.

Resumen

Las Lagunas Reales se sitúan al sureste de Medina del Campo (Valladolid), dentro de un Espacio Natural Protegido denominado Humedales de Los Arenales (ES4180147), y se asientan sobre sedimentos arcósicos del Terciario de la Cuenca del Duero (Pineda et al, 2014). En este trabajo se analiza la evolución hídrica de las lagunas durante los siglos XX y XXI, a partir del estudio de series meteorológicas de AEMET, datos hidrogeológicos del IGME, información de fotografías aéreas consultada en el IGN, imágenes ópticas multiespectrales de satélite y datos agrarios y de evolución de la población obtenidos del INE. Los resultados indican que hasta 1985 el humedal estuvo alimentado, además de por las aguas de lluvia, por aguas subterráneas. A partir de esa fecha en adelante se produce la desconexión del humedal del acuífero regional (acuífero detrítico del Duero), como consecuencia de un descenso piezométrico motivado por una la explotación intensiva de las aguas subterráneas, principalmente para uso agrícola. Con posterioridad a 1985, se observa lámina de agua únicamente en los años de precipitaciones importantes y durante estos episodios las lagunas constituyen un área de recarga del acuífero. El análisis de la evolución hídrica de las Lagunas Reales y su relación con la actividad antrópica pone de manifiesto que la resiliencia del humedal a las afecciones antrópicas es muy pobre.

Abstract

The Lagunas Reales are located southeast of Medina del Campo (Valladolid), within the Special Protected Area (SPA) called "Humedales de Los Arenales" (ES4180147) and lie on arkoses of the Tertiary Duero Basin. This paper analyzes the water evolution of the lagoons during the 20th and 21st centuries, based on the study of AEMET weather series, hydrogeological data of the IGME, information on aerial photographs consulted in the IGN, satellite multispectral optical images and agricultural and population evolution data obtained from the Spanish National Statistical Institute. The results indicate that until 1985 the wetland was fed, in addition to rainwater, by groundwater and that from that date in advance, it is disconnected from the regional detrital aquifer of the Duero, as result of a piezometric drawdown caused by the intensive exploitation of groundwater by farming. After 1985, the water table is only observed in the rainiest years (1991, 1998, 2001, etc.) and, during these episodes, they become a recharge area for the aquifer. The analysis of the water table evolution of the Lagunas Reales and their relationship with anthropic activity shows that the resilience of the wetland to anthropic conditions is very poor.

Referencias

Pineda, A.; Salazar, A. y Camero, Y. (2014). *Mapa Geológico de España, 1:50.000, 2ª Serie, hoja nº 427 (Medina del Campo) y memoria*. IGME.

Agradecimientos: Proyecto Europeo NAIAD (NAture Insurance value: Assessment and Demonstration, Grant Agreement No. 730497).

La compartimentación del acuífero kárstico del Parque Nacional de los Picos de Europa: factores condicionantes

The compartmentalization of the karst aquifer of the Picos de Europa National Park: conditioning factors

M. Meléndez[1], D. Ballesteros[2] y M. Jiménez-Sánchez[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Calle Matemático Pedrayes, 25, 33005 Oviedo, España. m.melendez@igme.es
2 UMR 6266 IDEES, Université de Rouen Normandie-CNRS, 76821 Mont Saint-Aignan CEDEX, Francia. balledan@univ-rouen.fr
3 Dep. de Geología, Universidad de Oviedo. Calle Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo, España. mjimenez@uniovi.es

Palabras clave: acuífero kárstico, acuitardo, karst, Picos de Europa.

Resumen

La principal unidad hidrogeológica del Parque Nacional se corresponde con más de 1000 m de calizas carboníferas con dirección O-E y NO-SE con gran desarrollo kárstico (depresiones cerradas, lapiaces más de 420 km de conductos documentados por los equipos espeleológicos) (Ballesteros *et al.,* 2015). Este acuífero está compartimentado en "cuerpos de agua subterránea menores" (SGWB) con volúmenes entre 2-108 km^3 (Melendez *et al.* 2020), como consecuencia: 1) la compleja estructura geológica resultante de la superposición de dos orogenias (Varisca y Alpina) que tuvo como resultado la acumulación vertical de más de 4 km de calizas y su posterior extensión pérmico-mesozoica; 2) la disposición de formaciones de menor permeabilidad (acuitardos) a muro o intercalados en el interior del acuífero; 3) la orientación E-O de los acuitardos y su inclinación generalizada al N, que condicionan la karstificación y la circulación general del flujo de agua subterránea hacia la zona septentrional del Parque. La descarga principal del acuífero se realiza a través de surgencias de más de 10 l s^{-1}, situadas entre 120 m s.n.m. (N del Parque) y 1300 m s.n.m. (Macizo Occidental) que drenan uno o más SGWB (Ballesteros *et al.,* 2015).

Abstract

The main hydrogeological unit of the Park corresponds to a very thick series of carboniferous limestones with a W-E and WO-SE orientation with a great karst development (different exkárstic manifestations and more than 420 km of karst ducts documented by speleologists) (Ballesteros et al., 2015). This aquifer is compartmentalized into "smaller groundwater bodies" (SGWB) with dimensions between 2 and 108 km^3 in volume (Melendez et al. 2020). It is the result of different factors: 1) the complex geological structure resulting from the superposition of two orogeny (Varisca and Alpine) that resulted in the vertical accumulation of more than 4 km of limestones and the Permian-Mesozoic extension; 3) the layout of formations of less permeability (aquitards) located at the wall or interspersed in the karst aquifer and; 3) W-O orientation of the aquitards and their general inclination to the N have conditioned the evolution of karstification and the general circulation of groundwater flow to the N area of the Park . The main discharge of the aquifer is carried out by means of springs (more than 200 l s^{-1}), located between 120 m a.s.l. (N of the Park) and 1300 m a.s.l. (Western Massif) that drain one or more SGWB (Ballesteros et al., 2015).

Referencias

Ballesteros, D., Malard, A., Jeannin, P.-Y., Jiménez-Sánchez, M., García-Sansegundo, J., Meléndez-Asensio, M. y Sendra, G. (2015). *Environ. Earth Science* 74, 7699–7714. doi:10.1007/s12665-015-4712-0

Meléndez, M. Ballesteros, D. y Jiménez-Sánchez, M. (2020). *Boletín Geológico y Minero*. En prensa

Análisis de la influencia de las aguas subterráneas en la hidrología de lagunas de nueva creación (La Pletera, Girona)

Analysis of groundwater dependence on newly created coastal lagoons (La Pletera, Girona)

W. Meredith[1], X. Casamitjana[2], X. Quintana[3], M. Bas-Silvestre[3], M. Antón-Pardo[3], D. Boix[3], J. Pascual[3], M. Martinoy[3], D. Brusi[1], J. Mas-Pla[1] y A. Menció[1]

1 Centro de Geologia y Cartografía Ambiental (GEOCAMB), Facultad de Ciencias, Universidad de Girona 17003 Girona warren.meredith@udg.edu, anna.mencio@udg. edu,david.brusi@udg.edu, josep.mas@udg.edu,

2 Escuela Politécnica Superior, Universidad de Girona 17003 Girona. xavier.casamitjana@udg.edu

3 GRECO, Instituto de Ecología Acuática, Facultad de Ciencias, Universidad de Girona 17003 Girona xavier.quintana@udg.edu, maria.bas@udg.edu, mariateresa.anton@udg.edu, dani.boix@udg.edu, monicmartinoy@gmail.com, jpascual@meteolestartit.cat

Palabras clave: Lagunas costeras, aguas subterráneas, restauración.

Resumen

Las lagunas costeras confinadas son aquellas que presentan un corto período de conexión con el mar. Las características limnológicas de estas lagunas se relacionan con las descargas de agua dulce, ya sea de la escorrentía superficial o subterránea. La marisma de La Pletera (Girona) es un ecosistema costero mediterráneo con lagunas de tipo confinado y situado en un área protegida. Esta marisma fue restaurada en el marco de un proyecto Life+. En un estudio previo (Casamitjana *et al.*, 2019) se utilizó el "General Lake Model" (GLM) para estimar los flujos de entrada, salida y evaporación del agua en tres lagunas existentes (dos naturales y una construida en 2002) a fin de establecer el balance hídrico y determinar los efectos de la hidrología y la hidrogeología, sobre el funcionamiento del sistema acuífero-laguna. En el presente estudio, se utiliza el mismo modelo para comparar estas lagunas con tres lagunas creadas en 2016 para analizar y comparar su comportamiento hidrogeológico y el efecto que los esfuerzos de restauración tuvieron en cada laguna. El conocimiento de esta dinámica hidrológica ayudará a desarrollar pautas de gestión sostenible para este tipo específico de ecosistemas.

Abstract

Confined lagoons have short periods of connection with the sea and their limnological characteristics are mainly related to freshwater discharges, either from surface run-off or groundwater. La Pletera salt marshes (Girona) is a confined Mediterranean coastal ecosystem under the Life+ project aimed at restoring this protected area. A previous study (Casamitjana et al., 2019) used the "General Lake Model" (GLM) to estimate water inflows, outflows and evaporation fluxes on three existing lagoons (two natural and one newly constructed in 2002), in order to establish the water balance and determine the effects of hydrology and hydrogeology on the functioning of the aquifer-lagoon system. In this study, we analyze three newly created lagoons, in 2016, and use the same model to compare these lagoons with the previously studied. We analyze and compare the hydrogeological pattern of these lagoons and the effect the restoration efforts had on each lagoon. Specifically, we determine their dependence on groundwater resources, to find out if water circulation is mainly determined by sudden surface inputs, or is mainly driven by groundwater circulation. Knowledge of these hydrological dynamics will help in developing sustainable management guidelines for these specific type of ecosystems.

Referencias

Casamitjana, X., Menció, A., Quintana, X. D., Soler, D., Compte, J., Martinoy, M. y Pascual, J. (2019). *Journal of Hydrology* 575, 1178-1187

Financiación: Proyectos PACE-IMPACT (FEDER-MCIU-AEI/CGL2017-87216-C4-4-R), CoMeDi (AEI-FEDER-UE/CGL2016-76024-R) y el +proyecto de la Comunidad Europea LIFE 13 NAT/ES/001001.

Origen de las aguas subterráneas hipersalinas asociadas al complejo olistostrómico del Guadalquivir (Andalucía)

Origin of hypersaline groundwater associated with the Guadalquivir olistostromic complex (Andalusia)

F. Moral Martos[1]

1 Universidad Pablo de Olavide, Carretera de Utrera, km 1, 41013, Sevilla. fmormar@upo.es

Resumen: La hidrología de la Campiña Andaluza (franja meridional de la Depresión del Guadalquivir) se caracteriza por la existencia de aguas subterráneas hipersalinas, responsables de la gran cantidad de arroyos salados existentes en la región. La salmuera surge en pequeños manantiales que tradicionalmente han sido aprovechados para la producción de sal. Las aguas poseen un carácter hidrotermal débil, con temperaturas que suelen superar entre 4 y 6 ºC a la temperatura media ambiental. Por lo general, las aguas presentan contenidos salinos comprendidos entre 150 y 300 mg/L y una facies hidroquímica marcadamente clorurada sódica. Las altas concentraciones en Cl^-, Na^+, SO_4^{2-} y Ca^{2+} implican la disolución de halita y yeso, presentes en las arcillas y evaporitas triásicas de facies Keuper del complejo olistostrómico del Guadalquivir. La ausencia de halita en los niveles más superficiales, la baja permeabilidad de los materiales arcillosos y el hidrotermalismo implican un origen profundo de las aguas que difícilmente puede relacionarse con la recarga actual de aguas meteóricas. Por ello, se propone un origen fósil de la salmuera que sería expulsada a medida que se produce el desmantelamiento erosivo de los materiales triásicos.

Palabras clave: Arcillas con evaporitas, salmuera, hidrotermalismo, aguas fósiles.

Abstract: *The hydrology of the Andalusian Campiña (southern strip of the Guadalquivir Depression) is characterized by the existence of hypersaline groundwater, responsible for the large number of salty streams in the region. The brine arises in small springs that have traditionally been used for salt production. The waters have a weak hydrothermal character, with temperatures that usually exceed between 4 and 6 ºC to the environmental average temperature. In general, waters have saline contents between 150 and 300 mg/L and a markedly sodium chloride hydrochemical facies. The high concentrations in Cl^-, Na^+, SO_4^{2-} and Ca^{2+} imply the dissolution of halite and gypsum from the Triassic lutites and evaporites (Keuper facies) of the Guadalquivir olistostromic complex. The absence of halite at the most superficial levels, the low permeability of the lutites and the hydrothermalism imply a deep origin of the waters that can hardly be related to the current recharge of meteoric waters. Therefore, a fossil origin of the brine is proposed, which would be expelled as erosive dismantling of the Triassic materials occurs.*

Keywords: *Evaporite-bearing lutites, brine, hydrothermalism, fossil waters.*

INTRODUCCIÓN

La parte meridional de la Depresión del Guadalquivir, situada entre los relieves béticos y las llanuras aluviales del Guadalquivir, se caracteriza por un relieve alomado desarrollado sobre materiales arcillosos triásicos y miocenos. Este territorio, denominado Campiña Andaluza, ocupa una superficie de 14000 km^2 y forma una franja de 300 km de longitud, desde el norte de la provincia de Cádiz hasta el centro de la provincia de Jaén (Fig. 1). Las arcillas triásicas (facies Keuper), contienen abundantes masas de yeso y engloban numerosos olistolitos post-triásicos, mayoritariamente de naturaleza carbonática (Complejo Olistostrómico; Vera, 2004).

Estos materiales arcilloso-evaporíticos contienen masas de aguas subterráneas de carácter hipersalino que descargan por manantiales de muy escaso caudal, que tradicionalmente han sido aprovechados para la producción de sal en pequeñas explotaciones salineras, en la actualidad, mayoritariamente abandonadas (Moral *et al.*, 2019b). Por otro lado, estos aportes de aguas hipersalinas explican la abundancia de arroyos salados en la Campiña Andaluza (Moral y Martos, 2018).

Los objetivos de este trabajo son la caracterización físico-química de las aguas subterráneas hipersalinas de la Campiña Andaluza a partir de los datos tomados en campo y la propuesta de una hipótesis sobre el origen de las mismas.

CONTEXTO HIDROLÓGICO

Las precipitaciones anuales medias en la mayor parte de la Campiña Andaluza están comprendidas entre 475 y 575 mm/año. La elevada capacidad de retención de agua de los suelos arcillosos determina una lluvia útil inferior a 100

mm/año, concentrada en los meses de invierno. Casi toda la escorrentía discurre superficialmente a causa de la baja permeabilidad de las arcillas, por lo que el régimen de caudales de la mayor parte de la red fluvial es de carácter estacional. No obstante, la presencia de afloramientos de yeso en el seno de las arcillas permite flujos subterráneos de cierta entidad y el desarrollo de procesos de karstificación. Localmente, como en los sectores de Los Hoyos (Málaga-Granada) o de Los Piedros (Córdoba), estos fenómenos pueden tener un notable desarrollo.

Aunque desde un punto de vista cuantitativo son casi despreciables, en la Campiña Andaluza existen flujos subterráneos de aguas hipersalinas, con salinidades próximas a 300 mg/L, que condicionan las características químicas de las aguas superficiales de la zona de estudio (Moral *et al.*, 2019a). Estos flujos surgen por numerosos manantiales y rezumes, de caudal casi siempre inferior a 0,5 L/s (Fig. 2). No obstante, los manantiales más caudalosos, relacionados con los afloramientos de yesos de los sectores de Brujuelo (Jaén) y Los Piedros, presentan caudales medios próximos a 5 L/s (Gil-Márquez, 2018).

Otro rasgo hidrológico peculiar de la zona de estudio es la existencia de un centenar de cuencas endorreicas, en general, de escasas dimensiones, que albergan lagunas de hidroperiodo estacional y aguas salobres a salinas. Se estima que el endorreismo afecta a un 4% de la superficie de la Campiña Andaluza (Moral y Martos, 2018).

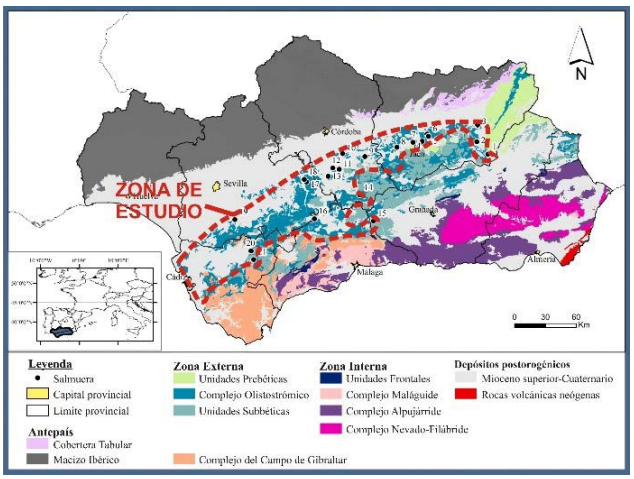


FIGURA 1. Localización geológica de la Campiña Andaluza y de las principales salinas de interior de Andalucía.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS HIPERSALINAS

A lo largo de los meses de primavera y verano de 2018, y en menor medida de 2019, se realizaron varias campañas de campo en las que se midió la temperatura y conductividad eléctrica del agua y se tomaron muestras para su análisis en laboratorio.

En la Fig. 3 se representa la temperatura de doce puntos representativos de las masas de agua subterránea correspondientes. Los valores de temperatura están comprendidos entre 18,7 ºC en el manantial de Romeroso (Quesada,



FIGURA 2. Fotografía de uno de los manantiales existentes en la antigua salina de San José (Torredonjimeno, Jaén).

Jaén) y más de 24 ºC en el sondeo de Vélez (Jaén) y en el manantial de Balmaseda (Écija, Sevilla). También se ha representado la temperatura media y el gradiente térmico ambiental obtenido a partir de varias estaciones climáticas distribuidas por la zona de estudio (https://sig.mapama.gob.es/siga/). Salvo en el manantial de Romeroso, en todos los casos la temperatura del agua subterránea supera en más de 3,5 ºC a la temperatura media ambiental. La máxima diferencia, de 7,5 ºC se observa en el sondeo de Vélez. De acuerdo con el criterio de Custodio y Llamas (1983), se trataría de aguas con débil termalismo.

Como se observa en la Tabla I, casi todas las aguas presentan una conductividad eléctrica comprendida entre 190 y 230 mS/cm, salvo el manantial de Iptuci y los sondeos de Sierra de Yeguas y Valcargado. De igual manera, el contenido salino está comprendido entre 163 y 295 g/L, excepto en los tres últimos puntos citados anteriormente, en los que se observan valores inferiores (98 a 141 g/L).

En todos los casos, las aguas tienen una facies hidroquímica marcadamente clorurada sódica, con contenidos de Cl^- y Na^+ de hasta 173 y 116 mg/L, respectivamente en el sondeo de Vélez. Estas concentraciones, casi 10 veces mayores a las del agua marina, son indicativas de saturación en halita. La relación Cl^-/Na^+ es próxima 1 (0,93 a 1,06) y siempre inferior a la del agua del mar (1,16).

Los siguientes iones más abundantes son el SO_4^{2-} (2,9 a 6,7 g/L) y el Ca^{2+} (1,3 a 1,9 g/L). La relación SO_4^{2-}/Ca^{2+} muestra un amplio rango, con valores mínimos próximos a 1,05 en Vélez y Fuente Camacho (Loja, Granada) y máximos de 2,1 en Romeroso. Finalmente, las concentraciones medias de Mg^{2+} (0,49 g/L) y K^+ (0,38 g/L) son ligeramente inferiores a las del agua marina.

ORIGEN DE LAS AGUAS HIPERSALINAS

La distribución de los puntos de agua hipersalina pone en evidencia la estrecha relación genética entre la salmuera y las arcillas con yeso triásicas. Desde el punto de vista hidrogeológico este conjunto se caracteriza por su baja permeabilidad, confirmada por la casi ausencia de manantiales

relacionados con las arcillas y por el régimen estacional de la red de drenaje superficial.

No obstante, existen afloramientos de yesos de cierta entidad, en los que se desarrollan morfologías y fenómenos kársticos, a los que se asocian manantiales con unas características hidrodinámicas, térmicas e hidroquímicas claramente influenciadas por la distribución de la precipitación. El manantial del Molino de los Aguileras (Archidona, Málaga), descrito con detalle por Gil-Márquez (2018), es un buen ejemplo de estos tipos de manantiales. Posee un caudal medio de 15 L/s, una temperatura del agua próxima a la media ambiental (17,2 ºC), una conductividad eléctrica de 2,9 mS/cm y aguas de facies sulfatada cálcica. Se trataría, por tanto, de flujos subterráneos más rápidos y someros que los de las salmueras descritas en el apartado anterior. Comparativamente, los manantiales hipersalinos presentan caudales bastante más bajos y poco variables, aguas ligeramente termales, mucho más salinas y de facies clorurada sódica.

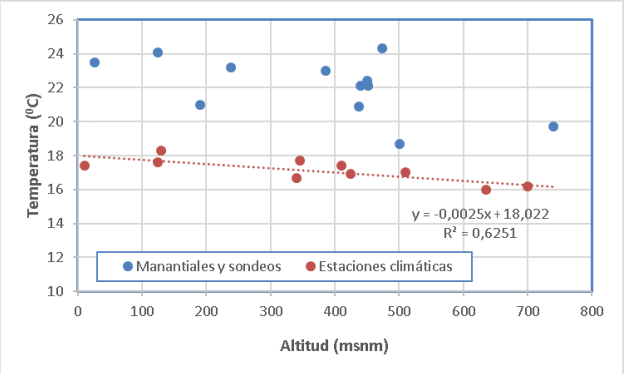


FIGURA 3. Gradiente térmico altitudinal y relación entre la cota de los puntos de agua subterránea y la temperatura media de sus aguas.

Algunos manantiales, como los de Anzur (Lucena, Córdoba), presentan unas características intermedias y variables en el tiempo que han sido explicadas por la mezcla en distinta proporción de aguas hipersalinas de largo periodo de residencia con aguas de reciente infiltración, más frías y menos mineralizadas (Gil-Márquez, 2018).

Los datos de campo indican que el débil hidrotermalismo, que ya fue identificado en algunos manantiales por Gil-Márquez (2018), es un rasgo generalizado de las salmueras de la Campiña Andaluza. La explicación más plausible es la existencia de flujos subterráneos profundos, aunque la poca cuantía, y probable lentitud de estos flujos permite sospechar que durante el ascenso se podría producir un enfriamiento del agua. Por tanto, estas aguas procederían de zonas más profundas de lo que se deduce al considerar la temperatura del agua de los manantiales y el gradiente geotérmico normal.

Otro criterio que apunta hacia un origen profundo de las salmueras es el alto contenido en halita, mineral que no aflora en la zona de estudio. Solo se tiene constancia de la presencia de halita en el subsuelo de la Depresión del Guadalquivir en la mina Mencey (Quesada, Jáen), en algunos sondeos próximos al manantial de Meliones (Antequera, Málaga), descritos por Guzmán (2003), y en nueve sondeos situados próximos a la costa del Golfo de Cádiz (IGME, 1987). En todos estos últimos la halita se encuentra en materiales triásicos y, salvo en dos sondeos localizados en los municipios de Chiclana de la Frontera y Bornos (Cádiz), a más de 1000 metros de profundidad.

Teniendo en cuenta la baja permeabilidad general de los materiales arcillosos, parece difícil aceptar la existencia de líneas de flujo subterráneo profundas procedentes de la infiltración de una pequeña fracción del agua de precipitación actual. Si, además, se consideran los escasísimos caudales de salmuera que surgen en la superficie y las altas tasas de erosión de los materiales del complejo olistostrómico, sería factible suponer que se trata de aguas fósiles que son lentamente expulsadas a medida que la erosión desmantela a las arcillas con yesos.

Punto de agua	Prov.	Cota (m)	T_{agua} (ºC)	T_{agua}-T_{aire}	CE (mS/cm)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Li^{+}	B	Sr^{2+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	TSD
Romeroso	Jaén	501	18,7	1,9	230,0	1320	662	102900	189	1,8	3,1	30,9	259	6723	165236	277325
Lagartijo	Jaén	440	22,1	5,2	209,6	1604	583	60870	369	1,4	4,6	40,1	253	4841	94213	162779
Vélez	Jaén	474	24,3	7,5	227,0	1471	362	115600	127	1,9	7,4	43,0	189	3639	173472	294912
San José	Jaén	450	22,4	5,5	183,2	1744	482	69690	233	1,1	4,6	42,5	299	6422	100940	179858
San Francisco	Córdoba	191	21,0	3,5	190,1	1860	372	62820	102	0,6	2,5	35,3	284	5393	95626	166495
San Juan	Córdoba	437	20,9	4,0	229,0	1606	585	79740	863	2,7	3,3	39,4	302	4944	118895	206980
Fuente Camacho	Granada	740	19,7	3,5	222,0	1155	142	84150	244	2,0	0,4	28,2	323	2918	121209	210172
Sierra Yeguas	Málaga	452	22,1	5,2	138,0	1364	621	34410	382	2,1	4,0	24,9	326	4989	56294	98417
Balmaseda	Sevilla	125	24,1	6,4	215,5	1441	758	77260	111	1,1	3,9	30,5	128	5194	118321	203249
Valcargado	Sevilla	26	23,5	5,5	145,3	1518	347	44320	162	1,2	3,6	29,9	262	5697	64177	116518
Iptuci	Cádiz	238	23,2	5,8	162,0	1608	489	51970	366	1,9	5,8	30,5	311	6697	79500	140979
Carmelitas	Sevilla	386	23,0	5,9	213,0											
Media		372	22,1	5,0	197,1	1517	491	71248	286	1,6	3,9	34,1	267	5223	107989	187062
Agua marina						400	1262	10556	380	0,2	4,4	8,2	140	2649	18980	34380

TABLA I. Características físico-químicas de las aguas subterráneas hipersalinas asociadas a las arcillas con yesos triásicas de la Campiña Andaluza. Los contenidos salinos están expresados en mg/L. Los contenidos iónicos han sido obtenidos de Moral *et al.* (2019a).

En este sentido, considerando una tasa de erosión de 20 t/ha·año (MMA, 2007), equivalente a una tasa de denudación cercana a 1 mm/año, y una porosidad media de los materiales arcilloso-evaporíticos del 10% (Manger, 1963), se puede estimar que en toda la Campiña Andaluza surgen en torno a 30-50 L/s de salmuera (aprox. 0,1 mm/año). Este caudal sería suficiente para producir un incremento medio en la salinidad de la escorrentía generada en la Campiña (cifrada en 15000 a 20000 L/s) de casi 1g/L. Lógicamente, como los caudales de estiaje, que ocupan la mayor parte del tiempo, son significativamente menores, este proceso de expulsión de la salmuera podría explicar la salinidad media observada en las aguas de la red fluvial de la Campiña Andaluza (1,5 a 3 g/L; Moral y Martos, 2018).

CONCLUSIONES

Las arcillas con yesos triásicos que afloran ampliamente en la Depresión del Guadalquivir forman un conjunto de baja permeabilidad en el que, salvo algunas masas de yeso, apenas se observan flujos de agua subterránea de origen meteórico. No obstante, en estos materiales existen numerosos pequeños manantiales de escasísimo caudal que destacan por su elevada salinidad (hasta 300 g/L), atribuible a la disolución de halita y yeso presentes en los materiales triásicos. A diferencia del yeso, la halita no ha sido observada en superficie, aunque se ha detectado en algunos sondeos, mayoritariamente cercanos al Golfo de Cádiz, a profundidades que por lo general superan los 1000 metros. Por otro lado, las aguas subterráneas hipersalinas poseen un carácter débilmente termal en los 12 puntos de agua controlados.

Estas observaciones permiten deducir un origen profundo de las salmueras que, dadas las características hidrogeológicas de los materiales triásicos, probablemente correspondan a aguas fósiles sin relación con las aguas meteóricas actuales. En este caso, y sin descartar el papel que la compresión tectónica pueda tener en la expulsión de la salmuera de los materiales triásicos, la salinidad de las aguas superficiales observadas en la red fluvial de la Campiña Andaluza podría explicarse por la descarga de 0,1 mm/año de salmuera producida por la erosión de los materiales triásicos. Esta descarga requeriría unas tasas de erosión próximas a 20 t/ha·año y una porosidad del conjunto arcilloso-evaporítico del 10 %, valores razonables a tenor de las cifras manejadas en trabajos científicos sobre estas materias.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su gratitud a M.C. Cabrera por su exhaustiva revisión.

REFERENCIAS

Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983): *Hidrología Subterránea*. 2ª ed. Omega, Barcelona, 2350 p.

Gil-Márquez, J.M. (2018): *Caracterización hidrogeológica de humedales y manantiales salinos asociados a acuíferos kársticos evaporíticos del sector central del Subbético.* Tesis Doctoral, Univ. Granada, 490 p.

Guzmán, J.L. (2003): *Estudio hidrogeológico, edáfico y contaminación salina en la cuenca media del río Guadalhorce (Málaga)*. Tesis Doctoral, Univ. De Granada, 155 p.

IGME (1987): *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España.* Instituto Geológico y Minero de España, 465 p.

MMA (2007): *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012*. Sevilla. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 231 p.

Moral, F. y Martos, S. (2018): Rasgos hidrológicos singulares de la Campiña Andaluza. En: X *Simposio del Agua en Andalucía*. Libro II, 539-550.

Moral, F., Martos, S., Santiago, A., Durán, J.J. y Martínez, R. (2019a): Hydrochemical characterization of groundwater brines in the Guadalquivir Depression (Andalusia, Spain). En: *Proceedings of IAH2019*. Comunicaciones: 680.

Moral, F., Rodríguez-Arias, M.I. y Mellado, E. (2019b): Continental saltworks of Andalusia. A rich geological and cultural heritage to be recovered. En: 1*5th European Geoparks Conference.* Abstracts Book. Comunicaciones: 148.

Manger, G.E. (1963): Porosity and Bulk Density of Sedimentary Rocks. *Geological Survey Bulletin*, 1144E, 55 p.

Vera, J.A. (ed.) (2004): *Geología de España*. Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, 890 p.

Las aguas subterráneas del Paisaje Protegido de la Sierra de Santo Domingo-Salinas (Pirineo Occidental)

Groundwater in the Protected Landscape the Santo Domingo-Salinas Ranges (Western Pyrenees)

C. Oliván[1,2], E.L. Pueyo[2,3], E. Garrido-Schneider[2,3], A. Azcón[4], E. M. Sánchez-Moreno[5], J.C. Larrasoaña[2,3] y F. Compaired[6]

1 Geóloga. C/ Duquesa de Villahermosa, 1, 2º, 22001, Huesca. carlotaolivan@gmail.com
2 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. unaim@igme.es
3 Unidad asociada de Ciencias de la Tierra IGME/Universidad de Zaragoza. e.garrido@igme.es, jc.larra@igme.es
4 Geólogo. C/ Duquesa de Villahermosa 149, 2º C, 50009, Zaragoza. antonio.azcon.gda@gmail.com
5 Departamento de Física, Universidad de Burgos. Av/ Cantabria, s/n, 09006, Burgos. emsanchez@ubu.es
6 Servicio de Planificación y Gestión Forestal. Dpto. Medio Ambiente. Gobierno de Aragón fcompaired@aragon.es

Palabras clave: Sierras de Santo Domingo-Salinas, Paisaje Protegido, Agua subterránea, Hidroquímica.

Resumen

Las sierras de Santo Domingo-Salinas representan la terminación suroccidental del frente de cabalgamiento pirenaico que separa los Pirineos de la Cuenca del Ebro. El anticlinal de Santo Domingo es la estructura más característica de la zona (Oliva-Urcia *et al.*, 2012). Esta área carece prácticamente de estudios hidrogeológicos. En este trabajo se realiza una primera caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas. Para ello hemos: i) recopilado la información hidrogeológica existente, ii) desarrollado exhaustivamente un inventario de puntos de agua, iii) muestreado y analizado las aguas subterráneas e iv) interpretado las facies hidroquímicas obtenidas. Además, se han refinado los tres sistemas acuíferos definidos por Garrido-Schneider (1995). El más importante es el sistema Santo Domingo-Salinas, compuesto por las formaciones calizas Mesozoicas y Cenozoicas. Los análisis químicos de las aguas subterráneas permiten diferenciar cuatro tipos principales de agua: a) bicarbonatadas cálcicas drenadas por las calizas del acuífero cretáceo-eoceno, b) bicarbonatadas cálcicas y magnésicas drenadas por las calizas y dolomías de la facies de Muschelkalk (Triásico), c) sulfatadas cálcicas y d) cloruradas sódicas, ambas relacionados con las limolitas y evaporitas de la facies de Keuper (Triásico).

Abstract

The Santo Domingo-Salinas ranges represent the south-westernmost termination of the Pyrenean sole thrust separating the Pyrenees from the Ebro foreland basin to the South. The Santo Domingo anticline is the main structural feature in the area (Oliva-Urcia et al., 2012). This area practically lacks of hydrogeology studies. In this work, we provide a first hydrogeochemical characterization of the groundwater in the area. To do so, we have: i) compiled existing hydrogeological information, ii) exhaustively developed an inventory of water points, iii) sampled and analysed groundwaters and iv) interpreted the hydrochemical facies detected. The three aquifer systems defined by Garrido-Schneider (1995) have been improved. The most important one, the Santo Domingo-Salinas system, it is composed of Mesozoic and Cenozoic limestones formations. The chemical analyses of groundwater allow us to differentiate four main types: a) calcium bicarbonate drained by limestones from the Cretaceous-Eocene aquifer, b) calcium-magnesium bicarbonate drained by limestones and dolomites from Muschelkalk facies (Triassic), c) calcium sulfate and d) sodium chloride, both related to siltstones and evaporites found within the Keuper facies (Triassic).

Referencias

Garrido-Schneider, E. (1995). Informe complementario del Mapa Geológico deAgüero. *Hidrogeología de la Hoja MAGNA de Agüero (28-10). Escala 1:50,000*. IGME.

Oliva-Urcia, B., Casas, A. M., Pueyo, E. L., y Pocoví, A. (2012). *Geologica Acta*, 10(2), 125-144.

Cartografía geológica de la cuenca de Gallocanta (España)

Geological cartography of the Gallocanta Basin (Spain)

J. Ramajo[1], J. M. Orellana[2], C. Galé[1] y J. Causapé[2]

1 Ideya Red Profesional, S.L.L. Av. de la Autonomía, 7, 50003 Zaragoza. javierramajo@gmail.com, carlos.gale@gmail.com.
2 Dpto. Investigación en Recursos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España. C/ Manuel Lasala, 44, 9B, 50006 Zaragoza. jm.orellana@igme.es, j.causape@igme.es.

Resumen:

La explotación de las aguas subterráneas en entornos de alto valor ecológico y ambiental, pero especialmente frágiles, como los humedales, requieren un conocimiento exhaustivo de la estructura geológica del área y del funcionamiento hidrogeológico de la misma. En el presente trabajo se estudia la cuenca endorreica de Gallocanta, situada en el límite suroccidental de la cuenca del Ebro, en el noreste de España. El objetivo es el desarrollo de un modelo geológico de la zona de estudio. Partiendo de trabajos previos realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha revisado y refinado el nivel de detalle del modelo geológico existente. Además, se ha ampliado la zona modelizada a toda la cuenca superficial. En la modelización de la estructura geológica de la cuenca se han diferenciado 8 unidades cartográficas en función de su litología y sus parámetros hidrogeológicos. A partir de la cartografía geológica realizada, se está trabajando en un modelo geológico tridimensional que servirá en el futuro para la modelización hidrogeológica de la cuenca.

Palabras clave: acuífero, modelización, mapa geológico, Gallocanta.

Abstract:

The exploitation of groundwater in settings of high ecological and environmental value, but very vulnerable, such as wetlands, requires a deep knowledge of the geology and hydrogeology of the area. In this work, we studied the Gallocanta Basin, an endorheic watershed located in the southwest boundary of the Ebro Basin (NE Spain). This study aims to develop a geological model of the studied area. Based on previous works carried out by the Ebro Hydrographic Confederation, we have reviewed and refined the existing model. Additionally, we have enlarged the model to cover the whole basin. For the geological modeling, 8 cartographic units have been distinguished, according to their lithology and their hydrogeological parameters. Based on the new geological cartography, a 3D-geological model is being developed, which would be useful for the hydrogeological modeling of the basin.

Keywords: *aquifer, modelling, geological map, Gallocanta*

INTRODUCCIÓN

La explotación de los recursos naturales por parte del ser humano alcanza una relevancia superior cuando dicho recurso es el agua. Su interés estratégico ha promovido el avance del conocimiento acerca de su origen, movimiento, interacciones y propiedades, así como de las condiciones que influyen en su aprovechamiento, regulación y evacuación. En el caso de las aguas subterráneas, numerosos estudios trabajan en la modelización de las condiciones ambientales y en el funcionamiento de los sistemas. Esta modelización constituye una herramienta muy útil con la que conocer los factores que van a condicionar la permanencia, el flujo y la calidad del agua, las cuales se ven influidas de forma directa por las actividades humanas desarrolladas sobre el territorio (Anderson *et al.*, 2015).

En espacios altamente sensibles, como los humedales en zonas mediterráneas, la presión antrópica a través de actividades como la agricultura provoca cambios en el funcionamiento del ecosistema que pueden poner en riesgo su sostenibilidad (Kuhn *et al.*, 2011). En este contexto, la modelización geológica e hidrogeológica es especialmente útil, tanto para el abastecimiento humano, como para comprender el comportamiento de ciertos elementos y sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión, o afección al medio. Dada la utilidad de la modelización para la evaluación de sistemas complejos, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) desarrolló a principios del presente siglo un estudio en profundidad para establecer la normativa de explotación del agua en el entorno de la laguna de Gallocanta (CHE, 2003). Ese estudio incluía un modelo numérico de flujo para simular el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca, basado en un modelo geológico conceptual elaborado también en dicho trabajo. El objetivo del presente estudio es la profundización, ampliación y la revisión del modelo geológico desarrollado en el citado trabajo.

La zona de estudio, por lo tanto, es la cuenca de la laguna de Gallocanta, una cuenca endorreica localizada en el sector central del Sistema Ibérico, entre Aragón y Castilla-La Mancha. Se caracteriza por la diferente extensión de la cuenca superficial (540 km²) y la subterránea (223 km²), siendo ésta parte de la primera. La cota en la parte más baja de la cuenca, donde se encuentra la laguna, es de 990 m, mientras que las zonas más altas, en los límites nororientales y suroccidentales alcanzan los 1400 m.s.n.m. (Fig. 1). El clima es árido mediterráneo, con una marcada influencia continental y altitudinal. La precipitación media anual es de unos 400 mm, y la temperatura media anual de 11,5 ºC.

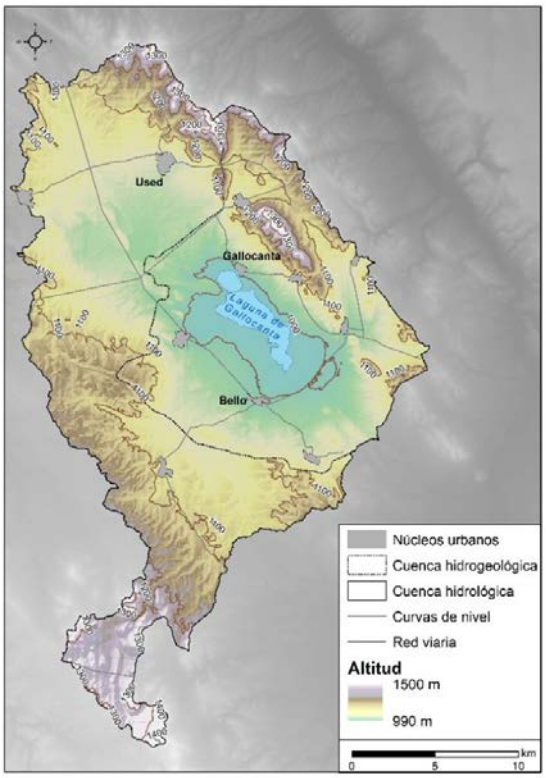


FIGURA 1. Mapa topográfico y de situación de la cuenca de Gallocanta.

METODOLOGÍA

Para la realización de este modelo se ha llevado a cabo una cartografía geológica a escala 1:12.500 de la zona, basada en trabajo de campo, la cartografía MAGNA (Hernández Samaniego *et al.*, 1995a, 1995b; Del Olmo y Portero 1995; y Portero *et al.*, 1995) y la desarrollada para el modelo de la CHE (CHE, 2003). Dicha cartografía ha sido digitalizada y georreferenciada mediante SIG. Asimismo, como complemento, se ha integrado la información del subsuelo procedente del inventario de puntos de agua realizado por la CHE.

Posteriormente, se han realizado una serie de cortes geológicos, tanto reconceptualizando los presentados por la CHE en su estudio, como elaborando otros nuevos (Fig. 2). La información ya digitalizada y georreferenciada se ha tratado para su análisis y representación tridimensional mediante el software MOVE, a través del cual se está desarrollando la delimitación y cartografía de los horizontes basales de las unidades hidrogeológicas interpretadas, para su posterior integración en la modelización hidrogeológica.

En relación al modelo geológico, se parte de un modelo previo realizado por la CHE (CHE, 2003), en base a una simplificación de la cartografía existente, del MAGNA, y de una serie de cortes de dirección NE-SO.

MODELO GEOLÓGICO

En la cartografía realizada, se ha procedido a sintetizar las litologías y/o unidades lito-estratigráficas en una serie de conjuntos, caracterizados por sus semejanzas litológicas y de sus parámetros hidrogeológicos (CHE, 2003). Estas, que se han sintetizado en la Tabla I, son: Cuaternario, Terciario, Cretácico, Utrillas (facies Utrillas), Jurásico, Triásico Keuper, Muschelkalk y Buntsandstein, así como el zócalo paleozoico (Fig. 2). De entre estas, las que presentan una mayor relevancia desde el punto de vista hidrogeológico y que podemos definir como masa de agua, son:

– Cuaternario, compuesto fundamentalmente por una serie detrítica y de depósito de la laguna, cuya evolución sedimentaria durante el Holoceno (Luzón *et al.* 2007) marca los diferentes episodios de evolución de la laguna. Esta se desarrolla a partir de un polje (Gracia *et al.* 2002) que se estructura sobre los materiales carbonatados del borde de la depresión, y los lutíticos y evaporíticos de la facies Keuper que son los que conforman la parte central de la misma.

– Cretácico superior, materiales que corresponden a las estribaciones meridionales de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, y a una serie de plataformas carbonatadas donde destacan los conjuntos dolomíticos carbonatados de Villa de Vez, Ciudad Encantada y Pantano de la Tranquera, que presentan una intensa karstificación, lo que los cataloga como materiales de alta permeabilidad en la zona de estudio.

– Facies Utrillas, cuya litología detrítico-arcillosa hace que actúe como una capa parcialmente impermeable y funcione como un acuitardo, dificultando el flujo entre la unidad superior y la inferior, sobre la que se dispone discordante.

– Jurásico, conjunto calcáreo dolomítico de edad Lías, compuesto por las unidades de calizas Tableadas de Cuevas labradas y las dolomías y brechas de Cortes de Tajuña, que constituyen el tramo más permeable.

– Facies Keuper, que presentan unas litologías de carácter fundamentalmente lutítico, y en menor medida evaporítico, en los afloramientos del entorno de la laguna, constituyendo el nivel de base impermeable de esta masa de agua. Su presencia condiciona la configuración de la zona, al actuar como nivel de despegue de las estructuras cabalgantes o de falla inversa, así como provocando la existencia de áreas donde su comportamiento diapírico va a condicionar las direcciones de flujo de los acuíferos.

En cuanto al resto de los materiales aflorantes, el terciario es esencialmente impermeable en sus facies más lutíticas

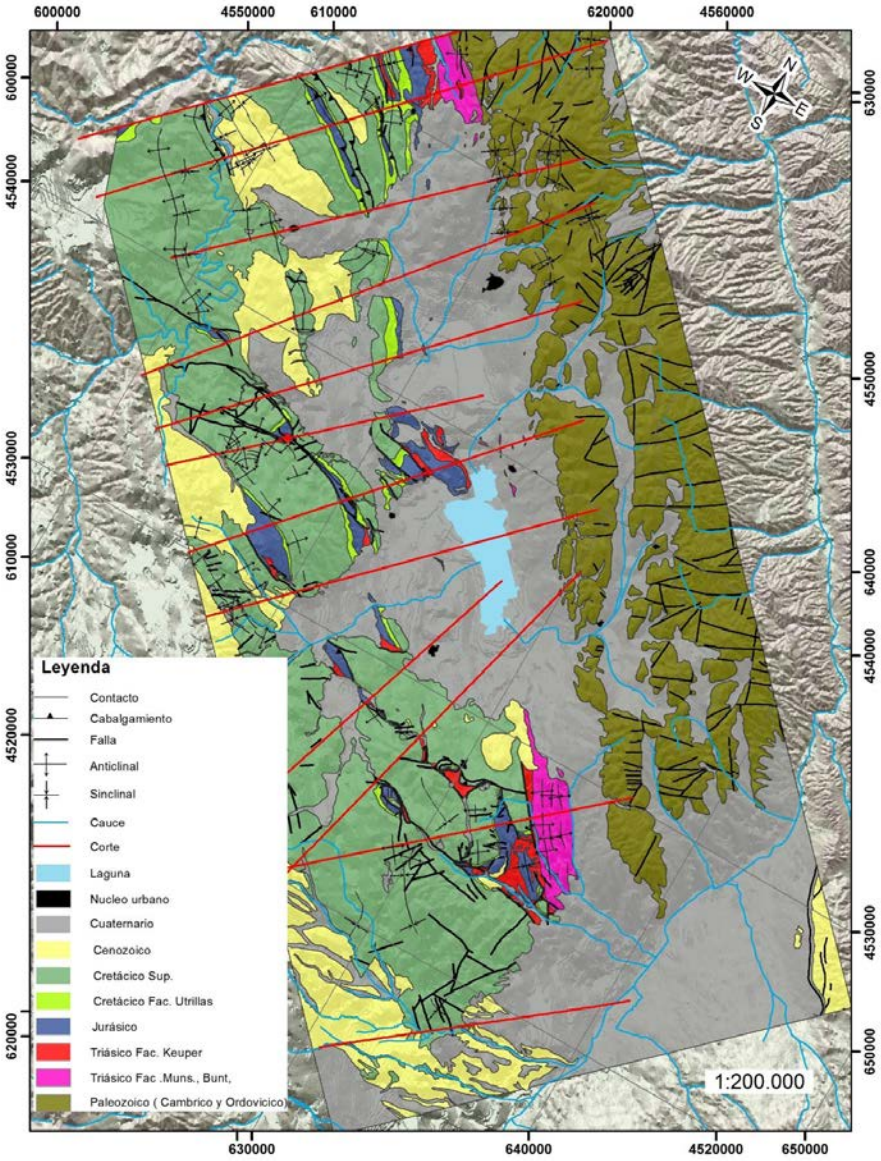


FIGURA 2. Mapa Geológico a escala 1:200.000 del entorno hidrogeológico de la laguna de Gallocanta. Fuente: IGME, CHE. Elaboración propia, Base MDT 25 m IGN..

excepto si se encuentra sobre facies de carácter conglomerático, como los materiales paleógenos, donde puede constituir un pequeño acuífero local. Los materiales del triásico carbonatado y detrítico actúan como pequeños acuíferos ubicados en el borde noreste de la cuenca, canalizando los aportes de las sierras paleozoicas hacia la laguna y siendo los materiales carbonatados del Muschelkalk los únicos aprovechables para el abastecimiento humano.

Por último, al Paleozoico está compuesto por materiales fracturados del Cámbrico y el Ordovícico, de naturaleza pizarrosa-cuarcítica. Su comportamiento es impermeable en el conjunto global, sin embargo, su fracturación hace que se favorezca la trasmisión del agua y proliferen manantiales y aprovechamientos de pequeña entidad y carácter local en los materiales cuarcíticos.

En relación a la estructura de la cuenca, los materiales que la conforman presentan una orientación con direcciones estructurales NO-SE. El borde paleozoico se encuentra separado por una alineación que indicaría la existencia de una falla de borde de esta estructura, de carácter normal, que hundiría el Paleozoico hacia el SO (Falla de Gallocanta). De este modo, actuaría como un margen pasivo durante la estructuración de la cuenca en el Terciario.

En la parte central y oriental se situarían los materiales del Triásico (facies Keuper), sobre los que se desarrolla la laguna y actúan como nivel de despegue de las unidades superiores, especialmente del Jurásico y el Cretácico. Estas se disponen como un conjunto de pliegues de despegue, anticlinales y sinclinales laxos sobre el Keuper, situados en la parte occidental con dirección ibérica, y vergencia hacia el SO.

Dicha estructura está condicionada por la existencia de alineaciones de fracturas inversas de dirección E-O donde se desarrollan estructuras diapíricas dentro del Keuper, que como ya se ha mencionado, afecta a los materiales suprayacentes.

Unidad	Litología	Permeabilidad (K)			Porosidad eficaz (%)	Espesor (m)
		KX	KY	KZ		
Cuaternario	Abanicos aluviales	50	50	0.5	20	20
	Depósitos aluviales					
	Detrítico perilagunar					
	Cuaternario indiferenciado					
Terciario	Neógeno	0.01	0.01	0.00005	0.1	80
	Paleoceno					
Cretácico	Brechas dolomíticas de Cuenca	2.5	2.5	0.0125	0.5	250
	Calizas del Pantano de la Tranquera, Dolomías de la ciudad encantada					
	Marcas de Casa Medina					
	Dolomías de Villa de Ves y de Alatoz					
	Margas de Sot de Chera					
Utrillas	Fm. Arenas de Utrillas	0.02	0.02	0.0001	0.1	150
Jurásico	Fm. Cuevas labradas	25	25	0.125	1.5	250
	Fm. Cortes Tajuña					
	Fm. Imón					
Keuper	Fac. Keuper	0.0001	0.0001	0.00000005	0.1	250
Muschelkalk	Fac. Muschelkalk	1	1	0.005	0.5	200
Buntsandstein	Fac. Buntsandstein	0.001	0.001	0.00005	0.1	200

TABLA I. Unidades cartográficas litológicas y sus correspondientes parámetros hidrogeológicos. Fuente: CHE (2003)

CONCLUSIONES

Dada la relevancia tanto desde el punto de vista ambiental como humano de las aguas subterráneas en el entorno de Gallocanta, a partir de la cartografía geológica empleada en la modelización hidrogeológica de la laguna por la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha desarrollado un nuevo modelo de mayor detalle y precisión.

A partir del empleo de software de modelización tridimensional se está desarrollando un modelo geológico de los diferentes niveles acuíferos de la zona de estudio en tres dimensiones. Dicho modelo será posteriormente empleado para la modelización hidrogeológica de la totalidad de la cuenca, de forma que se reduzcan las incertidumbres del modelo anterior y aumente el conocimiento hidrogeológico del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al contrato pre-doctoral otorgado por el Gobierno de Aragón a J. M. Orellana (BOA 20/07/2017), así como al proyecto AgroSOS (CGL2015-66016-R), perteneciente al Plan Nacional de Investigación y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER de la Unión Europea.

REFERENCIAS

Anderson, M., Woessner, W. y Hunt, R. (2015): *Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport*. 2ª Ed. Academic Press, 630 p.

CHE (2003): *Establecimiento de las normas de explotación de la unidad hidrogeológica Gallocanta y la delimitación de los perímetros de protección de la laguna*.(Informe inédito)

Gracia, F.J., Gutiérrez, F. y Gutiérrez, M. (2002). Origin and evolution of the Gallocanta polje (Iberian Range, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*. 46: 245-262.

Hernández Samaniego, A., Olivé Davó, A., Pardo Tirapu, A., Villena Morales, J., Moissenet E., (1995a): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 491 (Calamocha).* IGME, Madrid.

Hernández Samaniego, A., Olivé Davó, A., Sdzuy, K., Kolb, S., Moissenet, E. y Carís, P. (1995b). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº465 (Daroca).* IGME, Madrid.

Kuhn, N.J., Baumhauer, R. y Schütt, B. (2011): Managing the impact of climate change on the hydrology of the Gallocanta Basin, NE-Spain. *Journal of Environmental Management*, 92: 275-283.

Luzón, A., Pérez, A., Mayayo, M.J., Soria, A.R., Sánchez Goñi, M.F., y Roc, A.C. (2007): Holocene environmental changes in the Gallocanta lacustrine basin, Iberian Range, NE Spain. *The Holocene*, 17 (5): 649-663.

Del Olmo Zamora, P. y Portero García, J.M. (1995): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº464 (Used).* IGME, Madrid.

Portero García, J.M., del Olmo Zamora, P., Villena Morales, J. y Pardo Tirapu, G. (1995): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº490 (Odón).* IGME, Madrid.

Evaluación de la alteración del hidroperiodo en la laguna del Taraje (Parque Nacional de Doñana) mediante monitorización continua y modelización numérica

Evaluation of the alteration of the hydroperiod in the Taraje pond (Doñana National Park) through continuous monitoring and numerical modeling

M. Rodríguez-Rodríguez, J. Delgado y R. Barbero

Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, mrodrod@upo.es, jmdelrod1@upo.es, barberomartinrocio@gmail.com

Resumen: La laguna del Taraje (Parque Nacional de Doñana) es un humedal de pequeño tamaño, cuya superficie media de inundación se ha visto dramáticamente reducida en los últimos años. Se ha realizado la modelización hidrológica diaria de la evolución de la lámina de agua en la laguna, gracias a la cuantificación precisa de los componentes del balance hídrico y de su evolución mediante registros continuos del nivel. El periodo de estudio comprende desde marzo de 2016 a octubre de 2019. Incluye registros horarios de temperatura y lámina de agua y registros diarios de precipitación, temperatura del aire y evapotranspiración potencial. Los resultados de la modelización indican que, en régimen natural, la laguna del Taraje tendría que haber estado inundada el 80% del tiempo (i.e. 1083 días). El hidroperiodo real ha sido de 875 días, lo cual implica una reducción teórica media del hidroperiodo de 208 días (58 días al año de media). La altura mediana de la lámina de agua en régimen natural sería de 64 cm, pero la altura mediana registrada ha sido de 34 cm. La causa más probable de esta reducción es la explotación de agua subterránea para el abastecimiento de un núcleo turístico cercano. El efecto de los bombeos ha sido detectado en piezómetros instalados muy próximos a la laguna del Taraje.

Palabras clave: humedal costero, hidrología superficial, balance hídrico, Doñana.

Abstract: *The Taraje pond (Doñana National Park) is a shallow wetland, whose average flooded area has been drastically reduced in recent years. The daily hydrological modelling of the evolution of the water level has been carried out, through the precise measurement of the water balance components and its evolution, thanks to continuous level monitoring. The study period covers from March 2016 to October 2019 of hourly water level and water temperature measurements and daily registers of precipitation, air temperature and potential evapotranspiration. The modelling results suggest that, in natural regime, during the studied period the Taraje pond should have been flooded about 80% of that time (1083 days). The current hydroperiod has been 875 days, which means a theoretical average reduction of the hydroperiod of 208 days (58 days a year on average). Moreover, the median depth of the water level in natural regime would be 64 cm, but the recorded median level was 34 cm. The most probable cause of this reduction in both the hydroperiod and the water level in the pond is the extraction of groundwater for urban supply in a close touristic resort. The effect of the water pumping has been detected in piezometers installed very close to the Taraje pond.*

Keywords: *coastal wetland, surface hydrology, water balance, Doñana.*

INTRODUCCIÓN

Las lagunas peridunares de Doñana más cercanas al núcleo de Matalascañas están siendo afectadas por procesos de alteración de su régimen hídrico desde la puesta en marcha, a partir de la década de los 70 del s. XX, de una serie de sondeos de abastecimiento que extraen actualmente una media de 2,6 hm^3/año de agua subterránea del acuífero costero de los mantos eólicos. Poco tiempo después de la puesta en marcha de estos bombeos, la laguna situada más cerca de Matalascañas y a una mayor cota topográfica, la laguna del Brezo, se secó. Actualmente dicha laguna ya no existe como tal y la vegetación de pinos ha colonizado completamente la cubeta lacustre (Serrano y Serrano, 1996). La siguiente laguna, situada algo más lejos del núcleo turístico y a menor cota, denominada Charco del Toro, también se secó casi completamente. La afección tardó más tiempo en producirse y se secó del todo a partir del año 2005 (Díaz-Paniagua, 2015). El balance del acuífero, una vez entran en funcionamiento los bombeos, se modifica y entra en un nuevo estado de equilibrio dinámico. Los niveles bajan, adaptándose al nuevo equilibrio, pero esta afectación no es igual cerca de la zona de bombeo que a una cierta distancia. Así, el nuevo estado de equilibrio dinámico no es inmediato, sino que se alcanza años o, a veces, décadas después de que se produzca la modificación. Recientes estudios (Fernández-Ayuso *et al.*, 2019) han puesto de manifiesto que la laguna más grande y la única permanente de las peridunares, por ser la más profunda y situada a menor cota – la laguna de Santa Olalla - no ha experimentado aún una reducción significativa de su

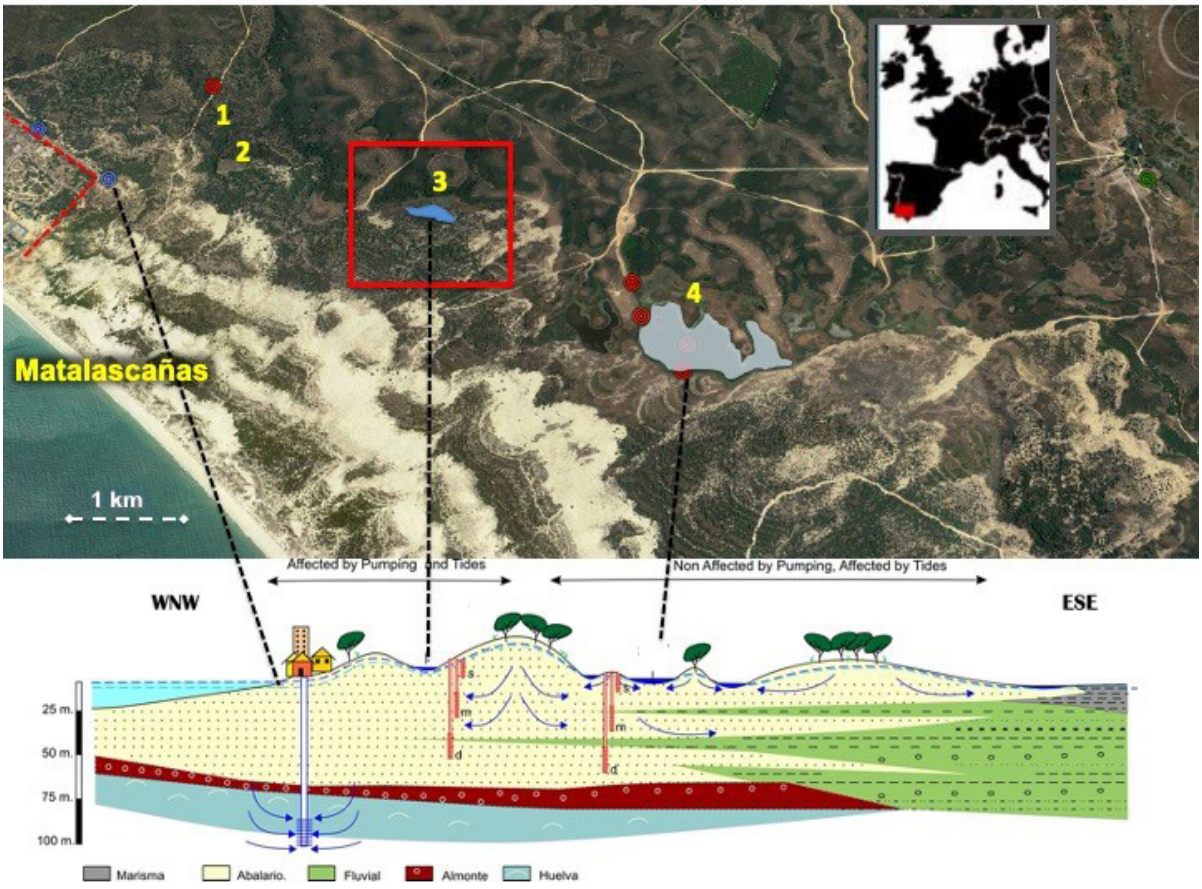


FIGURA 1. Zona de estudio. Lagunas peridunares: 1) antigua laguna del Brezo; 2) laguna del Charco del Toro; 3) laguna del Taraje; 4) laguna de Santa Olalla. Los círculos rojos indican piezómetros y los azules los sondeos de abastecimiento de Matalascañas. Abajo se aprecia un perfil WNW – ESE con las principales unidades litoestratigráficas; modificado de Ayuso *et al.*, 2019.

hidroperiodo. Esto ha permitido realizar balances hídricos en régimen natural y calcular el tamaño de la cuenca hidrogeológica de la laguna (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2017).

Por otra parte, la laguna del Taraje se sitúa entre las lagunas afectadas (Brezo y Charco del Toro) y la laguna de Santa Olalla (Fig. 1). Esta laguna ha experimentado una reducción significativa de su cubeta, por la invasión de bosquetes de Tarajes en forma de anillos concéntricos. Actualmente, la superficie libre de vegetación se reduce a una pequeña cubeta circular en la zona más profunda de la laguna.

El objetivo del presente trabajo es la modelización en régimen natural (i.e. sin alteración hídrica debida a la explotación de aguas subterráneas) de la evolución de la lámina de agua en la laguna del Taraje y su posterior comparación con la evolución real, para así poder establecer el grado de alteración hidrológica en esta laguna peridunar. Finalmente, se proponen medidas de gestión de los recursos hídricos para paliar o revertir el proceso de degradación antrópica en este sistema.

METODOLOGÍA

Mediante sensores de nivel se ha monitorizado la evolución de la lámina de agua a escala horaria desde marzo de 2016 a octubre de 2019 en el punto más profundo de la laguna del Taraje. Por otra parte, se han cuantificado de forma precisa los componentes del balance hídrico a escala diaria (entradas por precipitación y escorrentía total y salidas por evaporación directa) durante el mismo periodo. La metodología detallada se puede consultar en Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2017). La escorrentía total diaria se ha cuantificado utilizando el software Trasero. Se ha realizado una modelización teórica del nivel de la laguna establecido por la ecuación de balance, asumiendo que el sistema, en condiciones no alteradas, es un sistema de descarga local de flujo del acuífero de los mantos eólicos similar a otras lagunas peridunares cercanas y no alteradas significativamente (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se puede observar la evolución real del nivel de lámina de agua en la laguna del Taraje expresado en mm de profundidad total a escala diaria (eje izquierdo). Asimismo, se representa la evolución diaria de la desviación acumulada respecto a la media de la precipitación en la cercana estación del Almonte (DAP) y la precipitación, en mm (eje derecho). La profundidad máxima se alcanza en marzo del año 2017 (1,1 m). La altura máxima es menor en 2018 (1 m) y, sobre todo, en 2019, en que la laguna no supera los 0,6 m de altura máxima.

En un acuífero libre superficial, como es el de los mantos eólicos de Doñana, la evolución del nivel piezométrico somero debe ser paralela a la evolución de la DAP, ya que la recarga se produce por precipitación y la respuesta del nivel piezométrico es muy rápida. La evolución del nivel en la laguna de Taraje y la DAP calculada es similar durante la primavera de los tres primeros años de estudio (2016, 2017 y 2018), pero no así en la primavera de 2019.

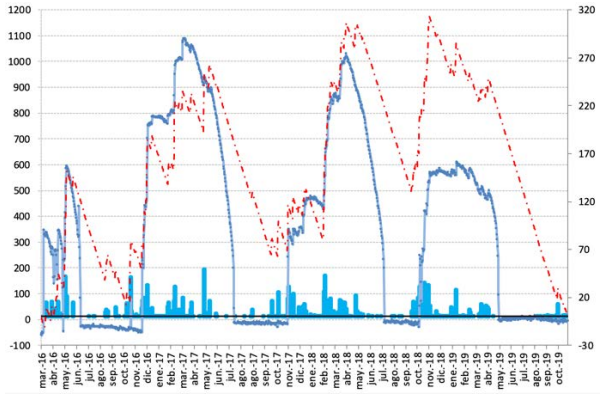


FIGURA 2. Evolución de la lámina de agua en azul (eje izquierdo, expresado en mm) y de la precipitación diaria y la DAP, en rojo (eje derecho, expresado en mm) durante el periodo de estudio (marzo 2016 a octubre de 2019) en la laguna del Taraje.

En la Fig. 3 se puede apreciar el resultado de la modelización hidrológica en la laguna del Taraje considerando una escorrentía de cinco (línea verde, MOD 1) y diez veces (línea roja, MOD 2) mayor a la precipitación directa. En régimen natural, la escorrentía se ajustaría a la modelización 2, según la hipótesis de partida (Rodríguez-Rodríguez *et al.,* 2017). Este supuesto implicaría un hidroperiodo significativamente más largo del que actualmente tiene la laguna. Concretamente, la laguna permanecería inundada 1083 días (80% del tiempo), frente a los 875 días de inundación registrados (65% del tiempo). La altura mediana (i.e. percentil 50) de la lámina de agua calculada en régimen natural (MOD 2) sería de 64 cm y la altura máxima de 1,5 m.

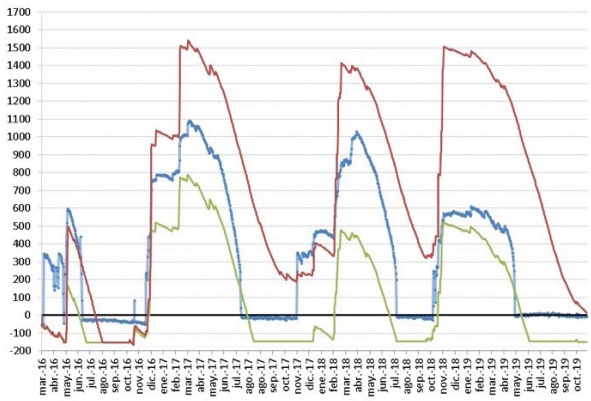


FIGURA 3. Evolución de la lámina de agua en azul y de la MOD 1 (rojo) y MOD 2 (verde) durante el periodo de estudio (marzo 2016 a octubre de 2019) en la laguna del Taraje, valores expresados en mm.

La altura mediana registrada por los sensores ha sido de 34 cm y la altura máxima de 1,1 m, como ya se ha comentado. Otra característica que se aprecia en la figura 3, es que la pendiente en la recta de vaciado de la laguna es mayor que la pendiente estimada en la modelización. Las salidas consideradas en la modelización han sido únicamente por evaporación directa desde la lámina de agua. Este diferente comportamiento implica que la laguna del Taraje pierde agua por infiltración, esto es, por recarga hacia el acuífero de los mantos eólicos. Se detecta en el periodo de estiaje, sobre todo el del año 2019, en que la laguna se secó rápidamente a partir del mes de abril. Esto puede ser debido a una alteración grave del régimen hídrico de la laguna del Taraje durante ese año, ya que la modelización no registra una variación tan drástica, sino más bien una altura de lámina similar en 2017, 2018 y 2019.

Hay que tener en cuenta que estos ecosistemas acuáticos son muy sensibles a pequeñas variaciones en el balance hidrológico debidos a impactos locales, como son las extracciones de agua subterránea en el núcleo de Matalascañas. Pero también son extremadamente vulnerables al cambio climático global, que en esta región suponen una alteración en la distribución de la precipitación y un aumento significativo de la ETP, lo cual reduce las entradas y aumenta las salidas por evaporación (Green *et al.*, 2017).

Finalmente, las alternativas de gestión para paliar o revertir este problema de alteración de la hidrología de las lagunas peridunares de Doñana implicarían una o varias de las siguientes propuestas:

– La relocalización de los bombeos más cercanos a las lagunas.

– La instalación de una desaladora de agua de mar para sustituir el abastecimiento de Matalascañas con agua desalada.

– Un trasvase desde el río Piedras para uso urbano.

La primera de estas opciones se ha elegido como la más idónea por parte de la administración competente (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), si bien no está en aún ejecución (Cifuentes, V., com pers.)

CONCLUSIONES

La laguna del Taraje (Parque Nacional de Doñana) es una de las lagunas peridunares que ha visto gravemente alterado su funcionamiento hidrológico en las últimas décadas, debido a la extracción de aguas subterráneas en sondeos cercanos. Los resultados de la modelización del hidroperiodo en régimen natural de esta laguna durante cuatro años (2016 a 2019) y su comparación con el hidroperiodo registrado, indican que durante este tiempo la laguna ha visto reducido su periodo de inundación en un 15%. El sistema también ha visto reducida su profundidad mediana en 30 cm. De no tomar medidas urgentes de gestión de los recursos hídricos, este ecosistema puede llegar a desaparecer en pocos años, tal y como ha ocurrido con las lagunas del Brezo y está ocurriendo con la del Charco del Toro.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PGC-2018-100914-B-100, CGL2016-77473-C3-1-R y UPO-1259543.

REFERENCIAS

Díaz-Paniagua, C. (Coord.) (2015): *El Sistema de Lagunas Temporales de Doñana, una red de hábitats acuáticos singulares*. Ed. Parques Nacionales. Madrid, 289 p.

Fernández-Ayuso, A., Aguilera, H., Guardiola-Albert, C., Rodríguez-Rodríguez, M., Heredia, J. y Naranjo, N. (2019): Unraveling the Hydrological Behavior of a Coastal Pond in Doñana National Park (Southwest Spain). *Groundwater*, 57(6): 895-906.

Green, A., Alcorlo, P., Peeters, E. Morris, E., Espinar, J. Bravo-Utrera, M., Bustamante, J., Díaz-Delgado, R. Koelmans, A., Mateo, R., Mooij, W., Rodríguez-Rodríguez, M., Van-Nes, E. y Scheffer M. (2017): Creating a safe operating space for wetlands in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2): 99-107.

Rodríguez-Rodríguez, M., Fernández-Ayuso, A. y Moral, F. (2017): Cuantificación de los aportes hídricos subterráneos a la laguna de Santa Olalla a partir de balances hídricos diarios (Parque Nacional de Doñana, Huelva). *Geogaceta*, 61: 47-50.

Serrano, L. y Serrano, L. (1996): Influence of groundwater exploitation for urban water supply on temporary ponds from the Doñana National Park (SW Spain). *Journal of Environmental Management*, 46: 229-238.

Parque Nacional Tablas de Daimiel: El humedal frente a la actividad de las especies exóticas invasoras, la turbidez y la eutrofización

Tablas de Daimiel National Park: The wetland versus the activity of invasive exotic species, the turbidity and eutrophication

E. Santofimia[1], E. López-Pamo[1], E. González-Toril[2], M. Mejías[1], J.Mª. Ruiz[1], A. Aguilera[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera. C/Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.santofimia@igme.es, e.lopez@igme.es, m.mejias@igme.es, jm.ruiz@igme.es

2 Centro de Astrobiología (INTA-CSIC). Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Carretera de Ajalvir Km 4, Torrejón de Ardoz. 28850, Madrid. gonzalezte@cab.inta-csic.es, aguileraba@cab.inta-csic.es

Resumen: El Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel es un humedal de alto valor ecológico por ser un lugar de nidificación y migración de una notable variedad de aves, además de una importante reserva de biodiversidad. En los últimos años, se ha perdido gran parte de la diversidad existente en este ecosistema. Por ejemplo, se ha observado un descenso en la presencia de una anátida emblemática como es *Netta rufina*. Ésta se alimenta de unas algas del género *Chara* sp., que también están desapareciendo y, entre otros factores, puede ser debido a un incremento en la turbidez del agua con la consiguiente falta de luz. Este incremento de turbidez puede tener una relación directa con la eutrofización que está sufriendo el Parque y con un importante crecimiento en las poblaciones de especies invasoras de peces con hábitos bentónicos (carpa, pez gato). Estas especies favorecen el incremento de este parámetro y, además, se alimentan de esta vegetación sumergida. El objetivo de este trabajo es estudiar una serie de variables que inciden en el estado de conservación del sistema (hidroquímica, nutrientes, fitoplancton, turbidez y radiación solar, además de la ecología microbiana), y evaluar la influencia que tiene sobre las mismas la abundante población de peces, en la que se incluye especies exóticas invasoras.

Palabras clave: Especies exóticas invasivas, Carpa, Calidad del agua, Humedal, Macrófitos sumergidos.

Abstract: *The National Park of Las Tablas de Daimiel is a wetland of high ecological value due to it is the nesting and migration place for a remarkable variety of birds being an important biodiversity reserve. In recent years, this ecosystem has lost much of the existing biodiversity. For example, a decrease in the presence of the emblematic waterfowl Netta rufina has been observed. This birds feed on a green algae, Chara sp., which is also disappearing due, among other factor, the increase in water turbidity and the subsequent lack of light. This increase in turbidity may be directly related to an eutrophication increase as well as the significant growth in the populations of invasive fish species with benthic habits (carp, catfish). These fishes increase water turbidity and, in addition, feed on this submerged vegetation. The objective of this work has been to study the effect of different environmental parameters on the state of conservation of this system (hydrochemistry, nutrients, phytoplankton, turbidity and solar radiation, as well as microbial ecology), as well as to evaluate the influence of the increasing fish population, including the invasive species.*

Keywords: *Invasive exotic species, Cyprinus carpio, Water quality, Wetland, Submerged macrophyte*

INTRODUCCIÓN

El humedal del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel viene sufriendo fuertes modificaciones ambientales debido a la influencia, entre otros factores, del aprovechamiento intensivo de las aguas subterráneas y, en menor medida, del cambio climático global. Otras alteraciones importantes, son provocadas por las acciones de carácter antrópico, como la canalización de los ríos, desarrollo de la agricultura de regadío, la sobreexplotación de las aguas subterráneas, los cambios inducidos en la hidroquímica, y un largo etcétera de impactos de menor grado (Angeler *et al.* 2005, Sánchez-Carrillo *et al.* 2010, Mejías 2014).

El Parque presenta fuertes fluctuaciones en su nivel de agua, lo que incide directamente en su hábitat. Durante el periodo 2006-2009, el humedal se desecó debido a las escasas precipitaciones y a la sobreexplotación del acuífero. Tras este periodo el humedal alcanzó una espectacular recuperación hídrica y el ecosistema presentó aguas cristalinas y amplios tapices de carófitas (*Chara spp*.) en el fondo.

Desde el año 2011 al 2014 se observó una pérdida gradual de la vegetación sumergida junto con un aumento de la turbidez en el agua. Desde la Dirección del Organismo Autónomo de Parques Nacionales, se expresó preocupación por la pérdida de la biodiversidad y se evaluó si la situación venía propiciada por emisiones desde focos contaminantes. Durante 2015-2016 el IGME diseñó una amplia red de muestreo para estudiar la calidad del agua, concluyendo que no existía ningún contaminante que pudiera explicar la situación del humedal (López-Pamo *et al.* 2017). Lo que

sí se pudo observar durante el estudio es la influencia que ejerce la actividad de los peces sobre algunos parámetros. Se conoce que especies alóctonas, como la carpa, tienen una alta capacidad de modificar el medio. El objetivo de este trabajo ha sido estudiar una serie de variables que inciden en el estado del sistema (hidroquímica, nutrientes, fitoplancton, turbidez y radiación solar, además de la ecología microbiana), y evaluar la influencia que tiene sobre las mismas la abundante población de peces, en la que se incluye especies exóticas invasoras.

RESULTADOS

Las campañas de campo se han llevado a cabo en primavera y verano de 2018-19. Se han obtenido medidas *in situ* con sonda multi-paramétrica de pH, ORP, (potencial redox), oxígeno disuelto (OD), turbidez, clorofila-a (chl-a), ficocianina y radiación fotosintéticamente activa (PAR), además se han tomado medidas con disco secchi y muestreado el agua (nutrientes, elementos disueltos). También se ha realizado un estudio de la biodiversidad microbiana por parte del Centro de Astrobiología (CAB).

El muestreo se ha realizado en dos zonas diferenciadas dentro del humedal: i) la parte que denominaremos zona A, que es el área que inunda las aguas retenidas por la presa del Morenillo, y que recibe las aguas del río Guadiana y del Cigüela, y ii) la zona B, que es el área que inunda las aguas retenidas por la presa de Puente Navarro (Fig.1).

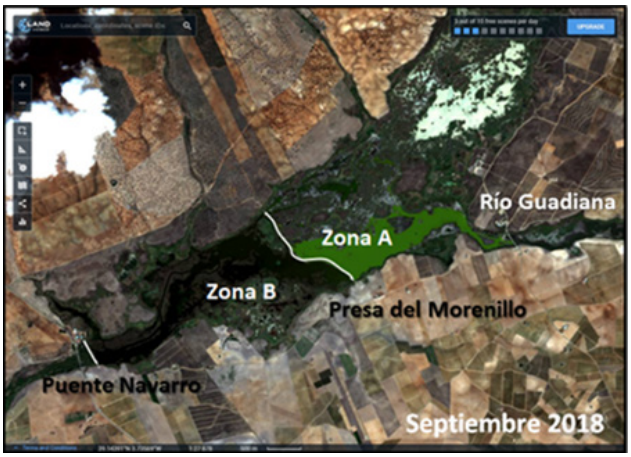


FIGURA 1. Superficie del humedal y distribución de las zonas, septiembre 2018.

Durante todo el estudio, el agua del humedal ha presentado turbidez, generalmente más elevada en la zona A que en la zona B. La partícula de origen biogénico que genera turbidez, se puede relacionar con otros dos parámetros: la clorofila-a y la ficocianina. Se observó una baja relación de estos parámetros en ambas zonas (Fig. 2). Hay que tener en cuenta que a esta turbidez de origen orgánico hay que sumarle las partículas inorgánicas que hay en el humedal.

La re-movilización del sedimento en lagos someros con ausencia de vegetación acuática, como es el caso de este

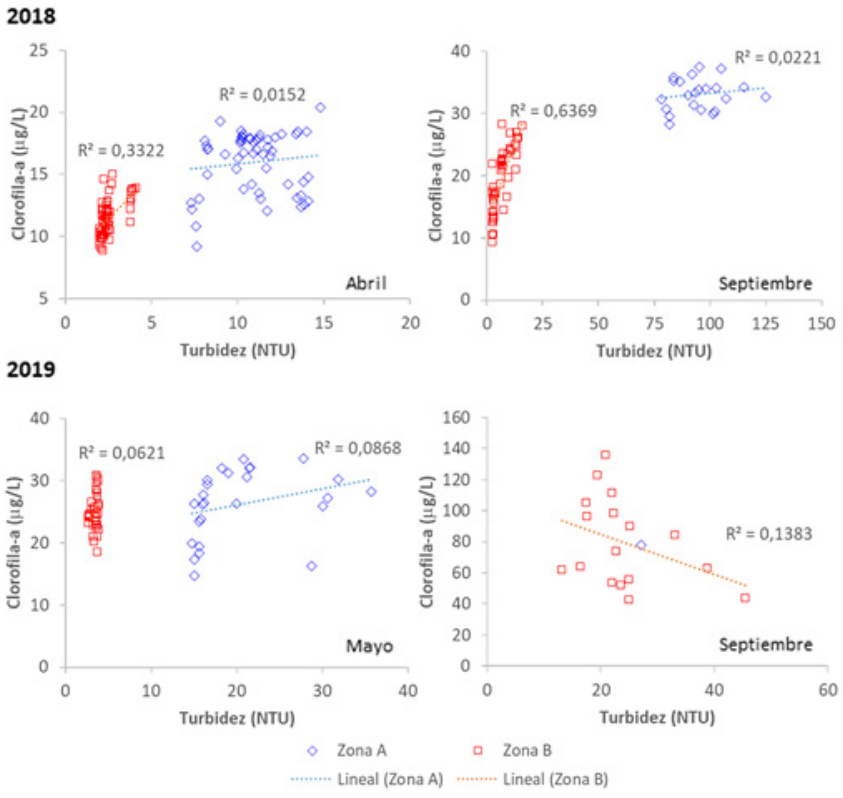


FIGURA 2. Relación entre los valores de turbidez y clorofila por campañas y zonas.

humedal, la puede causar tanto el viento como la actividad de peces bentívoros. El viento sobre un lago somero puede llegar a poner en suspensión sedimento fino del fondo (Bailey y Hamilton 1997, Cózar *et al.* 2005).

Durante el periodo de estudio se ha podido constatar que el movimiento de las carpas generan unas nubes muy visibles de remoción y puesta en suspensión del sedimento. En la zona con mayor turbidez (zona A) se ha observado con más frecuencia las nubes de sedimento creadas por la actividad de los peces. En esta zona no ha habido desarrollo de vegetación y, además, presenta partes más someras en las que la incidencia del viento es mayor.

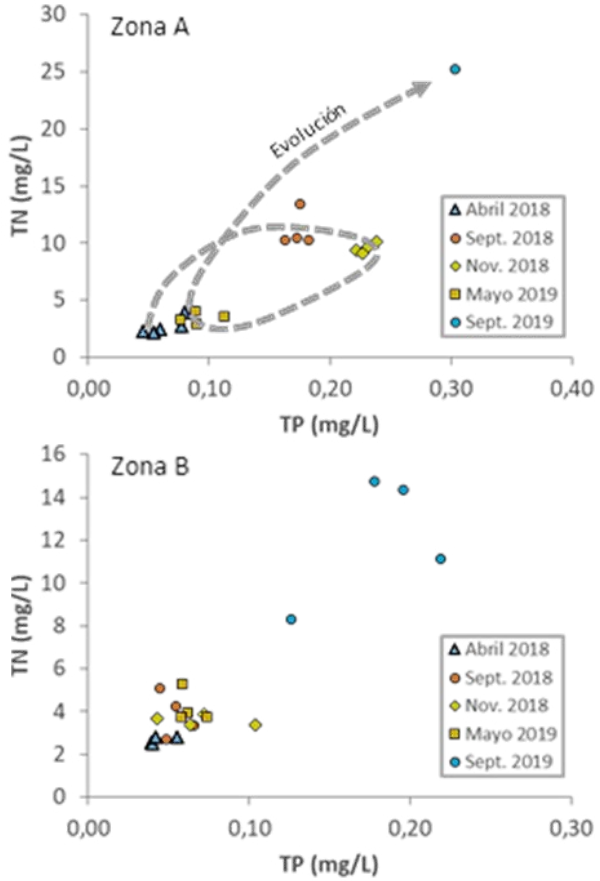


FIGURA 3. Concentración de nitrógeno y fósforo total.

Para garantizar la existencia de comunidades de plantas sumergidas estables, libres de la amenaza de la sobre proliferación de fitoplancton, los niveles de fósforo total deben ser inferiores a 0,050 mg/l y los de nitrógeno entre 0,5 y 1 mg/l. En la figura 3 se representan los valores de nutrientes analizados, nitrógeno (TN rango 2,16-13,4 mg/l) y fósforo total (TP rango 0,04 a 0,304 mg/l) y se observa: i) que ambos son elevados y ii) que la zona A presenta una clara evolución estacional/anual. Los valores más elevados de nutrientes se han obtenido al final del verano. La zona B presentó valores más similares en la mayoría de los muestreos menos en la última campaña (Fig. 3).

La presencia de praderas subacuáticas de carófitos indica que la calidad del agua es buena y que el enclave está poco o nada contaminado. Estas formaciones son las que primero desaparecen cuando llega algún tipo de contaminante y son un buen indicador de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. Los valores de nutrientes más óptimos se encontraron en la zona B, y fue en esta zona dónde proliferaron las carófitas durante el estudio.

Por otro lado, los nutrientes (C, N y P) son necesarios para la producción primaria del fitoplancton y dan una idea del grado de eutrofia del paraje. En la zona A se ha observado que el incremento de nutrientes en el humedal va acompañado de un incremento en los valores de clorofila-a y ficocianina (cianobacterias), ambos registrados al final del verano. Además, en el verano de 2018 se identificó el desarrollo de un bloom algal, que se mantuvo hasta diciembre-18.

Zona A	2018		2019	
	Abril	Sept.	Mayo	Sept.
TP medio (µg/L)	63	173	92	304
Chl-a media (µg/L)	16	33	29	92
Chl-a máx. (mg/L)	18	35	32	92
D. Secchi medio (cm)	53	11	36	20
D. Secchi mín. (cm)	43	10	28	20

Zona B	2018		2019	
	Abril	Sept.	Mayo	Sept.
TP medio (µg/L)	44	54	63	180
Chl-a media (µg/L)	12	20	25	67
Chl-a máx. (mg/L)	13	25	28	111
D. Secchi medio (cm)	143	77	92	27
D. Secchi mín. (cm)	130	56	76	22

Mesotrófico Eutrófico Hipereutrófico

TABLA 1. Valoración del estado trófico del humedal de Las Tablas de Daimiel según la clasificación de la OCDE (1982).

Según la clasificación de la OCDE (1982) sobre el estado trófico del sistema (Tabla 1), la zona A se puede considerar hipereutrófica, con tendencia a empeorar de un año a otro; y la zona B eutrófica, alcanzando el nivel hipereutrófico en septiembre de 2019.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La calidad del agua del humedal no es homogénea. Se ha identificado importantes variaciones en las medidas de los parámetros físico-químicos entre las zonas A y B.

El agua retenida por la presa del Morenillo presenta mayor turbidez, mayores valores de clorofila-a y nutrientes, como TP y TN. Además, esta masa de agua presentó un bloom algal en el verano de 2018 con altísimos valores de turbidez (80-120 NTU), clorofila-a (hasta 40 µg/l) y de ficocianina (aprox. 20 µg/l), parámetro que indica el desarrollo de

cianobacterias. Tras un estudio de la biodiversidad microbiana por parte del CAB se ha confirmado la presencia de tres tipos de cianobacterias, que junto con las algas forman un afloramiento de organismos fotosintéticos. Estos organismos imposibilitan la entrada de luz necesaria para el desarrollo de la vegetación bentónica, ya que impide la realización de la fotosíntesis, lo que genera que la producción primaria no pueda existir en profundidad.

Por otro lado, la zona B presentó poca turbidez y bajos valores de clorofila, y nutrientes. Debido a la transparencia del agua se constató una mayor penetración de la luz, lo que ha favoreciendo que en esta zona se hayan desarrollado las ovas. Este desarrollo se ha podido observar durante prácticamente todo el estudio.

Las concentraciones de los compuestos químicos inorgánicos (iones mayoritarios, elementos traza y metales) y orgánicos (herbicidas y plaguicidas) no superan los valores máximos recogidos en las legislaciones medioambientales vigentes, no siendo un factor limitante para el desarrollo de las carófitas. A pesar de que la calidad del agua respecto a los elementos disueltos sea buena, el humedal de Las Tablas de Daimiel se puede considerar eutrófico, alcanzando el nivel de hipereutrófico en la zona A en la que hay mayor turbidez, nutrientes y clorofila-a, lo que caracteriza el estado ecológico actual, que está sufriendo una degradación. Una de las peculiaridades de este humedal es la gran población de peces que presenta, incluyendo varias especies exóticas invasoras (*Lepomis gibbosus, Ameiurus melas* y *Cyprinus carpio*), conocidas por su alta capacidad de modificar el medio. Durante el estudio se ha podido constatar que la actividad de los peces en el humedal desencadena: i) un incremento de la turbidez, debido a la suspensión del sedimento, ii) la destrucción de la vegetación sumergida por ingesta o desenraizamiento, iii) una reducción de vegetación que afecta a la cohesión de los sedimentos favoreciendo su re-suspensión tanto por la actividad de los peces como por el viento, iv) la re-suspensión de los sedimentos, que puede aumentar los nutrientes en agua y favorecer el desarrollo del fitoplancton, aumentando la turbidez y v) la atenuación de la radiación PAR debido a la turbidez condiciona seriamente el crecimiento de las carófitas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Carlos Ruiz de la Hermosa (Director-Conservador del P.N. de Las Tablas de Daimiel) y a los guardas (Manuel Escuderos, Joaquín Gil y Felipe) por su constante ayuda en las jornadas de campo. Este trabajo ha sido cofinanciado por la Fundación Biodiversidad y con el apoyo del proyecto RTI2018-094867-B-I00.

REFERENCIAS

Angeler D., Sánchez-Carrillo S., Rodrigo M., Viedma O., Alvarez-Cobelas M. (2005): Water depth, macrophytes and fish in wetland picocyanobacteria. *Hydrobiologia* 549, 23-32.

Bailey, M., Hamilton, D.P. (1997): Wind induced sediment resuspension: a lake-wide model. *Ecological Modelling*, 99, 217-228.

Cózar A., Gálvez J.A., Hull V., García C.M., Loiselle S.A. (2005): Sediment resuspension by wind in a shallow lake of Esteros del Iberá (Argentina): a model based on turbidimetry. *Ecological Modelling*, 186, 63-76.

López-Pamo E., Santofimia E., Ruiz Hernández J.M., Mejías Moreno M. (2017): *Estudio hidrogeológico sobre la calidad del agua y los posibles focos de contaminación en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel.* Centro documental IGME, pp 43.

Mejías Moreno, M. (Ed.) (2014): *Las Tablas y los Ojos del Guadiana: agua, paisaje y gente*. Instituto Geológico y Minero de España, Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid. 360 pp.

OCDE (1982): *Eutrophisation des eaux. Métodes de surveillance, d'evaluation et de lutte*. Paris. 164 pp.

Sánchez-Carrillo, S., Angeler, D.G. (2010): Ecology of Threatened Semi-Arid Wetlands: Long-term research in *Las Tablas de Daimiel. Series Wetlands: Ecology, Conservation and Management*, Volume 2. Springer, Dordrecht, Países Bajos.

Procesos hidrogeoquímicos ligados a la precipitación mineral en una salina costera

Hydrogeochemical processes linked to mineral precipitation in a coastal salt pan

F. Sola[1] y A.Vallejos[1]

1 Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Universidad de Almería 04120 Almería.
fesola@ual.es, avallejo@ual.es

Palabras clave: isotopos estables, modelización hidroquímica, precipitados minerales, Cabo de Gata

Resumen

La laguna costera de Cabo de Gata (SE Almería) es un lagoon natural antrópicamente convertido en una salina, favorecido por la climatología de esta zona. El agua de mar se hace entrar a través de una compuerta y es guiada por un circuito con diferentes etapas, en las cuales va aumentando el grado de saturación en halita hasta lograr su precipitación en los últimos estanques de evaporación. Se han realizado análisis mineralógicos, químicos e isotópicos de muestras de sedimentos y de agua a lo largo de este circuito. La difracción de rayos-X muestra que, junto con los granos minerales decantados, existen otros de neoformación como la pirita, la calcita, yeso y halita. Mediante el código Phreeqc se ha procedido al cálculo de las tasas de evaporación necesarias para que una muestra de mar comience la precipitación de una serie de fases minerales. En el caso del yeso, la precipitación se alcanza cuando el grado de evaporación del agua de mar alcanza el 70%, mientras la halita necesita un 90%. La precipitación del yeso implica la incorporación de agua del medio en su estructura química. Dado que los isótopos más pesados del oxígeno e hidrógeno son los más fácilmente fijados en la estructura cristalina, la precipitación del yeso provoca una reducción en las proporciones de $^{18}O/^{16}O$ y $^{2}H/^{1}H$ en el agua de los estanques en que éste precipita. Los datos químicos e isotópicos medidos concuerdan de manera general con aquellos esperados en un proceso de evaporación de agua de mar. Sin embargo, existen algunas discrepancias entre ellos debido a que una salina es un medio abierto y más complejo, en el que intervienen otros procesos, frente a lo que ocurriría en un ensayo de laboratorio. Es por esto por lo que conforman un buen análogo cuando lo que se quiere es estudiar un sistema de gran escala, como puede ser una cuenca sedimentaria marina que ha quedado aislada y expuesta a evaporación, como le pudo ocurrir a la Cuenca Mediterránea durante el Messiniense.

Abstract

The coastal lagoon of Cabo de Gata (SE Almeria) is a natural lagoon transformed into a salt pan thanks to the weather of this area. The seawater is conducted along a circuit with different stages where the degree of saturation in halite goes changing until its precipitation in the last evaporation ponds. Mineralogical, geochemical and isotopic analysis have been performed in samples taken along this circuit. R-X diffraction shows that, along with decanted mineral grains, there are other neoformation grains such as pyrite, calcite, gypsum and halite. Using the Phreeqc code, the evaporation rate to start the precipitation of a series of mineral phases has been calculated. Gypsum precipitation happens when seawater reaches a 70% of evaporation and halite a 90%. The precipitation of gypsum implies the incorporation of water from the medium in its chemical structure. Since the heavier isotopes of oxygen and hydrogen are the most easily fixed in the crystalline structure, the precipitation of gypsum causes a decrease in $^{18}O/^{16}O$ and $^{2}H/^{1}H$ in the water of the artificial ponds where it precipitates. The chemical and isotopic data measured generally agree with those expected in a process of seawater evaporation. However, there are some discrepancies between them because a salt pan is an open and more complex medium, in which other processes take part, compared to what would occur in a laboratory experience. Nevertheless, it can be considered a good analogue in case of studying a large-scale system, such as a marine sedimentary basin that has been isolated and exposed to evaporation, as could happen to the Mediterranean Basin during the Messinian.

Caracterización y funcionalidad hidrológica de los suelos de una cuenca pre-pirenaica (Bidasoa, Navarra).

Characterisation and hydrological functionality of soils in a Pre-Pyrenean catchment (Bidasoa, Navarre).

M. Valiente[1], A. Zabaleta[1], M. Meaurio[2], J.A. Uriarte[1], I. Antigüedad[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 48940 Leioa. maria.valiente@ehu.eus; ane.zabaleta@ehu.eus; jesus.uriarte@ehu.eus; inaki.antiguedad@ehu.eus

2 Dpto. de Química Aplicada, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 20018, Donostia - San Sebastián. maite.meaurio@ehu.eus

Palabras clave: Suelo, humedad del suelo, modelización hidrológica, cambio climático, adaptación.

Resumen

Las características y propiedades hidrológicas de los suelos son factores determinantes en los procesos hidrológicos de una cuenca fluvial, los cuales están directamente afectados por la cubierta vegetal y su gestión. Un mejor conocimiento de la cadena agua-suelo-biota resulta esencial para una modelización hidrológica íntegra, cuyos resultados puedan ser considerados en el desarrollo de estrategias de gestión del agua y el territorio, más aún desde el contexto de adaptación al cambio climático. Con este objetivo, se ha llevado a cabo una detallada caracterización físico-química, comprendida por 172 puntos de muestreo, de los suelos de la cuenca cantábrica del Bidasoa (681 km^2). Los análisis, revelan una estrecha relación de las características químicas con la geología del entorno, en tanto que el tipo de vegetación es el principal agente que afecta a las propiedades físicas. Para comprender la influencia de estos agentes en la funcionalidad hidrológica de los suelos, se instalaron en un entorno geológico y meteorológico homogéneo, una estación meteorológica y cuatro de humedad de suelo (suelos limo-arcillosos, de 1 m de profundidad) en diferentes tipos de vegetación (pinar, robledal, prado y helechal). Los datos, muestran una gran influencia de la cobertura vegetal en la dinámica de la humedad del suelo. Mientras que en el prado la humedad del suelo más somero refleja claramente los patrones de lluvia, las variaciones de la humedad bajo cubierta forestal se encuentran más atenuadas. Además, el suelo bajo el prado retiene más agua que el forestal, donde la infiltración a capas profundas es más rápida. El conocimiento sobre la funcionalidad hidrológica del suelo bajo diferentes cubiertas vegetales se integrará en la modelización hidrológica, necesaria para considerar medidas de adaptación a tomar desde el territorio.

Abstract

Soil characteristics and its hydrological properties are mayor factors affecting the hydrological processes of a catchment, which are directly affected by land cover and its management. A better understanding of the water-soil-vegetation system is essential for reliable hydrological modeling, which results should be considered in developing sustainable land and water management strategies, in a context of adaptation to climate change. To this aim, a detailed chemical and physical characterization of soil properties consisting of 172 sample points has been conducted at the Cantabrian Bidasoa catchment (681 km^2). Analyses reveal a great relation between chemical characteristic and surrounding geology, whilst land cover is the main element affecting physical properties. So as to understand the influence of this factors into the hydrological functionality of soils, four soil-moisture stations and a meteorological one were installed in different land covers (pine forest, oak forest, grassland and fernery), within an homogeneous geological and meteorological setting (one meter deep silt-loamy textured soils). Data show that soil-moisture dynamics are deeply influenced by top vegetation cover. While superficial soil-moisture in grassland closely mirrors precipitation patterns, soil-moisture variations under forests are more attenuated. Furthermore, soil with grassland cover retains more water than tree cover, where infiltration to deeper layers is faster. Knowledge regarding hydrological functionality of soil under different land covers will be integrated into hydrological modeling, which is necessary for better consideration of the adaptation measures that should be taken from the territory.

Hidrobio-geología del complejo sistema del diapiro de Añana (Araba)

Hydrobio-geology of the complex system of Añana diapir (Araba)

A. Zabaleta[1], M. Azpiazu-Muniozguren[2], J. Bikandi[2], J.A. Uriarte[1], I. Martinez-Ballesteros[2], J. Garaizar[2], I. Antiguedad[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 48940 Leioa. ane.zabaleta@ehu.eus ; jesus.uriarte@ehu.eus; inaki.antiguedad@ehu.eus

2 MikroIker Research Group, Departamento de Inmunología, Microbiología y Parasitología, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 01006 Vitoria-Gasteiz. mazpiazu007@ikasle.ehu.eus; joseba.bikandi@ehu.eus; ilargi.martinez@ehu.eus; javier.garaizar@ehu.eus

Palabras clave: Hidrogeología, hidroquímica, isótopos, mezcla de aguas, microbiología.

Resumen

El sistema hidrogeológico en el entorno del diapiro salino de Añana (biotopo protegido, ~ 19 km^2) es enormemente complejo y compartimentado, mostrando una importante regulación de sus flujos, lentos, en todos los puntos de observación (manantiales y piezómetros). Cada parte del sistema tiene sus propios condicionantes, lo cual queda reflejado en la presencia de aguas saladas, con aprovechamiento de sal, y salinas. Como la información hidroquímica es más sugerente que la piezométrica, se ha establecido un modelo tentativo de End Members (miembros extremos), según el cual las distintas aguas que aparecen en el Valle Salado serían la consecuencia de mezclas, en diferentes proporciones y profundidades de, al menos, 2 tipos de aguas extremas, las del sector oriental del diapiro (claramente sulfatadas, CE ~ 7-25 mS/cm), más superficiales, y las más profundas que condicionan los manantiales salados (claramente cloruradas, CE ~ 170-220 mS/cm y T ~ 15-18ºC, indicando termalismo). Según la información isotópica reciente, las aguas saladas muestran relación con las del sector del Lago Arreo (al sur del diapiro), y las aguas salinas con las del sector este. Los datos de Tritio indican flujos lentos. Los sulfatos en todas ellas proceden de yesos triásicos y el contenido isotópico en Sr estaría indicando relación con rocas del Terciario, atravesadas por la estructura diapírica, para todas las aguas. Los resultados de análisis microbiológicos, obtenidos mediante secuenciación de los genes 16S RNAr, refuerzan este modelo y muestran un complejo ecosistema hipersalino. En los manantiales salados se detectan arqueas en gran número, y bacterias halófilas extremófilas, aunque de limitada diversidad procariota. Sin embargo, en las aguas salinas se ha detectado un predominio absoluto de bacterias con una elevada biodiversidad procariota.

Abstract

The hydrogeological system around the Añana salt diapir (protected biotope, 19 km^2) is enormously complex and compartmentalized, showing an important regulation of its slow flows in all observation points (springs and piezometers). Each part of the system has its own conditioning factors, which is reflected in the presence of salty water, used for of the production of salt, and the saline ones. As the hydrochemical information is more revealing than the piezometric information, a tentative model of End Members has been established, according to which the different waters that appear in the Salt Valley would be the result of mixing, in different proportions and depths, of at least 2 types of extreme waters: those more superficial of the eastern sector of the diapir (clearly sulphated, EC 7-25 mS/cm) and the deeper ones that condition the salty springs (clearly chlorinated, EC 170-220 mS/cm and T 15-18C, indicating thermalism). According to recent isotopic information, the salty waters show a relationship with those of the Arreo Lake sector (to the south of the diapir), and the saline waters with those of the eastern sector. Data from Tritium indicate slow flows. The sulphates in all of them come from Triassic gypsum and the isotopic content in Sr would be indicating a relationship with Tertiary rocks, crossed by the diapir structure, for all waters. The results of microbiological analysis, after the sequencing of 16S rRNA genes, reinforce this model and show a complex hypersaline ecosystem. In salty springs, archaea are detected in large numbers, and also extremophilic halophilic bacteria, although with limited prokaryotic diversity. However, in the saline waters, an absolute predominance of bacteria with a high prokaryote biodiversity has been detected.

Estudio hidrogeológico-hidroquímico del complejo sistema multicapa del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz

Hydrogeological-hydrochemical study of the complex multilayer system of the Vitoria-Gasteiz Green Belt

A. Zabaleta[1], R. Carrey[2,3], N. Otero[2,3,4], J. Vilela[5], J.A. Uriarte[1], I. Antiguedad[1]

1Geologia Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), 48940 Leioa (Bizkaia). ane.zabaleta@ehu.eus; ; jesus.uriarte@ehu.eus; inaki.antiguedad@ehu.eus

2 Grup MAiMA, SGR Mineralogia Aplicada, Geoquímica i Geomicrobiologia, Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), 08028, Barcelona (Spain). rcarrey@ub.edu; notero@ub.edu

3 Institut de Recerca de l'Aigua (IDRA), Universitat de Barcelona (UB).

4 Programa Serra Húnter, Generalitat de Catalunya.

5 Centro de Estudios Ambientales Centro de Estudios Ambientales (Green Lab) del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 01008 Vitoria-Gasteiz (Alava/Araba).

Palabras clave: Hidrogeología, sistema multicapa, isótopos, polución, Anillo Verde Vitoria-Gasteiz

Resumen

La ciudad de Vitoria-Gasteiz se asienta, en gran parte, sobre depósitos cuaternarios (fluviales, aluviales) que conforman la Unidad Hidrogeológica de igual nombre. Estos depósitos originan un acuífero de alta permeabilidad y espesor saturado reducido (4-5 m). Por debajo se encuentra un potente paquete margoso de muy baja permeabilidad, pero con niveles de fracturación que posibilitan zonalmente flujos ascendentes. Este esquema multicapa es el que caracteriza a los parques periurbanos de transición entre la ciudad y su entorno agrícola (Anillo Verde). El interés se centra al sur de la ciudad, donde el futuro Parque de Larragorri cerrará el Anillo Verde. En este sector hay varios focos potenciales de contaminación (vertedero municipal de Gardelegi, depósitos incontrolados en graveras, actividades agrarias…). Se cuenta con una importante red de piezómetros someros (6-8 m) y profundos (30-40 m), y análisis químicos frecuentes, además de determinaciones isotópicas en diferentes moléculas (H_2O, ^3H, SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+). Se evidencian procesos complejos, aunque se distinguen claramente las aguas asociadas a las margas, de mayor carga contaminante (CE hasta 18000 µS/cm) y flujos muy lentos, de las de los depósitos superficiales. Pero hay piezómetros que aun siendo someros presentan aguas indicativas de flujos ascendentes cuya interpretación es fundamental para el correcto diseño del futuro parque y su gestión como infraestructura verde y azul.

Abstract

The city of Vitoria-Gasteiz is mainly settled on quaternary deposits (fluvial, alluvial) that comprise the Hydrogeological Unit of the same name. These deposits give origin to an aquifer of high permeability and reduced saturated thickness (4-5 m). Underneath there is a thick marly formation of very low permeability, but with fractured levels that enable local ascending flows. This multilayer scheme characterizes the system of periurban parks in transition between the city and its agricultural environment (Green Belt). Current research is focused on the southern sector of the city, where the future Larragorri Park would close the Belt. In this sector there are several potential sources of pollution (Gardelegi municipal landfill, uncontrolled deposits in gravel pits, agricultural activities...). There is an important network of shallow (6-8 m) and deep (30-40 m) piezometers, and frequent chemical analyses, as well as isotopic determinations in different molecules (H2O, 3H, SO42-, NO3-, NH4+). Complex processes are evident. The waters associated with the marls, with a higher pollutant load (EC up to 18000 µS/cm) and very slow flows, are clearly distinguished from those of the surface deposits, in direct relation to the streams. However, there are piezometers which, although shallow, are indicative of ascending flows, whose interpretation is fundamental for the correct design of the future park and its management as green and blue infrastructure.

Variaciones de δD y $\delta^{18}O$ en el sistema magmático de Isla Decepción (Antártida): implicaciones para los mecanismos de ascenso magmático.

δD and $\delta^{18}O$ variations of the magmatic system beneath Deception Island volcano (Antarctica): implications for magma ascent.

A.M. Álvarez-Valero[1], G. Gisbert[2], M. Aulinas[3], A. Geyer[4], G. Kereszturi[5], A. Polo-Sánchez[1], E. Núñez-Guerrero[1,6], H. Sumino[7] y J. Borrajo[8]

1 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca. aav@usal.es
2 Instituto de Geociencias (IGEO), Severo Ochoa, 28040 Madrid. ggisbertp@hotmail.com
3 Dpto. Mineralogia, Petrologia, Geologia Aplicada, Univ. Barcelona, Martí i Franquès,, 08028 Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu
4 Geociencias Barcelona (GEO3BCN-CSIC), Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028, Barcelona. ageyer@geo3bcn.csic.es
5 School of Agriculture and Environment, Massey University, Nueva Zelanda. G.Kereszturi@massey.ac.nz
6 Laboratorio de Isótopos Estables NUCLEUS-Univ. Salamanca, Edificio I+D+i, C/Espejo, 2, 37007 Salamanca. elena hds@usal.es
7 Department of Basic Science, University of Tokyo, Tokyo, Japón. sumino@igcl.c.u-tokyo.ac.jp
8 Dpto. Física, Ingeniería y Radiología Médica, Univ. Salamanca, C/Alfonso X el Sabio, s/n, 37007 Salamanca. borrajo@usal.es

Palabras clave: isótopos estables, volcán activo, Isla Decepción, Antártida.

Resumen

Isla Decepción es uno de los volcanes más activos de la Antártida, con más de veinte erupciones explosivas en los últimos dos siglos. Las variaciones isotópicas de hidrógeno y oxígeno en los volátiles atrapados en las muestras recogidas (vidrio volcánico e inclusiones de fundido en fenocristales) proporcionan información esencial sobre los mecanismos que controlan la historia eruptiva en este sistema volcánico. Los nuevos resultados isotópicos combinados con un exhaustivo conocimiento petrológico de este volcán revela (i) un ascenso rápido y el enfriamiento de los magmas preservando el contenido de agua magmática pre-eruptiva, con ligeras variaciones por rehidratación debido a la exposición del vidrio volcánico a aguas marinas, meteóricas y fumarólicas; (ii) un sistema(s) magmático(s) variable en el tiempo y actualmente dominado por una desgasificación en sistema cerrado que conduce a erupciones explosivas; (iii) el control que ejercen los dos sistemas de fallas principales de la isla sobre las profundidades de estancamiento de los magmas, así como sobre las interacciones de los magmas con las aguas superficiales que dan lugar a una actividad hidrovolcánica. Esta investigación ha sido financiada por los proyectos RECALDEC (CTM2009-05919-E/ANT), PEVOLDEC (CTM2011-13578-E/ANT), POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER, UE), VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00) y USAL-2019 (Programa Propio - mod. 1B); también forma parte de POLARCSIC.

Abstract

Deception Island is one of the most active volcanoes in Antarctica, with more than twenty explosive eruptions documented over the past two centuries. Hydrogen and oxygen isotopic variations in the volatiles trapped in the collected samples (glass and melt inclusions in phenocrysts) provide essential information on the mechanisms controlling the eruptive history in this volcano. Thus, understanding the petrological and related volatile isotopic variations in the island has the potential to help foreseeing the likely occurrence and main features of future eruptions. This study, based on new isotopic results combined with exhaustive petrologic knowledge reveals in Deception Island (i) fast ascent and quenching of most magmas preserving pre-eruptive magmatic water contents and isotopic ratios, with local modification by rehydration due to glass exposition to sea, meteoric and fumarolic waters; (ii) a plumbing system(s) variable with time and currently dominated by closed-system degassing leading to explosive eruptions; (iii) control of the two main fault systems in Deception Island on the magma stagnation depths and the likeliness of interactions of ascending magmas with the surface waters thus producing hydrovolcanic activity. *This research was partially funded by the projects RECALDEC (CTM2009-05919-E/ANT), PEVOLDEC (CTM2011-13578-E/ANT), POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER, UE), VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00) and USAL-2019 (programa propio 1B). It is part of POLARCSIC research initiatives.*

Modelización 3D de muestras de la Isla Decepción (Antártida) mediante Agisoft Metashape Standard

3D sample modeling from Deception Island (Antarctica) by Agisoft Metashape Standard

R. Arasanz[1], O. Vilanova[2] y A. Geyer[3]

1 Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071, Granada, España. raquelarasanz@correo.ugr.es
2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Martí Franques s/n, 08028 Barcelona, España. oriolvilanovapages@gmail.com
3 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. ageyer@geo3bcn.csic.es

Palabras clave: Muestras de difícil acceso, modelo 3D, Repositorio digital, COVID-19

Resumen

Hasta ahora, la dificultad de acceso de algunas muestras geológicas se había resuelto mediante la digitalización de estas en fotografías y archivos de descripción. Sin embargo, la situación sociosanitaria actual asociada a la pandemia de COVID-19, ha despertado la necesidad de adaptar el estudio y conservación de estas en archivos digitales más complejos, como por ejemplo modelos digitales 3D.

En este trabajo, para complementar archivos digitales de muestras de la Antártida del GEO3BCN-CSIC, se ha generado el modelo digital tridimensional de varias muestras en visu, procedentes de la Isla Decepción (Antártida), con el objetivo de conservar el aspecto original de estas y crear un repositorio digital. Asimismo, también se han utilizado para solventar a la demanda actual de teletrabajo, permitiendo el acceso libre a dichas muestras.

La digitalización de las muestras se ha realizado mediante el uso del programa Agisoft Metashape Standard. Se ha utilizado la cámara de fotografías NIKON D5600 con resolución 6000 x 4000. Dependiendo de las dimensiones de la muestra se han capturado entre 30 y 60 imágenes que posteriormente se han procesado con el programa Agisoft mediante la alineación de las imágenes, la nube de puntos, el Mesh y la textura.

Esta investigación es parte de las iniciativas de investigación POLARCSIC y PTIVolcan. Fue parcialmente financiada por las subvenciones MINECO POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI / FEDER-UE) y VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00) (AEI / FEDER, UE). También cuenta con el apoyo de la beca PREDOCS-UB.

Abstract

So far, the difficulty of accessing some geological samples has been solved by images and description files. However, the current socio-sanitary situation related to the COVID-19 pandemic has raised the need to adapt the study and conservation of these samples in a more complex digital method, such as 3D digital models.

Currently, it has been generated various 3D digital models of different samples, from Deception Island (Antarctica). With the aim to complement their GEO3BCN-CSIC Antarctic digital files, to conserve the original appearance of these samples and to create a digital repository. Likewise, these models have been used to support the present teleworking demand and consequently to allow free access to them.

The digitization of the samples has been carried out using the Agisoft Metashape Standard program. The NIKON D5600 camera with a resolution of 6000 x 4000 has been used. Depending on the sample size, between 30 and 60 images have been processed with the Agisoft program, with the use of aligment photos, dense cloud, mesh and texture.

This research is part of POLARCSIC and PTIVolcan research initiatives. It was partially funded by the MINECO grants POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER-UE) and VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00) (AEI/FEDER, UE) and it is also supported by the PREDOCS-UB grant.

El volcanismo holoceno de El Hierro, Islas Canarias

The Holocene volcanism of El Hierro, Canary Islands

M. Aulinas[1], M.C. Cabrera[2], C. Criado[3], J.L. Fernandez-Turiel[4], F.J. Perez-Torrado[2] y A. Rodriguez-Gonzalez[2]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu

2 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. mcarmen.cabrera@ulpgc.es, franciscojose.perez@ulpgc.es, alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es

3 Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna, Padre Herrera s/n, 38200 San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife. ccriado@ull.edu.es

4 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@geo3bcn.csic.es

Palabras clave: Volcanismo, isla oceánica, Holoceno, El Hierro, Islas Canarias

Resumen

El volcanismo subaéreo de edad holocena en El Hierro genera campos de volcanes monogenéticos vinculados a los tres sistemas de dorsales o *rifts* presentes en la isla. Sus mecanismos eruptivos son típicamente estrombolianos, aunque también hay eventos freatoestrombolianos. Las erupciones más recientes con frecuencia forman campos de lava en las plataformas costeras, que se consideran posteriores al último máximo glacial (aprox. 20 ka AP). Las plataformas costeras más desarrolladas se encuentran al final de las dorsales y en el interior de la depresión de El Golfo. Este criterio geomorfológico muestra que más de treinta erupciones subaéreas han tenido lugar en El Hierro desde hace aprox. 20 ka AP. Además, hay muchos edificios volcánicos aparentemente recientes lejos de la costa. La investigación del volcanismo más reciente de la isla, los últimos 11.700 años del Holoceno, abarca un período suficientemente largo y cercano a la actualidad. Por lo tanto, este período es el mejor para modelar los procesos eruptivos que nos permitirán evaluar los escenarios futuros de la dinámica eruptiva en El Hierro. El proyecto LAJIAL combina metodologías de cartografía geológica, geomorfología, SIG, cronoestratigrafía, paleomagnetismo, petrología y geoquímica para resolver la tasa de recurrencia eruptiva durante el Holoceno en El Hierro, así como para precisar el modelo de dorsales en las islas volcánicas oceánicas de intraplaca.

Esta investigación se financia con el proyecto LAJIAL (PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, UE) y se realiza en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación GEOVOL (Gobierno de Canarias, ULPGC) y GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Abstract

The Holocene subaerial volcanism of El Hierro generates fields of monogenetic volcanoes linked to the three systems of rifts present on the island. Its eruptive mechanisms are typically Strombolian although there are also phreato-Strombolian events. The most recent eruptions frequently form lava on coastal platforms, which are considered after the last glacial maximum (approx. 20 ka BP). The most developed coastal platforms in El Hierro are at the ends of the rifts and in the interior of the El Golfo depression. This geomorphological criterion shows that more than thirty subaerial eruptions have taken place in El Hierro since approx. 20 ka BP. In addition, there are many apparently recent volcanic edifices far from the coast. The research of the most recent volcanism of the island, the last 11,700 years of the Holocene, covers a long enough period whereas it is close to the present day. Thus, this period is the best to model the eruptive processes that will allow us to evaluate the future scenarios of the eruptive dynamics in El Hierro. The Project LAJIAL combines methodologies of geological mapping, geomorphology, GIS, chronostratigraphy, paleomagnetism, petrology and geochemistry to solve the Holocene eruptive recurrence rate in El Hierro, and to constrain the rift model of intraplate ocean volcanic islands.

Financial support was provided by the Project LAJIAL (PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, EU). This study was carried out in the framework of the Research Consolidated Groups GEOVOL (Canary Islands Government, ULPGC) and GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Identificada una de las mayores erupciones del Holoceno en el Complejo Volcánico de Cerro Blanco, Andes Centrales

One of the largest eruptions of the Holocene identified in the Cerro Blanco Volcanic Complex, Central Andes

J.L. Fernandez-Turiel[1], F.J. Perez-Torrado[2], A. Rodriguez-Gonzalez[2], N. Ratto[3], M. Rejas[1] y A. Lobo[1]

1 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@geo3bcn.csic.es; alobo@geo3bcn.csic.es; mrejas@geo3bcn.csic.es

2 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. franciscojose.perez@ulpgc.es, alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es

3 Universidad de Buenos Aires, Instituto de las Culturas (UBA-CONICET), Facultad de Filosofía y Letras. nratto@filo.uba.ar

Palabras clave: Riolita, Complejo Volcánico de Cerro Blanco, Holoceno, Andes, Argentina

Resumen

Se investigó la gran erupción del Complejo Volcánico de Cerro Blanco (CVCB), en la Zona Volcánica Central de los Andes, NO Argentina, datada en 4410–4150 a cal AP, confirmando que es uno de los principales eventos eruptivos del Holoceno en el mundo (Fernández-Turiel *et al.*, 2019). Los resultados evidencian una erupción explosiva riolítica con depósitos piroclásticos de caída cineríticos a más de 400 km de distancia, cubriendo un área de aproximadamente 500,000 km^2 con un volumen >100 km^3 (volumen total bruto, equivalente a unos 70 km^3 de volumen DRE). Este último valor excede el umbral inferior del Índice de Explosión Volcánica (VEI) de 7. Asimismo, los depósitos de flujos piroclásticos inundaron los valles vecinos alcanzando distancias de varias decenas de kilómetros.

Esta investigación fue financiada por los Proyectos ASH y QUECA (MINECO, CGL2008-00099 y CGL2011-23307). Agradecemos el apoyo analítico del Laboratorio de Geoquímica labGEOTOP (infraestructura cofinanciada por ERDF-EU Ref. CSIC08-4E-001) y del Laboratorio de DRX (infraestructura cofinanciada por ERDF-EU Ref. CSIC10-4E–141) de ICT-JA-CSIC, y los laboratorios de EPMA y SEM de CCiTUB. Este estudio se realizó en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación GEOVOL (Gobierno de Canarias) y GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017SGR 1494).

Abstract

The major eruption of the Cerro Blanco Volcanic Complex (CBVC), in the Central Volcanic Zone of the Andes, NW Argentina, dated at 4410–4150 a cal BP, was investigated confirming that is one the major Holocene eruptive events in the world (Fernandez-Turiel et al., 2019). Results provide evidence for a major rhyolitic explosive eruption that spread ash-fall deposits at distances > 400 km, mantled the region over an area of about 500,000 km^2 and accumulating >100 km^3 of tephra (bulk volume, equivalent to about 70 km^3 DRE). This last value exceeds the lower threshold of Volcanic Explosive Index (VEI) of 7. On the other hand, thick pyroclastic-flow deposits (ignimbrites) filled neighbouring valleys up to several tens of kilometres from the vent.

Financial support was provided by the ASH and QUECA Projects (MINECO, CGL2008-00099 and CGL2011-23307). We acknowledge the the analytical assistance of labGEOTOP Geochemistry Laboratory (infrastructure co-funded by ERDF-EU Ref. CSIC08-4E-001) and DRX Laboratory (infrastructure co–funded by ERDF–EU Ref. CSIC10-4E-141) of ICTJA-CSIC, and EPMA and SEM Laboratories of CCiTUB. This study was carried out in the framework of Research Consolidated Groups GEOVOL (Canary Islands Government) and GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Referencias

Fernandez–Turiel, J.L.; Perez–Torrado, F.J.; Rodriguez–Gonzalez, A.; Saavedra, J.; Carracedo, J.C.; Rejas, M.; Lobo, A.; Osterrieth, M.; Carrizo, J.I.; Esteban, G.; Gallardo, J. y Ratto, N. (2019). *Estudios Geologicos* 75, e088.

Evolución del sistema magmático de Isla Decepción (Antártida)

Evolution of Deception Island's (Antarctica) magmatic system

A. Geyer[1], A.M. Álvarez-Valero[2], G. Gisbert[3], M. Aulinas[4], D. Hernández-Barreña[2], A. Lobo[1] y J. Marti[1]

1 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA, CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. ageyer@ictja.csic.es, agustin.lobo@ictja.csic.es, joan.marti@ictja.csic.es

2 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. aav@usal.es, danihern@usal.es

3 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, Severo Ochoa 7, 28040 Madrid, España. ggisbertp@hotmail.com

4 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Marti Franques s/n, 08028 Barcelona, España. meritxellaulinas@ub.edu

Palabras clave: Isla Decepción, Shetland del Sur, Volcanismo Antártico, evolución magmática, peligrosidad volcánica

Resumen

Isla Decepción (Islas Shetland del Sur) es uno de los volcanes más activos de la Antártida, con más de 20 erupciones volcánicas explosivas registradas en los últimos dos siglos. Las erupciones recientes (1967, 1969 y 1970) y los episodios de *unrest* volcánico que ocurrieron en 1992, 1999 y 2014-2015 demuestran que la generación de actividad volcánica en el futuro debe ser una preocupación válida y apremiante para aquellos científicos, personal técnico y logístico, y turistas localizados en la misma isla volcánica o sus alrededores. En este trabajo presentamos un modelo evolutivo del sistema magmático de Decepción integrando nuevos resultados petrológicos y geoquímicos con una base de datos exhaustiva de estudios previos llevados a cabo en la región y en la propia isla. Los resultados revelan la existencia de un complejo sistema magmático compuesto por varios reservorios someros (≤10 km de profundidad) alimentados por magmas que ascienden directamente desde el manto, o desde una zona de acumulación ubicada en el límite entre la corteza y el manto (15-20 km de profundidad). Comprender el estado actual del sistema magmático de la isla, y su evolución potencial en el futuro, es fundamental para aumentar la eficacia de la interpretación de los datos de monitoreo durante los períodos de *unrest* volcánico y, por lo tanto, para el pronóstico de erupciones futuras.

Esta investigación está apoyada por la beca CTM2011- 13578-E del MICINN y parcialmente financiada por el proyecto POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER-UE). A.G. agradece su contrato Ramón y Cajal (RYC-2012-11024). Este trabajo forma parte de las actividades POLARCSIC y AntVolc.

Abstract

Deception Island (South Shetland Islands) is one of the most active volcanoes in Antarctica, with more than 20 explosive eruptive events registered over the past two centuries. Recent eruptions (1967, 1969, and 1970) and the volcanic unrest episodes that happened in 1992, 1999, and 2014–2015 demonstrate that the occurrence of future volcanic activity is a valid and pressing concern for scientists, technical and logistic personnel, and tourists that are visiting or working on or near the island. We present a unifying evolutionary model of the magmatic system beneath Deception Island by integrating new petrologic and geochemical results with an exhaustive database of previous studies in the region. Our results reveal the existence of a complex plumbing system composed of several shallow magma chambers (≤10 km depth) fed by magmas raised directly from the mantle, or from a magma accumulation zone located at the crust-mantle boundary (15–20 km depth). Understanding the current state of the island's magmatic system, and its potential evolution in the future, is fundamental to increase the effectiveness of interpreting monitoring data during volcanic unrest periods and, hence, for future eruption forecasting.

This research was supported by the MICINN grant CTM2011- 13578-E and was partially funded by the POSVOLDEC project (CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER-UE). A.G. is grateful for her Ramón y Cajal contract (RYC-2012-11024). This research is part of POLARCSIC and AntVolc activities.

Presentando DecTephra, una nueva base de datos del registro de tefras de la Isla Decepción (Antártida)

Introducing DecTephra, a new database of Deception Island's tephra record (Antarctica)

J. Hopfenblatt[1], A. Geyer[2], M. Aulinas[1], A. Polo Sánchez[2] y A. Álvarez-Valero[3]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Martí Franques s/n, 08028 Barcelona, España. joaquinhopfenblatt@gmail.com; meritxellaulinas@ub.edu
2 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. ageyer@ictja.csic.es; polosanchezantonio@gmail.com
3 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. aav@usal.es

Palabras clave: Tefra, Decepción, Base de Datos, Tefrocronología

Resumen

Isla Decepción (DI) es el volcán que presenta una mayor actividad de las Islas Shetland del Sur, con más de 20 erupciones en los últimos dos siglos. Desde su descubrimiento en 1820, el número de bases científicas, actividades turísticas y el tráfico marítimo y aéreo ha aumentado considerablemente. De forma similar ocurre entre el Archipiélago de las Shetland del Sur y la Península Antártica, en los que se albergan 25 estaciones científicas y 3 campamentos de verano. El incremento en la cantidad de infraestructuras y población expuesta de toda esta zona a una futura erupción en DI aumenta la necesidad de avanzar en el conocimiento de la historia volcánica y magmática de la isla.

En este trabajo llevamos a cabo una revisión detallada y actualizada sobre el registro de tefras de DI. Para ello, hemos compilado la base de datos DecTephra (Deception Island Tephra Record), en la que se registra la información más relevante de todas las capas de tefra conocidas hasta la fecha con DI como área de fuente. DecTephra incluye 335 capas de tefra y criptotefra encontradas en sedimentos marinos/lacustres y testigos de hielo. Para cada capa de tefra, se aporta información sobre (i) ubicación (p. ej. latitud, longitud) y características del lugar de muestreo (p. ej. longitud del testigo de sedimento); y (ii) características de la tefra (p. ej. edad, química). El análisis de la información incluida en esta nueva base de datos muestra que las tefras de DI pueden observarse en numerosos lugares de muestreo próximos (< 150 km) distribuidos a lo largo de las Islas Shetland del Sur, pero también hasta el Polo Sur (> 2.900 km). Esta investigación fue parcialmente financiada por MINECO VOLCLIMA (CGL2015-72629-EXP) y forma parte de las actividades de investigación de POLARCSIC y PTIVOLCAN.

Abstract

Deception Island (DI) is the most active volcano in the South Shetland Islands with more than 20 eruptions in the last two centuries. Since its discovery in 1820, the number of scientific bases, touristic activities, and air and vessel traffic in the region, have considerably increased. The Antarctic Peninsula together with the South Shetland Archipelago, hosts 25 research stations and 3 summer field camps. This escalation in the amount of exposed infrastructure and population to a future eruption of DI clearly urges the need to advancing our knowledge of the island's volcanic and magmatic history.

In this work, we provide a detailed, and up-to-date, revision of the DI tephra record. For this, we have compiled the DecTephra (Deception Island Tephra Record) database, which seeks recording the most relevant information of all up today known tephra layers with DI as presumed source vent. DecTephra database includes 335 tephra and cryptotephra layers found in marine/lacustrine sediment and ice cores. For each tephra layer, we have compiled information regarding: (i) location (e.g., latitude, longitude) and characteristics of the sampling site (e.g., length of the sediment core); and (ii) tephra characteristics (e.g., age, chemistry). The analysis of the information included in this new database shows that DI tephras can be observed at numerous proximal (< 150 km) sampling sites distributed all along the South Shetland Islands but also as far as in the South Pole (> 2,900 km). This research was partially funded by the MINECO VOLCLIMA (CGL2015-72629-EXP) and is part of POLARCSIC and PTIVOLCAN research initiatives.

Estudio de estructuras corticales superficiales en la isla de San Miguel (Archipiélago de Azores) mediante el análisis de datos gravimétricos

Study of shallow crustal structures in Sao Miguel Island (Azores archipelago) through analysis of gravity data

O. Lozano[1,2], F.G. Montesinos[3,5], J. Arnoso[4,5]

1 Geosciences Barcelona (GEO3BCN – CSIC), Carrer de Lluís Solé i Sabarís, s/n, 08028 Barcelona. olozano@geo3bcn.csic.es
2 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca 37008 Salamanca
3 Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. fuensanta.gonzalez@mat.ucm.es
4 Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). C/Doctor Severo Ochoa, 7, 28040 Madrid. jose.arnoso@csic.es
5 Grupo de investigación 'Geodesia', Universidad Complutense de Madrid.

Palabras clave: Gravimetría, Geofísica, Derivadas horizontales, Anomalías de Bouguer, Islas Volcánicas

Resumen

Uno de los principales retos en el estudio de áreas volcánicas activas es determinar un modelo de estructuras corticales que ayude a establecer tanto su origen como la evolución que han tenido a través de las distintas fases de actividad volcánica ocurridas en la zona. El análisis de anomalías gravimétricas permite identificar la geometría de los bordes de estas estructuras, aun cuando su efecto esté enmascarado por otros. En muchos trabajos previos se ha demostrado que este tipo de información, complementada con otros estudios, es de gran utilidad para el conocimiento de la historia volcánica de una determinada zona. En este caso, se presenta un nuevo mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer de la isla de San Miguel (Azores) a partir de los datos de gravedad utilizados por Camacho *et al.* (1997), mejorando tanto el procesado de las observaciones como la corrección topográfica. El análisis de estos nuevos datos de anomalías se ha realizado calculando mapas de derivadas horizontales y gradiente de gravedad. Estos mapas se correlacionan con elementos tectónicos, mostrando estructuras asociadas a las principales calderas, pudiendo inferir sus diferentes orígenes. Los resultados ayudan a clarificar la distribución y posible geometría de estructuras someras ayudando a una mejor comprensión de la actividad volcánica de la isla.

El proyecto CGL2015-63799-P del Ministerio de Ciencia e Innovación ha financiado parcialmente esta investigación.

Abstract

One of the main challenges arising from the study of active volcanic areas is to determine a model of crustal structures that helps to establish both their origin and the evolution along the different phases of volcanic activity in the area. The analysis of gravity anomalies makes possible to identify the geometry of the edges of these structures, even when others mask their effect. All this information when complemented with other studies, has been proven useful to improve the knowledge of the volcanic history in the study area. We present here a new Bouguer anomaly map of San Miguel Island (Azores) which has been obtained from the gravity data presented in Camacho et al. (1997), improving the processing of the observations and the topographic correction. The analysis of this new map has been carried out through horizontal derivatives and the gradient. These maps are correlated with tectonic elements, showing structures close to the main volcanic calderas, being able to infer their different origins. The results help to clarify the distribution and geometry of shallow structures allowing a better understanding of the volcanic activity in the island.

This contribution has been possible thanks to the grant CGL2015-63799-P from the Spanish Ministry of Science and Innovation.

Referencias

Camacho, A.G., Montesinos, F.G., Vieira, R. (1997). *Journal of Geophysical Research* 102, 7717 – 7730.

El complejo riolítico de Grèixer: un ejemplo de caldera de colapso del Permico Inferior

The Grèixer rhyolitic complex (Catalan Pyrenees). An example of Lower Permian collapse caldera.

J. Martí[1], A. Geyer[1], G. Aguirre[2], C. Rodriguez[1], N. Bach[1], S. Schamuells[1] y D. Pedrazzi[1]

1 Geosciences Barcelona, GEO3BCN - CSIC, Barcelona. joan.marti@geo3bcn.csic.es; ageyer@geo3bcn.csic.es; c2r2dealmodovar@gmail.com; nbach@geo3bcn.csic.es; sschamuells@gmail.com; dpedrazzi@geo3bcn.csic.es
2 Instituto de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Querétaro, Querétaro CP 76230, México. ger@geociencias.unam.mx

Palabras clave: Pirineo Catalán, magmatismo calcoalcalino, Pérmico, caldera de colapso, volcanismo explosivo

Resumen

El Complejo Riolítico Greixer (GRC) es una de las manifestaciones más importantes del volcanismo permo-carbonífero del Pirineo Catalán. Este complejo volcánico implicó la formación de una caldera de colapso originada sobre un edificio volcánico central asociado a la actividad explosiva de magmas riolíticos. La formación del GRC fue asociada al emplazamiento de extensos depósitos piroclásticos y a potentes flujos riolíticos, estos últimos circunscritos al interior de la caldera. Los ignimbritas de Castellar de N'Hug representan los productos de la fase explosiva más importante asociada a este complejo volcánico y son los depósitos más extensos que se pueden reconocer en las capas rojas del Pérmico Inferior del Pirineo catalán.

Esta contribución es parte del proyecto SIMPRROP-CGL2017-84901-C2

Abstract

The Greixer Rhyolitic Complex (GRC) is one of the most important manifestations of the Permo-Carboniferous volcanism of the Catalan Pyrenees. This volcanic complex involved the formation of a volcanic caldera originated by collapse of a central vent after large-volume explosive activity of rhyolitic magmas. Widespread pyroclastic deposits and thick rhyolitic lava flows were erupted during the formation of the GRC. The Castellar de N'Hug ignimbrites represent the products of the most important explosive episode associated with this volcanic complex and are the most extensive deposits that can be recognised in the Lower Permian red beds of the Catalan Pyrenees.

This contribution is part of the Spanish grant SIMPROP-CGL2017-84901-C2

¿Volverá el volcán Teide a hacer erupción?

Will Teide erupt again?

J. Martí, A. Geyer y O. Dorado

Geosciences Barcelona, GEO3BCN - CSIC, LLuís Solé Sabarís s/n, 08028 Barcelona, España. joan.marti@geo3bcn.csic.es; ageyer@geo3bcn.csic.es; odorado@geo3bcn.csic.es

Palabras clave: Teide, Tenerife, sistema magmático, procesos pre-eruptivos, riesgo volcánico

Resumen

La cuantificación del peligro en los sistemas volcánicos caracterizados por un largo periodo de reposo es difícil debido a la falta de conocimiento de la historia volcánica pasada y también porqué en muchos casos el vulcanismo no se percibe como un problema potencial, ya que solo se lo considera una atracción para el turismo o una fuente de beneficio económico, ocultando así la necesidad de realizar una evaluación de riesgos. El Teide, en la isla de Tenerife (Islas Canarias), no es una excepción a esta regla general y, a pesar de ser uno de los volcanes compuestos más grandes del mundo, la población, los visitantes, e incluso algunos científicos lo consideran un volcán no activo. Sin embargo, la evidencia geológica y geofísica, incluida una gran diversidad de señales de monitoreo registradas durante las últimas décadas, así como una simple comparación con volcanes similares que han hecho erupción en los últimos tiempos después de cientos o incluso miles de años de inactividad, recomiendan considerar el Teide como un volcán activo y tomar las precauciones necesarias en una isla con casi un millón de habitantes permanentes y casi 5 millones de visitantes por año. ¿Cuál es el potencial para que el Teide vuelva a entrar en erupción? es la pregunta que debe responderse primero si asumimos el hecho de considerar al Teide como un volcán activo. Basado en el conocimiento vulcanológico, petrológico y geofísico actual, proponemos un modelo conceptual sobre los mecanismos de recarga de magma, la estructura del sistema magmático, los procesos pre-eruptivos y la dinámica del volcán Teide que ayuda a comprender su comportamiento y anticipar actividades futuras.

Esta contribución es parte del proyecto EVE (EC-DG ECHO Ref: 826292)

Abstract

The quantification of hazard in volcanic systems characterised by long repose period is difficult because the lack of knowledge of the past volcanic history. Also, in many cases, volcanism is not perceived as a potential problem, being only regarded as an attraction for tourism or a source of economic benefit, thus hiding the need to conduct hazard assessment. Teide, in the island of Tenerife (Canary Islands), is not an exception to this general rule and, despite being one of the largest composite volcanoes in the World, it is generally considered as a non-active volcano by population, visitors and even by some scientists. However, geological and geophysical evidence, including a large diversity of monitoring signals recorded during last decades, as well as a simple comparison with similar volcanoes that have erupted in recent times after hundreds or even thousands of years of quiescence, recommend to consider Teide as an active volcano. This implies taking into account the necessary precaution in an island with nearly one million of permanent inhabitants and nearly 5 millions of visitors per year. What is the potential for Teide to erupt again? is the question that relies behind the fact of considering it as active, and that needs to be answered first. Based on the current volcanological, petrological and geophysical knowledge we propose a conceptual model on the magma recharge mechanisms, structure of the plumbing system, and eruption triggers and dynamics of Teide volcano that helps to understand its behaviour and to anticipate future activity.

This contribution is part of the European Commission grant EVE (EC-DG ECHO Ref: 826292)

El magmatismo Permo-Carbonífero del Pirineo catalán. Una oportunidad única para observar conexión plutónica-volcánica

The Permo-Carboniferous magmatism of the Catalan Pyrenees. A unique opportunity the observe the plutonic-volcanic connection

J. Martí[1], C. Rodriguez[1], N. Bach[1], S. Schamuells[1], G. Sosa[2], J. Cires[3], E. Suara[4], D. Pedrazzi[1] y A. Geyer[1]

1 Geosciences Barcelona, GEO3BCN - CSIC, Barcelona. joan.marti@geo3bcn.csic.es; c2r2dealmodovar@gmail.com; nbach@geo3bcn.csic.es; sschamuells@gmail.com; dpedrazzi@geo3bcn.csic.es; ageyer@geo3bcn.csic.es
2 Instituto de Geofísica – Unidad Michoacán, UNAM-Campus Morelia, México. giovannis@igeofisica.unam.mx
3 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Geology, Barcelona. jordi.cires@icgc.cat
4 Department de Geologia, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona. eduard.saura@gmail.com

Palabras clave: Pirineo Catalán, magmatismo calcoalcalino, Permo-Carbonífero, plutonismo, volcanismo.

Resumen

La conexión plutónico-volcánica se ha postulado principalmente en base a enfoques petrológicos, geoquímicos, geocronológicos, y geofísicos, y modelos teóricos, todos ellos proporcionando evidencia indirecta, aunque de momento se han ofrecido muy pocos ejemplos de campo de dicha conexión. La razón es que la mayoría de los terrenos volcánicos bien expuestos son demasiado jóvenes para que la erosión o la tectónica hayan exhumado sus raíces plutónicas más profundas, mientras que los terrenos plutónicos son demasiado viejos para preservar los posibles equivalentes volcánicos. El volcanismo del Pérmico Superior-Carbonífero-Inferior del Pirineo catalán ofrece una excepción a esta regla general, y expone varias rocas plutónicas, subvolcánicas y volcánicas contemporáneas y cogenéticas, ofreciendo así un buen ejemplo de campo de la existencia de dicha conexión plutónico-volcánica. La reconstrucción estratigráfica y estructural basada de este complejo plutónico-subvolcánico-volcánico, así como las nuevas edades radiométricas U-Th en circones, demuestran que hubo una relación tiempo-espacio entre todos ellos, ofreciendo así uno de las pocas evidencias directas de la existencia de la conexión plutónico-volcánica.

Esta contribución es parte del proyecto SIMPRROP-CGL2017-84901-C2

Abstract

The volcanic-plutonic connection has been postulated mostly based on petrological, geochemical, geochronological, and geophysical approaches, and theoretical modelling, all them providing indirect evidence, but for now very few direct field examples of such connection have been offered. The reason is that most well-exposed volcanic terrains are so young for erosion or tectonics to have exhumed their deeper plutonic roots, while plutonic terrains are too old to preserve possible coeval volcanic equivalents. The Upper Carboniferous-Lower Permian volcanism of the Catalan Pyrenees offers an exception to this general rule, and exposes several co-genetic and coeval plutonic, subvolcanic and volcanic rocks that offer good field evidence of the existence of such volcanic-plutonic connection. The field-based stratigraphic and structural reconstruction of some of these plutonic-subvolcanic-volcanic complexes, as well as new zircon U-Th radiometric ages, demonstrate that there was a time-space relationship between all them, thus offering one of the scarce direct evidence of the existence of the volcanic-plutonic connection.

This contribution is part of the Spanish grant SIMPROP-CGL2017-84901-C2

Nuevas edades C14 y U/Th de la erupción de Montaña Doramas y los depósitos carbonáticos asociados (Gran Canaria, Islas Canarias). Relación causa-efecto

New C14 and U/Th ages of Montaña Doramas eruption and associated carbonate deposits (Gran Canaria, Canary Islands). Cause-effect relationship

F.J. Perez-Torrado[1], M.C. Cabrera[1], A. Marrero[2], C. Ravazzi[3] y A. Rodriguez-Gonzalez[1]

1 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. franciscojose.perez@ulpgc.es, mcarmen.cabrera@ulpgc.es, alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es
2 Jardín Botánico Canario Viera y Clavijo, Unidad Asociada al CSIC, 35017 Las Palmas de Gran Canaria. aguedomarrero@gmail.com
3 National Research Council of Italy, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano, Italia. cesare.ravazzi@idpa.cnr.it

Palabras clave: Erupción Montaña Doramas, depósitos carbonáticos, Holoceno, Gran Canaria.

Resumen

Los depósitos carbonáticos del Barranco de Azuaje se encuentran asociados cartográfica y estratigráficamente a los flujos de lava de la erupción de Montaña Doramas, lo que hace suponer que existe una relación causa-efecto entre ellos. Sin embargo, esta relación ha sido puesta en duda debido a la escasez de dataciones de ambos materiales y a la incongruencia de algunas dataciones publicadas en los depósitos carbonáticos con edades muy anteriores a la erupción (incluso pre-Holocenas).

En el presente trabajo se presentan 6 edades C14 sobre carbones asociados a los flujos de lava de la erupción de Montaña Doramas y 7 edades U-Th en distintos depósitos carbonáticos, tanto de tipo travertino colgado como de toba fluvial. El rango de variación de las edades C14 calibradas está entre 2937±28 y 2766±25 años BP. Por su lado, las 7 edades U-Th oscilan entre 3,0961±0,0076 y 2,4697±0,4342 ka. En consecuencia, se pone de manifiesto la clara contemporaneidad de ambos materiales y la escasa duración del aporte masivo de CO_2 de origen magmático al sistema acuífero que generó los depósitos carbonáticos una vez finalizada la erupción de Montaña Doramas (<500 años).

Esta investigación se ha financiado a través de dos convenios de colaboración con la Consejería de Medio Ambiente y Emergencias del Cabildo de Gran Canaria en los años 2018 y 2019.

Abstract

The carbonate deposits of the Azuaje Valley are cartographically and stratigraphically related to the lava flows of the Montaña Doramas eruption, which let us suppose that there is a cause-effect relationship between them. Nevertheless, this relationship has been questioned due to the lack of radiometric ages of both materials, as well as the incongruity of some of the previous ages in the carbonatic deposits, older than the eruption (even before the Holocene).

In this paper, 6 new C14 ages on charcoals associated with lava flows of the Montaña Doramas eruption, as well as 7 new U-Th ages in carbonate deposits, both hanging travertine perched type and fluvial tufa, are presented. The C14 calibrated ages range from 2937 ± 28 to 2766 ± 25 years BP. On the other hand, the 7 U-Th ages range from 3.0961 ± 0.0076 to 2.4697 ± 0.4342 ka. Consequently, these ages show the contemporaneity of both materials and the short duration of the magmatic CO_2 massive input to the aquifer system after the end of the Montaña Doramas eruption (<500 years).

This research has been funded through two collaboration agreements with the Consejería de Medio Ambiente y Emergencias of the Cabildo de Gran Canaria in 2018 and 2019.

Caracterización del registro eruptivo de Isla Decepción (Islas Shetland del Sur, Antártida) mediante caracterización de capas de cenizas en testigos oceánicos proximales

Constraining the eruptive record of Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica) via ash layer characterization in proximal marine cores

A. Polo Sánchez[1], J. Hopfenblatt[2], A. Geyer[1], M. Aulinas[2], G. Ercilla[3] y A. Álvarez-Valero[4]

1 Geociencias Barcelona (GEO3BCN-CSIC), Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028, Barcelona, España. polosanchezantonio@gmail.com; ageyer@ictja.csic.es
2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat of Barcelona, Marti Franques s/n, 08028, Barcelona, España. joaquinhopfenblatt@gmail.com; meritxellaulinas@ub.edu
3 Instituto de Ciencias del Mar, ICM-CSIC. Grupo de Márgenes Continentales. Paseo Marítimo de la Barceloneta, 37-49; 08003 Barcelona, España. gemma@atcim.csic.es
4 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. aav@usal.es

Palabras Clave: Ceniza Volcánica, Tefra, Testigo, Isla Decepción

Resumen

Isla Decepción (Islas Shetland del Sur), es uno de los volcanes más activos de la Antártida en el que se prevé una alta probabilidad de erupción en un futuro. En el presente trabajo, se ha llevado a cabo la caracterización físico-química de las capas de ceniza halladas en cinco testigos marinos obtenidos a lo largo del Estrecho de Bransfield a menos de 40 km de distancia de Decepción. El objetivo es poder trazar horizontes de la misma edad entre los testigos y asociarlos a sus erupciones respectivas. La mayoría de las capas son ceniza gruesa moderadamente clasificada. Cantidades menores de lapilli y ceniza fina se encuentran en las capas superficiales (0 a 50 cm de profundidad). La morfología indica que el efecto de retrabajamiento por corrientes de turbidez es subordinado, que las capas son correlacionables, y que las erupciones en las que se formaron eran de tipo freatomagmático. El testigo más largo (TG-48, 120 cm) contiene 15 capas de las cuales las más profundas (113, 115 y 120 cm de profundidad) se correlacionan con un periodo de abundante actividad volcánica en la isla que tuvo lugar hace 2000 años.

Esta investigación, parte de las iniciativas de POLARCSIC y PTIVolcan, está parcialmente financiada por las becas MINECO VOLCLIMA (CGL2015-72629-EXP) y POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI / FEDER-UE). Las muestras de cenizas analizadas fueron proporcionadas por el depósito de rocas del Instituto de Ciencias del Mar del CSIC (ICM-CSIC) (http://gma.icm.csic.es/ca/dades).

Abstract

Deception Island (South Shetland Islands) is one of the most active volcanoes in Antarctica where a future eruption is very likely to happen. In this work we have performed a physico-chemical characterization of the ash layers found on five marine sediment cores drilled along the Bransfield Strait less than 40 km distance from Deception Island. The final aim is to trace isochronous tephra horizons between the studied cores and try associating them to their respective eruptive events on the island. Results obtained indicate that most of the layers are moderate sorted coarse ash. Minor amounts of lapilli and fine ash appear in the shallower (0 to 50 cm depth) layers. The morphology indicates that the reworking effect by turbiditic currents has not affected the information necessary for correlation and that the eruptions that formed the layers were phreatomagmatic. The longest core (TG-48, 120 cm long) contains 15 layers, the deepest ones (113, 115 and 120 cm depth) may be associated with a period of abundant volcanic activity around 2000 years BP.

This research is part of POLARCSIC and PTIVolcan research initiatives. This research was partially funded by the MINECO grants VOLCLIMA (CGL2015-72629-EXP) and POSVOLDEC(CTM2016-79617-P) (AEI/FEDER-UE). Analyzed tephra samples were provided by the rock repository of the Instituto de Ciencias del Mar del CSIC (ICM-CSIC) (http://gma.icm.csic.es/ca/dades).

Petrología y geoquímica de las rocas volcánicas de la isla de El Hierro (Islas Canarias)

Petrology and geochemistry of the of the volcanic rocks of El Hierro (Canary Islands)

C. Prieto[1], M. Aulinas[1], A. Rodriguez-Gonzalez[2], J.L. Fernandez-Turiel[3], F.J. Perez-Torrado[2], I. Arienzo[4] y M. D'Antonio[5]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu; c.prieto.torrell@gmail.com

2 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es, franciscojose.perez@ulpgc.es

3 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@geo3bcn.csic.es

4 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Italy. ilenia.arienzo@ingv.it

5 Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Via Vicinale Cupa Cintia 21, 80126, Napoli, Italy. massimo.dantonio@unina.it

Palabras clave: Petrología, geoquímica, El Hierro, Islas Canarias

Resumen

La isla de El Hierro es la isla más joven y occidental de las Islas Canarias. Su aparente escasa variabilidad petrológica y geoquímica generó una menor "atracción" geológica para los científicos, ralentizando su estudio. Antes de la erupción submarina a finales de 2011 en el área de La Restinga, la investigación geológica en El Hierro fue intermitente, siendo el trabajo de Carracedo *et al.* (2001) el estudio más completo que sobre la geología de la isla y su inclusión en el contexto del Archipiélago Canario. El interés mediático y científico que suscitó la erupción de 2011, p. ej., con la controversia sobre el origen de los fragmentos rocosos flotantes de "restingolitas", pusieron de manifiesto la necesidad de una mejor comprensión sobre la evolución petrológica y geoquímica de la isla. En este trabajo presentamos una visión general de las características petrológicas y geoquímicas del vulcanismo en El Hierro dentro del contexto más amplio del magmatismo en las Islas Canarias.

Esta investigación se financia con el proyecto LAJIAL (PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, UE) y se realiza en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación GEOVOL (Gobierno de Canarias, ULPGC) y GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Abstract

The island of El Hierro is the youngest and western island of the Canary Islands. Its apparent scarce petrological and geochemical variability generated lower geological "attraction" for scientists, slowed down its study. Before the submarine eruption occurred at the end of 2011 in La Restinga area, the geological research at El Hierro was intermittent, being the work of Carracedo et al. (2001) the most complete study representing the greatest advance in the global understanding of the geology of the island and its inclusion in the context of the Canarian Archipelago. The scientific and media interest caused by the eruption of 2011, and the scientific controversy regarding the origin of the floating rock fragments of "restingolita", highlighted the need for a better understanding on the petrological and geochemical evolution of the island. In this work, we present a comprehensive overview of the petrological and geochemical characteristics of the volcanism in El Hierro within the broader context of magmatism of the Canary Islands.

Financial support was provided by the Project LAJIAL (PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, EU). This study was carried out in the framework of the Research Consolidated Groups GEOVOL (Canary Islands Government, ULPGC) and GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Referencias

Carracedo, J.C., E. Rodríguez Badiola, S., Guillou, H. J. de La Nuez y Pérez Torrado, F.J. (2001). *Estudios Geológicos*, 57, 171-295.

Modelado de flujos de lava: el volcán de Montaña Aguarijo (El Hierro, Islas Canarias)

Lava flow modelling: Montaña Aguarijo volcano (El Hierro, Canary Islands)

A. Rodriguez-Gonzalez[1], M. Aulinas[2], C. Prieto[2], F.J. Perez-Torrado[1], J.L. Fernandez-Turiel[3], C. Criado Hernández[4] y M.C. Cabrera[1]

1 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es, franciscojose.perez@ulpgc.es, mcarmen.cabrera@ulpgc.es

2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu, c.prieto.torrell@gmail.com

3 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@geo3bcn.csic.es

4 Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna, Padre Herrera s/n, 38200 San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife. ccriado@ull.edu.es

Palabras clave: SIG, morfometría volcánica, modelado, plataforma costera, El Hierro.

Resumen

A partir de un detallado trabajo geológico de campo y de datos actuales topográfico-batimétricos, se reconstruyen los Modelos Digitales del Terreno (MDT) anterior e inmediatamente posterior a la erupción del volcán de Montaña Aguarijo, obteniéndose los principales parámetros morfométricos asociados a la colada de lava (2.268 m de longitud; 5 m de espesor medio; 422.560 m^3). Esta información se ha utilizado para simular flujos de lava, trabajando con diferentes modelos de la aplicación *Q-LavHA* (Mossoux *et al.*, 2016): dos probabilísticos (Longitud máxima y Probabilidad decreciente) y uno determinístico (FLOWGO). Para calibrar y validar esta metodología se ha seleccionado esta erupción debido a que afecta una plataforma costera de la isla de El Hierro, un contexto geomorfológico común en muchas islas volcánicas oceánicas (Carracedo *et al.*, 2001).

Esta investigación se financia con el proyecto LAJIAL (ref. PGC2018-101027-B-I00, MCIU / AEI / FEDER, UE) y se realiza en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación GEOVOL (Gobierno de Canarias, ULPGC) y GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Abstract

A detailed geological field work and the current topographic-bathymetric data were used to reconstruct the pre- and post-Digital Terrain Model (DTM) of the Montaña Aguarijo volcano, obtaining the main morphometric parameters associated with its lava flow (2,268 m long; 5 m medium thickness; 422,560 m^3). This information was used to simulate lava flows, working with different models of the Q-LavHA application (Mossoux et al., 2016): two probabilistic (Maximum length and Decreasing probability) and one deterministic (FLOWGO). We used this eruption to calibrate and validate this methodology due to it affects a coastal platform of the island of El Hierro, a common geomorphological setting in many oceanic volcanic islands (Carracedo et al., 2001). *Financial support was provided by the Project LAJIAL (ref. PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, EU).*

This study was carried out in the framework of the Research Consolidated Groups GEOVOL (Canary Islands Government, ULPGC) and GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Referencias

Carracedo, J.C., Rodríguez Badiola, E., Guillou, H., de La Nuez, J. y Perez-Torrado, F.J. (2001). *Estudios Geológicos*, 57, 171-295.

Mossoux, S., Saey, M., Bartolini, S., Poppe, S., Canters F. y Kervyn, M. (2016). *Computers & Geosciences* 97, 98-109.

Características petrológicas y geoquímicas de los flujos lávicos de la erupción del volcán de Fogo de noviembre de 2014 en la isla de Fogo (Archipiélago de Cabo Verde)

Petrological and Geochemical features of lava flows erupted on November 2014 at Pico do Fogo in Fogo Island (Cape Verde Archipelago)

J.A. Rodriguez-Losada[1,2], P.A. Hernandez[1,3], S.S. Victoria[4], J. Cabral[5], V. Alfama[4], J.M. Pereira[4,6], G.V. Melian[1,3] y N.M. Perez[1,3]

1 Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN). 38240 San Cristobal de La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, España.
2 Departamento Biología Animal, Edafologia y Geología. San Cristobal de La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, España. jrlosada@ull.edu.es.
3 Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER). 38600 Granadilla de Abona, Tenerife, Islas Canarias, España. phdez@iter.es; gladys@iter.es; nperez@iter.es.
4 Faculdade de Ciencias e Tecnología (DCT), University of Cabo Verde (UniCV), Praia, Santiago Island, Cape Verde. sonia.silva@adm.unicv.edu.cv; vera.alfama@docente.unicv.edu.cv.
5 Servicio Nacional de Proteção Civil, Cape Verde, Praia, Santiago Island, Cape Verde. Jeremias.a.cabral@azores.gov.pt
6 Laboratorio de Engenharia Civil de Cabo Verde, Praia, Santiago Island, Cape Verde. Josem.pereira@lec.gov.cv.

Palabras clave: Fogo, Cabo Verde, petrología, erupción noviembre 2014

Resumen

Diferentes trabajos han abordado distintos aspectos de la erupción volcánica de noviembre de 2014 en el volcán de Fogo, en el Archipiélago de Cabo Verde (Hernandez *et al.* 2015; Silva *et al.* 2015; Pérez y Walter, 2016, entre otros). En este trabajo se aportan nuevas características petrológicas y geoquímicas de los flujos de lava procecentes del volcán de Fogo en la isla de Fogo (Archipiélago de Cabo Verde) durante la erupción que tuvo lugar del 23 de noviembre de 2014 al 8 de febrero de 2015. Las lavas presentan textura porfídica con abundante vidrio intersticial. Los datos geoquímicos de elementos mayores y traza nos permite afirmar que las lavas tienen una composición de tefrita-basanita, y sugerir que estas lavas proceden de la fusión parcial de bajo grado (inferior a 2%) de un manto no empobrecido.

Abstract

Several papers have focused in different aspects of the 2014 November eruption at Fogo Pic (Hernandez et al., 2015; Silva et al., 2015; Perez and Walter, 2016; among others). New petrological and geochemical features of the lava flows of the November 23, 2014 to February 8, 2015 eruption at Pico do Fogo Island (Cape Verde Archipelago) are provided in this work. The lavas exhibit porphyritic texture with abundant interstitial glass. The geochemical data on major and trace elements allow us to assert that the lava flows have a tephryte-basanite composition and to suggest that a low melting degree (less than 2% of partial melting) of a not depleted mantle is the dominant source of such lava flows.

Referencias

Hernández, P.A.; Melián, G.; Dionis, S.M.; Barrancos, J.; Padilla, G.; Padrón, E.; Silva, S.; Fernandes, P.; Cardoso, N.; Pérez, N.M.; Rodríguez, F.; Asensio-Ramos, M.; Calvo, D.; Semedo, H. y Alfama, V. (2015). *EGU General Assembly* 2015.

Silva, S.; Cardoso, N.; Alfama, V.; Cabral, J.; Semedo, H.; Pérez, N.M.; Dionis, S.; Hernández, P.A.; Barrancos, J.; Melián, G.V.; Pereira, J.M. y Rodríguez, F. (2015). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU 2015-13378.

Pérez, N.M. y Walter, T.R. (2016). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(8), 1925.

Actividad magmática explosiva en el Campo Volcánico de Calatrava.

Explosive magmatic activity in the Calatrava Volcanic Field.

F. Sarrionandia[1], J. Errandonea-Martin[2], M. Carracedo-Sánchez[2] y J.I. Gil Ibarguchi[2]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco (EHU/UPV). fernando.sarrionandia@ehu.eus
2 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (EHU/UPV). jon.errandonea@ehu.eus; manuel.carracedo@ehu.eus; josei.gil@ehu.eus

Palabras clave: Estromboliano, Hawaiano, Calatrava.

Resumen

El Campo Volcánico de Calatrava (Ciudad Real, España) comprende en torno a un centenar de conos volcánicos formados por rocas básicas y ultrabásicas alcalinas. Los depósitos piroclásticos proximales de dichos conos sugieren que fueron construidos mediante erupciones explosivas de estilo estromboliano y/o estromboliano violento, y/o hawaiano, o bien como resultado de erupciones con dinámicas transicionales entre las de estos tres estilos explosivos, características de los volcanes activos que emiten magmas básicos (*e.g.*, Valentine and Greeg, 2008). Las erupciones estrombolianas están representadas por tefras de bombas, localmente aglomerados, asociadas con tefras de bloques y lapilli angulares resultantes de la fragmentación de las propias bombas. Las erupciones estrombolianas violentas están representadas por tefras de lapilli escoriáceo, con formas angulares y/o fluidales, que incluyen algunas bombas. Intercaladas en estas tefras hay algunos niveles cineríticos discontinuos. Las fases hawaianas están representadas sobre todo por depósitos de spatter, soldados por aglutinación y/o coalescencia, que se transforman a veces en masas de aspecto coherente o lávico cuando la soldadura se desarrolla esencialmente por coalescencia. De forma excepcional se encuentran también coladas de lava clastogénica y tefras achnelíticas (*e.g.*, lágrimas y cabellos de Pele) típicas también de las erupciones hawaianas. En varios conos volcánicos existen tefras formadas por clastos esferoidales con estructura interna concéntrica, de granulometría variable entre ceniza y bomba, generados en explosiones cuya dinámica es especulativa ya que no se conocen erupciones de volcanes activos en los que se haya emitido este tipo de tefras.

Abstract

The Calatrava Volcanic Field (Ciudad Real, Spain) encloses near one hundred volcanic cones composed of basic and ultrabasic alkaline rocks. The proximal pyroclastic deposits suggest that the cones formed through Strombolian, violent Strombolian, and / or Hawaiian eruptions, or involving transitional dynamics between these explosive styles, characteristic all of them of active volcanoes that emit basic and ultrabasic magmas (e.g., Valentine and Greeg, 2008). Strombolian eruptions are represented by bomb tephras, locally agglomerates, associated with block and angular lapilli tephras generated by bombs fragmentation. Violent Strombolian eruptions are represented by angular- and / or fluid-shaped scoriaceous lapilli tephras, which include sparse bombs. Some discontinuous tuffs appear interbedded within these tephras. Hawaiian episodes are mainly represented by spatter deposits welded by agglutination and / or coalescence, which, in the latter case, may appear transformed into lava masses with apparently coherent aspect. Exceptionally, clastogenic lava flows and achnelithic tephras (e.g., Pele's tears and hairs), as typical of Hawaiian-type eruptions, have been also identified. Several edifices include particular tephras constituted by spherical pyroclasts with concentric inner structure and variable clast-sizes (from ash to bomb sizes), generated in the context of explosive eruptions whose dynamics remains speculative since active volcanoes that emitted this type of tephras are unknown.

Referencias

Valentine, G.A. y Greeg, T.K.P. (2008). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, 857-873.

Características de los depósitos estrombolianos basales del volcán Cabeza Parda (Campo Volcánico de Calatrava).

Strombolian basal deposits of Cabeza Parda Volcano (Calatrava Volcanic Field).

F. Sarrionandia[1], J. Errandonea-Martin[2], M. Carracedo-Sánchez[2] y J.I. Gil Ibarguchi[2]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco (EHU/UPV). fernando.sarrionandia@ehu.eus
2 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (EHU/UPV). jon.errandonea@ehu.eus; manuel.carracedo@ehu.eus; josei.gil@ehu.eus

Palabras clave: volcanismo, estromboliano, Cabeza Parda, Calatrava.

Resumen

En una cantera abierta en el flanco sur del volcán Cabeza Parda (Campo Volcánico de Calatrava, Ciudad Real, España; UTM: X=413550, Y=4303850), justo por encima de las calizas de edad Plioceno inferior que forman el sustrato volcánico, aflora un conjunto de unos 10 m de potencia de depósitos piroclásticos. Destaca la presencia de numerosas bombas (≤ 3 m de diámetro/longitud) entremezcladas con fragmentos de bombas (tefra de bloque y lapilli grueso, angular o parcialmente redondeado), resultado típico de las erupciones estrombolianas (*e.g.*, Valentine y Greeg, 2008). Pero, además, intercalados en estos depósitos estrombolianos afloran masas lenticulares o irregulares, discontinuas y de pequeño tamaño (longitud < 7 m, potencia < 2 m) formadas por tefras de lapilli escoriáceo, angular a fluidal. Este tipo de tefras (forma y tamaño de los clastos, vesicularidad, ausencia de soldadura) son el resultado típico de las erupciones estrombolianas violentas (*e.g.*, Valentine y Greeg, 2008). Así, los depósitos basales del volcán Cabeza Parda sugieren que la actividad estromboliana, caracterizada por pulsos explosivos de baja intensidad y temporalmente discretos que emiten masas de lava relativamente pequeñas, puede alternar con pulsos explosivos, esto es, estrombolianos violentos, temporalmente discretos, pero de mayor intensidad que también emiten masas de lava relativamente pequeñas.

Abstract

In a quarry open in the South hillside of Cabeza Parda volcano (Calatrava Volcanic Field, Ciudad Real, Spain; UTM: X = 413550, Y = 4303850), just overlying the lower Pliocene limestones that conform the volcanic basement, crops out a section near 10 m thick of pyroclastic deposits. Most of if is constituted by abundant bombs (≤ 3 m in diameter / length) and bomb-fragments (coarse lapilli to block in size, angular or partially rounded clasts) characteristic of Strombolian-type deposits (e.g., Valentine and Greeg, 2008). Additionally, interbedded into this tephra appear lenticular or irregular-shaped discontinuous beds (length < 7 m, thickness < 2 m) constituted by angular to fluidal-shaped scoriaceous lapilli. This latter type of tephra (shape and size of clasts, vesicularity, unwelded) is characteristic of violent Strombolian eruptions (e.g., Valentine and Greeg, 2008). The basal deposits of the Cabeza Parda volcano indicate therefore that Strombolian activity, characterized by low intensity bursts and temporally discrete episodes, with emission of relatively small lava volumes, could alternate with discrete but more intense bursts, that is, violent Strombolian, with emission also of relatively small lava volumes.

Referencias

Valentine, G.A. y Greeg, T.K.P. (2008). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, 857-873.

Análisis de las características morfoestructurales del volcán de Enmedio (Islas Canarias)

Morphostructural analysis of the Enmedio volcano (Canary Islands)

J.T. Vázquez[1], D. Palomino[1], O. Sánchez-Guillamón[1], N. Martínez-Carreño[1], L.M. Fernández Salas[2], M. Gómez Ballesteros[3], P. Lozano[1], S. Meletlidis[4], C. Presas-Navarro[5], O. Tello[3] y E. Fraile-Nuez[5]

1 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola. juantomas.vazquez@ieo.es; desiree.palomino@ieo.es; olga.sanchez@ieo.es; natalia.martinez@ieo.es; pablo.lozano@ieo.es
2 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, Puerto Pesquero, Muelle de Levante s/n, 11006 Cádiz. luismi.fernandez@ieo.es
3 Instituto Español de Oceanografía, Servicios Centrales, C/ Corazón de María 8, 28002 Madrid. maria.gomez@ieo.es; olvido.tello@ieo.es
4 Instituto Geográfico Nacional, Centro Geofísico de Canarias, C/ la Marina 20, 38001 Santa Cruz de Tenerife. smeletlidis@fomento.es
5 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Canarias, C/ Farola del Mar nº 22Dársena Pesquera, 38180 Santa Cruz de Tenerife. carmen.presas@ieo.es; eugenio.fraile@ieo.es

Palabras clave: Volcán submarino, geomorfología, falla, deslizamiento, Islas Canarias

Resumen

Se ha caracterizado la morfología y estructura superficial del volcán de Enmedio con batimetría multihaz, perfiles de sonda paramétrica y dragas de roca obtenidas en las campañas VULCANA 0515, 1015 y 0319 con el objetivo de evaluar su actividad hidrotermal y/o volcánica. Este volcán está situado entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, tiene la cima a 1625 m de profundidad y forma cónica. Se eleva 560-730 m, su base es pseudo-circular (3,25-3,5 km de diámetro) y su profundidad aumenta hacia el NE (2140-2350 m). El edifico está atravesado por una zona de falla de dirección NNO-SSE que hunde el bloque NE y, se caracteriza por un corredor deprimido de 0,35-0,45 km de anchura entre dos crestas paralelas, por el desarrollo de cicatrices en ambos flancos del corredor y áreas de acumulación al pie del volcán, mayor en el tramo SSE. El flanco SO del volcán tiene una depresión arqueada (1,6 km de longitud) a profundidades de 1870-1900 y 15 m de desnivel. En el entorno de este edificio se localizan 10 conos volcánicos menores con diámetros de 0,18-1,25 km y elevaciones de 18-325 m. En dos dragas de roca se obtuvieron bloques de basalto negro, pequeñas bombas y esqueletos de corales a 1680 m de profundidad en el flanco SO, y rocas volcánicas de tonalidades rojas y amarillas alteradas por posible actividad hidrotermal entorno a 1770 m de profundidad en la cicatriz gravitacional del tramo SSE de la zona de falla, que podrían indicar, en este caso, cierta actividad a lo largo de esta estructura.

Abstract

The morphology and shallow structure of the Enmedio volcano are characterized using multibeam bathymetry, parametric profiles and rock dredges obtained in the VULCANA 0515, 1015 and 0319 cruises with the aims to evaluate its hydrothermal or volcanic activity. This volcano is located between the islands of Gran Canaria and Tenerife. It has the top at 1625 m water depth (mwd) and conical shape. It rises 560-730 m, and its base is pseudo-circular (3.25-3.5 km in diameter), increasing in depth towards the NE (2140-2350 mwd). The edifice is crossed by an NNW-SSE fault zone that collapses the NE block and is characterized by a depressed corridor (0.35-0.45 km wide) between two parallel ridges, scars development on both flanks of the corridor and by accumulation zones at the volcano foot, especially in the SSE segment. The SW volcano flank has an arched depression (1.6 km long) at depths between 1870-1900 mwd and 15 m deep. Ten minor volcanic cones (0.18-1.25 km diameter; 18-325 m high) have been located around the main edifice. Two rock dredges obtained large black basalt blocks, small bombs and coral skeletons at 1680 mwd on the SW flank and hydrothermal altered volcanic red and yellow rocks around 1770 mwd in the SSE gravitational, which could indicate certain activity of this fault zone.

Descifrando los procesos magmáticos desencadenantes de la formación de la caldera en Isla Decepción (Antártida)

Unravelling the magmatic processes preceding and triggering Deception Island's caldera - forming eruption (Antarctica)

O. Vilanova[1], A. Polo[2], M. Aulinas[1], A. Geyer[2], J. Martí[2], A. Álvarez-Valero[3], H. Albert[1] y G. Gisbert[4]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Martí Franques s/n, 08028 Barcelona, España. o_vilanova@ub.edu; meritxellaulina@ub.edu; halbert@ub.edu.
2 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. polosanchezantonio@gmail.com; ageyertraver@gmail.com; joanmartimolist@gmail.com.
3 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. aav@usal.es.
4 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, Severo Ochoa 7, 28040 Madrid, España. ggisbertp@hotmail.com

Palabras clave: Isla Decepción, caldera de colapso, geoquímica.

Resumen

Isla Decepción (Islas Shetland del Sur) es uno de los volcanes más activos de la Antártida, con más de 20 erupciones en los últimos 200 años (las más recientes en 1967, 1969 y 1970) y tres episodios de *unrest* documentados (1992, 1999 y 2014-15). La isla está formada por un sistema volcánico compuesto con una caldera central de 8,5 x 10 km datada en unos 3.980 ± 125 años. Durante la formación de la caldera de colapso, se emitieron entre 30 y 60 km^3 (Dense Rock Equivalent-DRE) de magma basáltico-andesítico en forma de flujos piroclásticos, que dieron lugar a la Outer Coast Tuff Formation (OCTF), la principal unidad sin-caldera. Caracterizar las condiciones magmáticas y los procesos que desencadenaron el evento explosivo es crucial para entender el pasado (y futuro) de la evolución magmática de la isla. El objetivo de este trabajo es establecer, a partir de la petrología y la geoquímica, las condiciones y los procesos magmáticos que tuvieron lugar antes y durante la formación de la caldera de colapso. Los resultados preliminares confirman la existencia de dos magmas coexistiendo e interactuando antes (y durante) la erupción caldérica y procesos de cristalización fraccionada. Esta investigación es parte de las iniciativas de investigación POLARCSIC y PTIVolcan. Fue parcialmente financiada por las subvenciones MINECO POSVOLDEC (CTM2016-79617-P) (AEI / FEDER-UE) y VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00) (AEI / FEDER, UE). También cuenta con el apoyo de la beca PREDOCS-UB.

Abstract

Deception Island (South Shetland Islands) is one of the most active volcanoes in Antarctica with more than 20 eruptions (including the historic eruptions of 1967, 1969 and 1970) and three documented volcanic unrest events (1992, 1999 and 2014-15) over the past two centuries. Today, The island consists of a composite volcano with an 8.5 x 10 km centrally located caldera dated as 3,980 ± 125 yr. BP. During the caldera-forming event, between 30 and 60 km^3 (Dense Rock Equivalent-DRE) of magma erupted in the form of dense basaltic-andesitic pyroclastic density current deposits, that formed the Outer Coast Tuff Formation (OCTF), the main syn-depositional unit. Characterizing the magmatic conditions and processes that triggered the huge explosive event is crucial to understand the past (and future) magmatic and volcanic evolution of the island. The objective of the present study is to perform an exhaustive petrological and geochemical study (mineral and juvenile glass geochemistry) of the OCTF. Our primary results confirm the existence of two different magmas coexisting, and interacting, prior to (and during) the caldera-forming event and fractional crystallization processes. This research is part of POLARCSIC and PTIVolcan research initiatives. *This research was partially funded by the MINECO grants POSVOLDE-C(CTM2016-79617-P)(AEI/FEDER-UE) and VOLGASDEC (PGC2018-095693-B-I00)(AEI/FEDER, UE). This research is also supported by the PREDOCS-UB grant.*

Composición mineralógica de unidades sedimentarias cenozoicas mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio (VNIR–SWIR) en el sector noroccidental de la Cuenca del Duero (León, España).

Mineralogical composition of Cenozoic sedimentary units through laboratory reflectance spectroscopy (VNIR–SWIR) in the Northwestern Duero Basin (León, Spain)

A. Báscones[1], E. García-Meléndez[1], M. Suárez[2], M. Ferrer-Julià[1], E. Colmenero-Hidalgo[1] y A. Quirós[3]

1 Departamento de Geografía y Geología, Facultad de Biológicas y Ambientales, Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León. abasl@unileon.es
2 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Plaza de la Merced s/n, 37008, Salamanca.
3 Departamento de Matemáticas. Escuela de Ingeniería Industrial, Informática y Aeronáutica. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León.

Resumen: Las técnicas de espectroscopía de reflectancia de laboratorio han sido utilizadas para medir la composición mineralógica de muestras recogidas en la superficie de sedimentos neógenos y cuaternarios del sector noroccidental de la Cuenca del Duero. Las vibraciones de los enlaces que conforman la estructura cristalina de algunos minerales producen rasgos de absorción en posiciones concretas en el espectro de radiación electromagnética del SWIR (1200–2500 nm). Mediante la aplicación del método de la segunda derivada se han establecido correlaciones entre los resultados mineralógicos, obtenidos por XRD, y las características de los rasgos de absorción producidos por los minerales que forman parte de los sedimentos estudiados. De los minerales de arcilla presentes en los sedimentos analizados, la caolinita es la que exhibe una mejor correlación con los datos espectrales. A través de la medida de parámetros geométricos basada en los rasgos espectrales como son el centro de banda e intensidad del rasgo de absorción se ha establecido una diferenciación de los principales tipos de óxidos de Fe (hematites/goethita) que se desarrollan en los suelos analizados. Estos rasgos de absorción son producidos en zonas concretas del VNIR (400–1200 nm) por transiciones electrónicas y procesos de transferencia de carga del Fe.

Palabras clave: Minerales de arcilla, óxidos de hierro, Cuenca del Duero, espectroscopía VNIR–SWIR, segunda derivada.

Abstract: *Laboratory reflectance spectroscopy techniques were used to measure the mineralogical composition of the samples collected on the surface of Neogene and Quaternary sediments from the Northwestern sector of the Duero Basin. The vibrations of the bonds that form the crystalline structure of some minerals produce absorption features in specific positions on the electromagnetic radiation spectrum in the SWIR (1200–2500 nm). By applying the method of the second derivative, we established correlations between the mineralogical results obtained by XRD and the characteristics of the absorption features produced by the minerals that are part of the studied sediments. Among the clay minerals that are present in the analyzed sediments, kaolinite shows the best correlation to the spectral data. Through the measurement of geometrical parameters based on spectral features such as the band center and the intensity of the absorption band, we established a distinction of the main types of Fe-oxides (hematite/goethite) that are developed on the analyzed soils. These absorption features are produced in specific zones of the VNIR (400–1200 nm) by electronic transitions and charge transfer processes of Fe.*

Keywords: *Clay minerals, Fe oxides, Duero Basin, VNIR–SWIR spectroscopy, second derivative.*

INTRODUCCIÓN

Los datos de reflectancia obtenidos mediante espectrorradiómetros de campo proporcionan un avance en el estudio de la composición mineralógica de suelos y sedimentos. La espectroscopía en el visible e infrarrojo cercano (VNIR, 400–1200 nm) e infrarrojo de onda corta (SWIR, 1200–2500 nm) es un método rápido, no destructivo, reproducible y más eficiente cuando se manejan un número elevado de datos (Viscarra *et al.*, 2006). Esta técnica es complementaria a otros análisis de laboratorio convencionales (por ejemplo, difracción de rayos X y análisis geoquímicos) que son utilizados tradicionalmente para determinar la composición de minerales de arcilla. De esta manera, el desarrollo de sensores más sensibles está permitiendo estimar la composición mineral, incluido el contenido de arcillas y otras propiedades del suelo (Ben-Dor y Banin, 1995; Brown *et al.*, 2006).

Los minerales de arcilla presentes en los suelos tienen "huellas" espectrales en regiones específicas del SWIR debido a los rasgos de absorción, relacionados con los procesos de vibración de grupos OH- unidos a Al, Mg, y Fe (García-Meléndez *et al.*, 2004; Petit *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo es identificar las mezclas de minerales en los espectros de reflectancia en áreas del VNIR–SWIR a partir de la morfología e intensidad de los rasgos de absorción y de la comparación con los resultados de composición mineralógica.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona noroccidental de la cuenca cenozoica del Duero está enmarcada por los relieves de la Cordillera Cantábrica de orientación E-W en su sector norte y por los relieves más orientales de los Montes Galaico Leoneses en su sector occidental. Las rocas que forman estos relieves en la zona de estudio incluyen una variedad litológica de edad cámbrica y paleozoica con distintos grados de metamorfismo de rocas siliciclásticas y rocas carbonatadas, todas ellas deformadas durante la Orogenia Varisca (Pérez-Estaún y Bea, 2004). Discordantes sobre el basamento del Macizo Ibérico se encuentran los sedimentos cenozoicos formados por facies aluviales de los aportes procedentes de los relieves descritos anteriormente, que en la zona de estudio corresponden a una secuencia estratigráfica neógena (Alonso-Gavilán *et al.*, 2004) y a terrazas cuaternarias. Las litologías están formadas por gravas con distintos grados de cementación, arenas, limos y arcillas (Fig. 1).

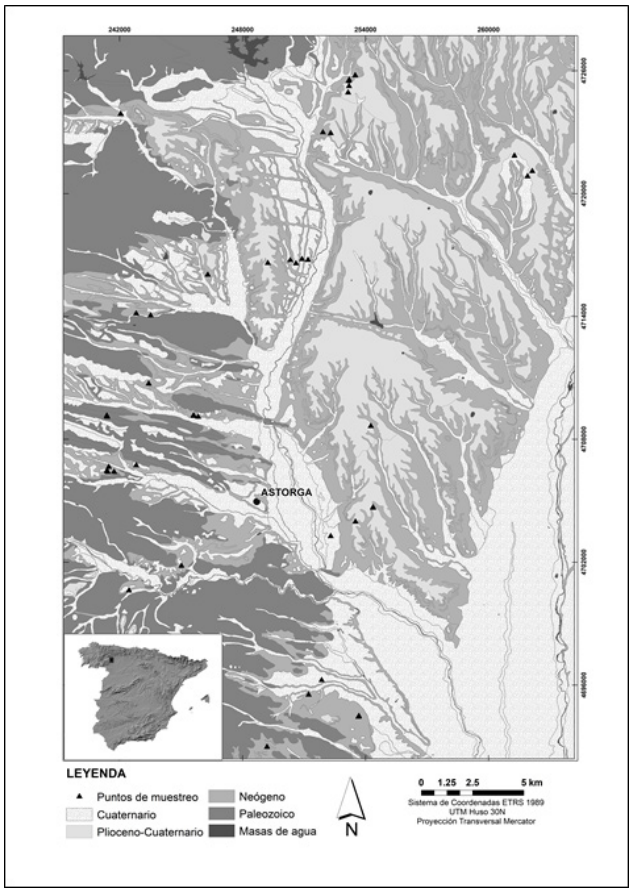


FIGURA 1. Marco geológico y localización de las muestras (modificado del Mapa Geológico de España 1:50000, IGME).

METODOLOGÍA

A continuación, se describe el método llevado a cabo para el estudio y análisis de las 42 muestras tomadas sobre la superficie de los sedimentos neógenos y cuaternarios.

Para determinar la mineralogía total y de la fracción arcilla, se llevaron a cabo análisis de difracción de rayos X (XRD). La mineralogía se estudió mediante la metodología habitual en los estudios de arcillas (roca total, agregado orientado en la fracción menor de 2 μm, en ambiente normal, solvatado con etilenglicol y calentado durante 2 horas a 550 °C). La semi-cuantificación de las diferentes fases minerales fue realizada en los difractogramas a través del método de los poderes reflectantes (Martín Pozas, 1975).

Las curvas espectrales de las mezclas minerales se obtuvieron con un espectrorradiómetro FieldSpec 4 Standard (ASDinc) en el rango de 350–2500 nm, con una resolución de 3 nm entre 350–1000 nm y de 10 nm entre 1000–2500 nm, Se empleó una sonda de contacto con su propia fuente de luz, sobre la fracción menor de 4 mm.

En este estudio se ha aplicado el análisis de derivadas de segundo orden sobre las curvas de reflectancia. Su cálculo se basa en utilizar diferencias finitas entre dos puntos adyacentes mediante la ecuación 1:

$$\left.\frac{dR}{d\lambda}\right|_i = \frac{R(\lambda_i) - R(\lambda_j)}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

donde $R(\lambda)$ es la medida de la reflectancia en función a su longitud de onda y $\Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_i$, siendo $\lambda_j > \lambda_i$.

De esta manera se remarcan los cambios en el comportamiento espectral, incluso los más pequeños relacionados con la composición química. Simultáneamente, se identifican fácilmente las principales bandas de absorción. Como resultado, el solapamiento de las bandas se ve eliminado, permitiendo la cuantificación de los rasgos de absorción (Demetriades-Shah *et al.*, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bandas de absorción observadas en los espectros originales guardan relación con la composición mayoritaria de los diferentes tipos de arcillas presentes en las muestras. Se han obtenido diferentes grupos en relación con la morfología de la curva y la intensidad de los rasgos de absorción (Fig. 2). El espectro de las muestras con alto contenido en caolinita es el que muestra mayores diferencias debido a su característico doble pico de absorción en el entorno de 1400 nm, atribuido al primer sobretono del estiramiento del enlace O–H, y el segundo doblete entre 2165 y 2200 nm, debido a la combinación de la flexión del enlace Al–OH y el estiramiento de O–H. Los diferentes rasgos de absorción entre 2200–2330 nm se corresponden con los modos de combinación entre Metal–OH (Metal = Al, Fe, Mg) y son diagnósticos para la identificación de minerales de arcilla (Clark *et al.*, 1990). La absorción debida a la combinación de la flexión de la molécula de agua H–O–H más el estira-

miento de O–H sucede alrededor de 1900 nm (Fig. 2a). Se aprecia también la influencia de materia orgánica (Fig. 2d) en la respuesta espectral de alguna de las muestras analizadas, que se traduce en una bajada de la reflectancia global y en un aplanamiento de la morfología de la curva.

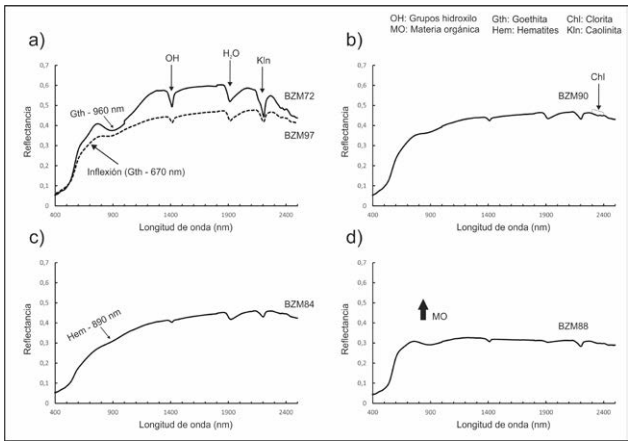


FIGURA 2. Espectros representativos de diferentes grupos de muestras.

Mediante la aplicación de la segunda derivada a las curvas espectrales originales se incrementan las diferencias de intensidad en los rasgos de absorción, que dependerán de la composición mineralógica, por ejemplo la presencia de caolinita (Fig. 3).

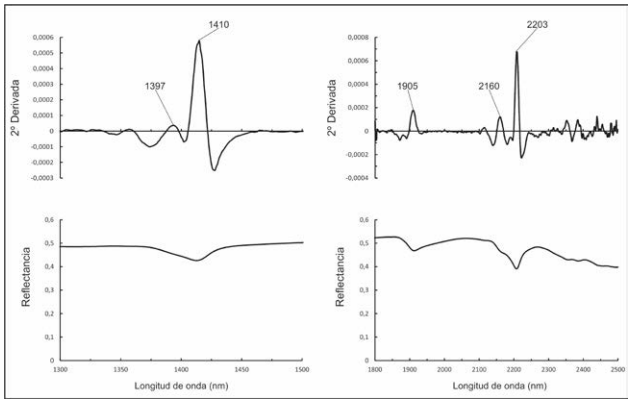


FIGURA 3. Espectros de reflectancia SWIR de la muestra BZM70 (paneles inferiores) y su transformación en la segunda derivada, con indicación de los principales rasgos de la caolinita.

Los coeficientes de correlación entre la concentración de caolinita y la intensidad de los picos en la segunda derivada están descritos en la Tabla 1. De todos ellos, los que presentan una mayor correlación son las correspondientes a los rasgos en 1397 nm y 1410 nm, y, algo menor, en 2160 nm y 2203 nm, lo que permite asumir que la caracterización en detalle de estos rasgos puede facilitar la cuantificación de la caolinita mediante la correspondiente recta de regresión (Báscones *et al.*, 2020).

	%Kln	I_{489}	I_{1397}	I_{1410}	I_{2160}	I_{2203}
%Kln	1					
I_{489}	0,620*	1				
I_{1397}	0,683*	0,422	1			
I_{1410}	0,693*	0,542*	0,532*	1		
I_{2160}	0,603*	0,391	0,616*	0,839*	1	
I_{2203}	0,609*	0,461	0,501*	0,964*	0,853*	1

TABLA 1. Correlación entre la concentración de caolinita (Kln) calculada a partir de DRX y la intensidad de los picos en la segunda derivada a diferentes longitudes de onda. (* la correlación es significativa al nivel bilateral 0,01).

La presencia de óxidos de Fe (goethita y hematites) se aprecia en las absorciones en torno a 480 y 900 nm de los espectros originales (Fig. 4), producidas por transiciones electrónicas del ion Fe^{3+} y procesos de transferencia de carga (Sherman y Waite, 1985; Scheinost *et al.*, 1998). El cambio del centro de banda de posiciones entre 890 nm (hematites) hasta 960 nm (goethita) está relacionado con concentraciones variables de estos minerales, sin descartar la influencia de la presencia de Fe en minerales como la clorita y la vermiculita, minoritarios en las muestras estudiadas. La estimación del contenido en óxidos de Fe se realiza mediante la relación entre la intensidad del rasgo de absorción a 480 nm, medida tras aplicar el Continuum Removal, y el desplazamiento del centro de la banda de absorción en torno a 890–910 nm (hematites) hacia posiciones entre 930–960 nm (Fig. 5), que corresponden a la goethita.

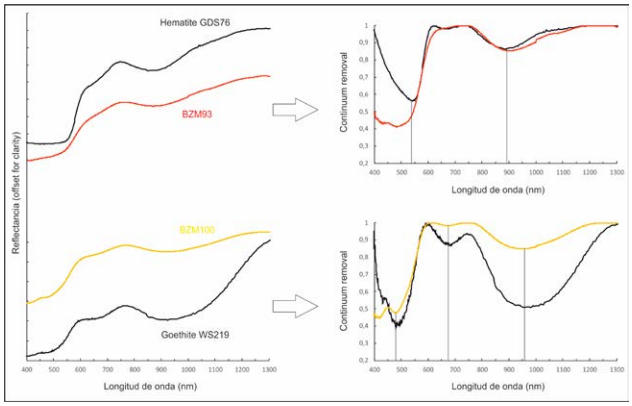


FIGURA 4 Parámetros de medida de la presencia de goethita en la muestra BZM100 (480, 670 y 960 nm) y hematites en la muestra BZM93 (alrededor de 890 nm). Esta muestra presenta también la inflexión típica de hematites a 530 nm. Los espectros-patrón de la goethita (WS219) y hematites (GDS76) extraídos de la librería espectral USGS (Kokaly *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

La intensidad de las bandas de absorción en regiones específicas del VNIR–SWIR está relacionada con la concentración mineralógica de minerales de arcilla y de óxidos de hierro presentes en las muestras analizadas.

Se ha podido establecer una identificación parcial de los diferentes tipos de óxidos de hierro (hematites y goethita)

mediante una correlación entre la intensidad del rasgo de absorción alrededor de 480 nm y la posición del centro de banda entre 890–960 nm.

La aplicación del método de la segunda derivada ha demostrado la relación entre la concentración de la caolinita obtenida por XRD y los rasgos de absorción exhibidos en las curvas espectrales, resolviendo pequeñas inflexiones desarrolladas en los espectros. Este estudio abre un camino para la caracterización de la zona de estudio mediante técnicas de teledetección.

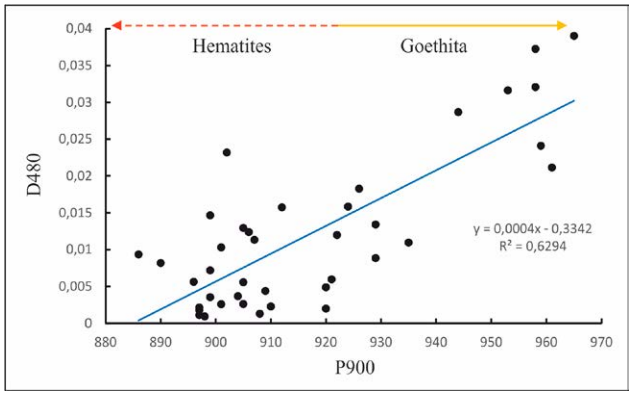


FIGURA 5. Medidas de correlación entre la posición del centro de banda alrededor de 900 nm (P900) y la profundidad del rasgo de absorción alrededor de 480 nm (D480).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos CGL2016-77005-R y ESP2017-89045-R del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y el Proyecto LE169G18 de la Junta de Castilla y León.

REFERENCIAS

Alonso-Gavilán, G., Armenteros, I. (coord.), Carballeira, J., Corrochano, A., Huerta, P. y Rodríguez, J.M. (2004): Cuenca del Duero. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 550-556.

Báscones, A., Suárez, M., Ferrer-Julià, M., García-Meléndez, E., Colmenero-Hidalgo, E. y Quirós, A. (2020): Caracterización de minerales de arcilla y óxidos de hierro mediante espectroscopía de reflectancia difusa (VNIR–SWIR). *Revista de Teledetección*, 55, 49-57.

Ben-Dor, E. y Banin, A. (1995): Near-Infrared Analysis as a Rapid Method to Simultaneously Evaluate Several Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59(2), 364-372.

Bishop, J.L., Lane, M.D., Dyar, M.D. y Brown, A.J. (2008): Reflectance and emission spectroscopy study of four groups of phyllosilicates: smectites, kaolinite-serpentines, chlorites and micas. *Clay Minerals,* 43, 35-54.

Brown, D.J., Sheperd, K.D., Walsh, M.G., Dewayne Mays, M. y Reinsch, T.G. (2006): Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132, 273-290.

Clark, R.N. (1999): Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. En: *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing* (A. N. Rencz ed.). John Wiley & Sons Inc., 3-58.

Demetriades-Shah, T.H., Steven, M.D. y Clark, J.A. (1990): High Resolution Derivative Spectra in Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 33, 55-64.

García-Meléndez, E., Ferrer-Julià, M., Bermejo, A. y Suárez, M. (2004): Relación entre la respuesta espectral (visible-infrarrojo cercano) y la composición mineralógica de materiales sedimentarios del borde occidental de la Cuenca del Duero. *Rev. Soc. Geol. España*, 17(1-2): 39-47.

González Menéndez, L., Heredia, N. y Marcos, A. (2008): Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50000, Zona Asturoccidental-Leonesa (Zona-1100). Mapa Geológico Digital continuo de España, Cartografía del IGME.

Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M, Lowers, H.A., Driscoll, R.L. y Klein, A.J. (2017): USGS Spectral Library Version 7. U.S. Geological Survey Data Series 1035. https://doi.org/10.3133/ds1035.

Martín Pozas, J.M. (1975): *Análisis cuantitativo de fases cristalinas por DRX. Difracción de muestras policristalinas. Método de Debye-Scherrer*, J.A. Saja, ed., I.C.E. Universidad de Valladolid.

Pérez-Estaún, A. y Bea, F. (editores), (2004): Macizo Ibérico. En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 19-230.

Petit, S., Decarreau, A., Martin, F. y Buchetet, R. (2004): Refined relationship between the position of the fundamental OH stretching and the first overtones for clays. *Phys Chem Minerals*, 31, 585-592.

Scheinost, A.C., Chavernas, A., Barrón V. y Torrent, J. (1998): Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxide minerals in soils. *Clays and Clay Minerals*, 46, 528-536.

Sherman, D.M. y Waite, T.D. (1985): Electronic spectra of Fe^{3+} oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist*, Vol. 70, 1262-1269.

Viscarra Rossel, R.A., McGlynn, R.N. y McBratney, A.B. (2006): Determining the composition of mineral-organic mixes using UV–vis–NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 137: 70-82.

El yacimiento de W-Sn-(Mo) de Peña do Seo, NW de España: estudio de inclusiones fluidas

Peña do Seo W-Sn-(Mo) ore deposit, NW Spain: A fluid inclusion study

P. Caldevilla[1], F. Gómez-Fernández[1], A.M. Castañón-García[1], T. Martín-Crespo[2], E. Vindel[3], L. González-Menéndez[4], M. Rodrigues[5] y A. Guedes[5]

1 Dpto. Tecnología Minera Topografía y Estructuras, Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas, Universidad de León, 24071, León, Spain. (*pcald@unileon.es, f.gomez@unileon.es, amcasg@unileon.es)
2 Dpto. Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, 28933, Móstoles, Madrid, Spain. (tomas.martin@urjc.es)
3 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid, Spain. (evindel@ucm.es)
4 Instituto Geológico y Minero de España, Avda. Real 1, Parque Científico, 24006 León, Spain (l.gonzalez@igme.es),
5 Dpto. Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território - Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo-Porto, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal. (aguedes@fc.up.pt, up201510120@fc.up.pt)

Palabras clave: Peña do Seo, wolframio-estaño, hidrotermal, inclusiones fluidas

Resumen

El yacimiento filoniano de W-Sn-(Mo) de Peña do Seo, cuya génesis está relacionada con la intrusión de granitos variscos, se encuentra en la Zona Astur-Occidental Leonesa, parte del Macizo Varisco Ibérico. Las reservas totales eran de 1.35 Mt, con leyes medias de 0.25 % WO_3 y 0.05 % SnO_2. La mineralización se encuentra en venas de cuarzo encajadas en esquistos precámbricos de la Serie de Villalba, y probablemente está relacionada con pequeños stocks graníticos tardiorogénicos, cuya intrusión generó aureolas térmicas. El estudio microtermométrico y por micro-Raman en inclusiones fluidas en el cuarzo de los filones mineralizados ha permitido identificar al menos tres tipos de fluidos:

– I. (H_2O-NaCl): T_h entre 280 ºC y 400 ºC, salinidades entre 7 y 16% eq. NaCl.

– II. (H_2O-CO_2-CH_4-N_2-NaCl) T_h entre 260 ºC y 325 ºC, salinidades entre 2 y 5 % eq. NaCl. Fase vapor: CO_2: 87-100%, CH_4: 0-3.8 %, N_2: 0-8.9%

– III. (H_2O-CO_2): T_h entre 180 ºC y 305 ºC, salinidades entre 1.6 y 5 % eq. NaCl.

Es probable que los fluidos relacionados con este yacimiento filoniano de W-Sn-(Mo) sufrieran un fenómeno de inmiscibilidad durante el descenso continuado de la temperatura y la salinidad.

Abstract

Peña do Seo is a granite-related W-Sn- (Mo) vein-type deposit in the West Asturian-Leonese zone, part of the Variscan Massif. Total metal reserves were 1.35 Mt, with average grades of 0.25 % WO_3 and 0.05% SnO_2. Mineralization is found within quartz veins hosted by Precambrian schists from Villalba Formation. Ores might be related to small tardi-tectonic granitic stocks, whose intrusion produced thermal aureoles. Fluid inclusion and micro-Raman studies performed in the quartz associated with the mineralized veins reveal the presence of three different types of fluids:

– *I. (H_2O-NaCl): T_h from 280 ºC to 400 ºC, and salinities between 7 and 16 wt% eq. NaCl.*

– *II. (H_2O-CO_2-CH_4-N_2-NaCl) T_h from 260 ºC to 326 ºC, salinities between 2 and 5 wt% eq. NaCl and a volatile phase composition of: CO_2: 87-100%, CH_4: 0-3.8 %, and N_2: 0-8.9%.*

– *III. (H_2O-CO_2): Homogenization temperatures from 180 ºC to 305 ºC, salinities between 1.6 and 5 wt% eq. NaCl and a volatile phase with CO_2.*

An imiscibility phenomena during a continuous decrease in temperature and salinity are suggested for the fluids associated with this W-Sn- (Mo) vein-type deposit.

Agradecimientos: Proyecto 0284_ESMIMET_3_E (INTERREG V-A Programa de Cooperación España-Portugal, 2014-20) y Proyecto LE167G18 (Junta de Castilla y León).

Caracterización de fluidos metamórficos en los yacimientos de sulfuros de la Val d'Aran (Zona Axial de los Pirineos).

Metamorphic fluids characterization in the sulphide deposits of Val d'Aran (Pyrenean Axial Zone).

G. Casado[1], M. Corbella[1], E. Cardellach[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona 08290 Cerdanyola del Vallès. gerard.casado@uab.cat; merce.corbella@uab.cat, esteve.cardellach@uab.cat

Palabras clave: inclusiones fluidas, metamorfismo, mineralización estratiforme.

Resumen

En el domo metamórfico de Bossòst (Val d'Aran, Zona Axial Pirenaica) se encuentran mineralizaciones de sulfuros de Zn-Pb de tipo estratiforme emplazadas en materiales de edad Ordovícica, afectadas por una intensa deformación y metamorfismo de esquistos verdes durante las Orogenias Varisca y Alpina (Cardellach *et al.*, 1996; García-Sansegundo, 1990). El estudio de las inclusiones fluidas en cuarzo, tanto de la mineralización estratiforme como en venas posteriores que la cortan y que a menudo también contienen sulfuros (Cugerone *et al.*, 2018), ha mostrado la presencia de, al menos, dos fluidos distintos: Uno de baja salinidad (~ 8% en peso equivalente de NaCl), con CO_2 y temperaturas de homogenización de alrededor de 250 °C, y un segundo fluido, de alta salinidad (~30% en peso equivalente de NaCl) asociado a inclusiones trifásicas, con dos rangos diferenciados de temperaturas de homogenización a ~170 °C y ~350 °C respectivamente. La presencia de inclusiones con CO_2 e inclusiones con halita en un mismo cristal sugiere un proceso de desmezcla de un fluido tipo H_2O-CO_2-NaCl de baja a moderada salinidad durante el metamorfismo varisco que sería el responsable de la removilización de los sulfuros y su concentración en zonas de fractura, charnelas de pliegues y cabalgamientos.

Abstract

On the Bossòst metamorphic dome (Aran Valley, Pyrenean Axial Zone) there are several Zn-Pb sulphide stratiform deposits hosted in Ordovician age materials, which experienced an intense deformation and greenschist metamorphism during the Variscan and Alpine Orogeny (Cardellach et al., 1996, García-Sansegundo, 1990). The study of fluid inclusions in quartz, both of the stratiform mineralization as well as of the later quartz veins that crosscut them and usually bear sulphides (Cugerone et al., 2018), has shown the presence of, at least, two distinct fluids: A low salinity one (~ 8% equivalent weight of NaCl), with CO_2 and homogenization temperatures around 250 °C, and a second, high salinity fluid (~ 30% equivalent weight of NaCl) associated to triphasic inclusions, with two different homogenization temperature ranges around ~170 °C and ~ 350 °C respectively. The presence of CO_2 bearing inclusions and inclusions with halite on the same crystal suggests an unmixing process of an H_2O-CO_2-NaCl type fluid of low to moderate salinity during the Variscan metamorphism that may be responsible for the remobilization of sulphides and their concentration on fracture zones, fold hinges and thrusts.

Referencias

Cardellach, E., Canals, A., Pujals, I. (1996). *Estudios Geológicos* 52, 5-6, 189-195.

Cugerone, A., Cenki-Tok, B., Chauvet, A., Le Goff, E., Bailly, L., Alard, O., Allard, M. (2018). *Ore Geology Reviews,* doi: 10.1016/j.oregeorev.2018.02.016

García-Sansegundo, J. (1990). *Estratigrafía y estructura de la Zona Axial Pirenaica en la transversal del Valle de Aran y de la Alta Ribagorça*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 290 p.

Agregados de cristales de calcita en forma de rosetas rellenando fracturas en el SE de los Pirineos.

Fracture-filling rose-like calcite crystal clusters in the SE Pyrenees.

D, Cruset[1], J. Ibáñez-Insa[1], I. Cantarero[2], C.M. John[3], y A. Travé[2]

1 Geociencias Barcelona (GEO3BCN-CSIC), Lluís Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, Spain. dcruset@ictja.csic.es, jibanez@ictja.csic.es
2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, (UB), Martí i Franquès s/n, 08028, Barcelona, Spain i_cantarero@ub.edu, atrave@ub.edu
3 Department of Earth Science and Engineering, Imperial College London, SW7 2BP, UK. cedric.john@imperial.ac.uk

Palabras clave: Calcita, agregados en forma de roseta, fracturas, migración de fluidos.

Resumen

La morfología de los cristales de calcita refleja parámetros físicos de precipitación como la temperatura, saturación en iones y presión, así como la expulsión de CO_2 mediante ebullición o efervescencia de fluidos (Montcada *et al.*, 2012; Milodowski *et al.*, 2018). En este trabajo se presenta un estudio de rosetas formadas por calcita en forma de hoja precipitadas en fracturas en el manto del Cadí (SE de los Pirineos). Esta morfología es poco habitual en calcita y ha sido caracterizada mediante microscopía óptica y electrónica, difracción de rayos X (XRD), espectroscopia Raman, $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, $^{87}Sr/^{86}Sr$, *clumped isotopes* y el análisis de elementos mayoritarios y de tierras raras (REE). La petrografía y XRD indican que la calcita en forma de hoja está constituida mayoritariamente por cristales romboédricos masivos con caras $\{10\bar{1}4\}$ además de pequeños cristales laminares con caras $\{01\bar{1}8\}$. La espectroscopia Raman de inclusiones fluidas muestra la presencia de hidrocarburos aromáticos. La termometría de *clumped isotopes* indica que estos cristales precipitaron a partir de fluidos meteóricos a ~60 ºC. El contenido en elementos mayoritarios y REE y la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ sugieren que estos fluidos interactuaron con carbonatos marinos del Eoceno y concreciones de celestita. Estos resultados nos indican que los agregados de calcita en rosetas precipitaron, al menos en la zona estudiada, debido al escape de CO_2 por ebullición de un fluido meteórico mezclado con hidrocarburos. Esta mezcla redujo la temperatura de ebullición del fluido a ~60 ºC.

Keywords: *Calcite, rose-like clusters, fractures fluid migration.*

Abstract

Calcite crystal morphologies reflect physical parameters of precipitation such as temperature and ion saturation and pressure, as also CO_2 release related to fluid boiling and effervescence (Montcada et al., 2012; Milodowski et al., 2018). We present a study of fracture-filling rose-like clusters of bladed calcites from the Cadí thrust sheet (SE Pyrenees). This morphology is not common in calcite and has been characterized using optical and electron microscope, X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, $^{87}Sr/^{86}Sr$, clumped isotopes and major and Rare Earth elements (REE) analysis. Petrographic observations and XRD indicate that bladed crystals are made of massive rhombohedral crystals with $\{10\bar{1}4\}$ faces as also laminar crystals with $\{01\bar{1}8\}$ faces. Raman analysis of fluid inclusions indicates the presence of aromatic hydrocarbons. Clumped isotopes reflect that calcite precipitated from meteoric fluids at ~60 ºC. The $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios and major elements and REE content indicate that fluids interacted with Eocene marine carbonates and celestite concretions. The results reveal that rose-like calcite clusters precipitated, at least in the studied area, due to a CO_2 release by boiling of meteoric fluids mixed with hydrocarbons. This mixture decreased the boiling temperature of the fluid to ~60 ºC.

Referencias

Milodowski, A. E., Bath, A., y Norris, S. (2018). *Chemical Geology* 97, 40-60.

Montcada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D. y Bodnar, R. J. (2012). *Journal of Geochemical Exploration* 114, 20-35.

Aplicación del Análisis Digital de Imagen en la cuantificación de parámetros de forma de partículas minerales.

Application of Digital Image Analysis in the quantification of mineral particle shape parameters.

J. Cuervas-Mons[1], E. Berrezueta[2], B. Ordóñez-Casado[2], Á. Rodríguez-Rey[1]

1 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo 33005 Oviedo. jcuervas@geol.uniovi.es; arrey@uniovi.es
2 Instituto Geológico y Minero de España 33005 Oviedo e.berrezueta@igme.es; b.ordonez@igme.es

Palabras clave: Análisis Digital de Imagen, Parámetros de forma, partículas minerales 2D

Resumen

En este trabajo se presenta un indicador de regularidad para contornos de partículas minerales observadas en 2D. Este nuevo indicador es una combinación matemática de diferentes parámetros de forma: Dimensión Fractal (DF), Solidez (So), Perímetro-Área Normalizado (¥), Redondez de Wadell (Rw) y Esfericidad (S). El procedimiento seguido fue el siguiente: i) cuantificación de los parámetros de forma sobre 18 partículas teóricas diseñadas previamente, mediante los programas ImagePro Plus, ImageJ y Roussillon Toolbox; ii) evaluación cualitativa-cuantitativa de la representatividad de estos parámetros de forma; iii) desarrollo matemático del indicador de regularidad a partir de una regresión lineal múltiple; iv) validación y aplicación del indicador desarrollado en un caso de estudio. El trabajo permitió realizar una evaluación de la representatividad de los parámetros de forma cuantificados, identificando sus desviaciones y limitaciones a la hora de describir la forma de partículas minerales y, principalmente, definir el parámetro de regularidad RBC descrito como RBC = -3,23DF + 0,003So – 0,16 ¥*c* + 0,04Rwc + 4,31. Así mismo, se presenta un procedimiento automatizado de cuantificación de parámetros de forma a partir del uso conjunto de programas de procesamiento y análisis digital de imagen.

Abstract

This work presents a regularity indicator for outline mineral particles observed in 2D. This new indicator is a mathematical combination of different shape parameters: Fractal Dimension (DF), Solidity (So), Normalized Perimeter-Area (¥), Wadell`s Roundness (Rw) and Sphericity (S). The procedure followed was as follows: i) quantification of shape parameters in 18 theoretical particles designed previously by means of ImagePro Plus, ImageJ and Roussillon Toolbox software, ii) qualitative-quantitative evaluation of representativity of these shape parameters, iii) mathematical development of regularity indicator by means of multiple linear regression, iv) validation and application of indicator developed in a study case. The work allowed to realise an evaluation of the representativity of the shape parameters quantified, identifying their deviations and limitations when describing the shape of mineral particles, and, mainly, to define the regularity parameter RBC described as RBC = -3,23DF + 0,003So – 0,16 ¥c + 0,04Rwc + 4,31. Likewise, an automated procedure for quantifying shape parameters is presented based on the joint use of digital image analysis and processing software.

Referencias

Barret, P. J. (1980). *Sedimentology* 27, 291-303.

Berrezueta, E., Cuervas-Mons, J., Rodríguez-Rey, A. and Ordóñez, B. (2019). *Minerals* 9 (768), 21 p.

Roussillon, T., Piégay, H., Sivignon, I., Tougne, L. and Lavigne, F. (2009). *Computer and Geosciences* 35. 1992-2000.

Geoquímica de las arcillas de la Sima del Vapor.

Clay geochemistry in Vapor Cave.

B. Del Moral[1], R. Pérez-López[2], M. P. Mata[1], J. F. Mediato[3], E. Bellido[1], M. R. Castillo-Carrión[1], E. Ugarte-Manzanares[1], M. T. Andrés-Álvez[1], J. López-Hernando[1], C. Pérez-Garrido[1]

1 Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios. IGME C/ Calera 1 y 2. Tres Cantos 28760. Madrid. Spain. b.delmoral@igme.es, p.mata@igme.es, e.bellido@igme.es, m.castillo@igme.es, e.ugarte@igme.es, m.andres@igme.es, jovita.lopez@igme.es, carlos.perez@igme.es.
2 Departamento de Investigación y Prospectiva. E C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. r.perez@igme.es
3 Departamento de Investigación en Recursos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. jf.mediato@igme.es

Palabras clave: arcillas, carbonatos, geoquímica, Sima del Vapor, España.

Resumen

La Sima del Vapor (Alhama de Murcia), constituye una cavidad desarrollada a favor de la Falla de Alhama de Murcia, con una génesis hipogénica y elevadas concentraciones de radón (entre 30 y 70 kBq/m3 ^{222}Rn, Pérez-López *et al.*, 2016). Hemos analizado la composición química de los niveles de arcillas rojas y venas de carbonatos que aparecen en su interior con el fin de detectar los posibles portadores de U. Se ha utilizado espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) por dispersión de longitudes de onda (ZETIUM, PANalytical), espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS, Varian FS-220) y análisis de elementos traza mediante espectrometría ICP-MS (Agilent 7500ce). Los resultados de los niveles arcillosos a -20 m muestran una elevada cantidad de fósforo (675 µg/g P_2O_5), así como de Zn (562 µg/g) y As (454 µg/g). Las cantidades de U oscilan entre (2,24–5,7) µg/g y de Th (9,85–11,8) µg/g. Estos valores por sí mismos son bajos para explicar las elevadas concentraciones de radón. Adicionalmente se ha usado un analizador portátil XRF (Olympus DELTA PRO) para el análisis del encajante de la sima: un conglomerado poligénico del Tortoniense, con clastos de esquistos y carbonatos, y los carbonatos negros triásicos del basamento. El conglomerado muestra valores de Si (11,5%), y valores destacables de P, Zn y As, aspecto corroborado con las determinaciones realizadas en el laboratorio.

Abstract

Vapor cave is a hypogenic cavity with a high radon (^{222}Rn oscillating between 30 and 70 kBq/m^3.) concentration (Pérez-López et al., 2016). The geochemistry of clays and carbonate veins have been analysed by XRF spectrometry (ZETIUM, PANalytical), AAS (Varian FS-220) and mass spectrometry ICP-MS (Agilent 7500ce). Results from clays located at -20 m depth show 675 µg/g P_2O_5, Zn 562 µg/g and As (454 µg/g). The uranium concentration ranges between (2.24–5.7) µg/g and thorium ranges between (9.85–11.8) µg/g. These values are low for explaining the high radon (^{222}Rn) inside the cave. The geochemistry of the embedded rock in the cave, a Tortonian conglomerate of polygenic clasts of schist and carbonates, and the Triassic black carbonates of the basement, were obtained by using a handle XRF Olympus Delta PRO. Conglomerate shows a high percentage of silicon (11.5%), and remarkable values of P, Zn, and As.

Referencias

Pérez-López R., S. Sánchez-Moral, S. Cuezva, J.J. Martínez-Díaz, L. Quiles, E. Bañón y A. Marcos-Nuez. (2016). Condiciones ambientales de la Sima del Vapor: relación con la Falla de Alhama de Murcia y su actividad tectónica reciente. *Geo-Temas*, 16 (1), 363-366.

Caracterización mineralógica preliminar de residuos generados en un tratamiento de aguas ácidas tipo sustrato alcalino disperso

Preliminary mineralogical characterization of wastes derived from acid water treatment by a dispersed alkaline substrate

J. Delgado[1], M. Rodríguez-Rodríguez[1], C. Barba-Brioso[2], J.J. Romero-Guerrero[1] y D. Ayala[3]

1 Dpto. de Medios Físicos, Químicos y Naturales. Facultad de CCEE. Universidad Pablo de Olavide. Ctra. Utrera, km 1 – 41013, Sevilla. jmdelrod@upo.es. mrodrod@upo.es. juanjesus.romero.guerrero@gmail.com.

2 Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. C/Profesor García González, 1 41012, Sevilla. cbbrioso@us.es.

3 Department of Civil and Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, PA 16802, USA. diaayala@gmail.com.

Resumen: La generación de aguas ácidas en la explotación de yacimientos de sulfuros es una gran problemática medioambiental a nivel global. Durante 7 meses, las aguas ácidas generadas en el área minera de Zaruma-Portovelo (Ecuador), fueron tratadas satisfactoriamente en laboratorio. Sin embargo, estos sistemas producen un residuo sólido con elevadas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos que deben ser correctamente gestionados. Este trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización mineralógica preliminar de dichos residuos. A bajo pH, la química del Fe controlada por la precipitación de oxihidróxisulfatos de baja cristalinidad (jarosita, schwertmannita, ferrihidrita) ira dando paso a la precipitación de fase ricas en Al (Alunita/basaluminita). Posteriormente a pH > 6 la alta disponibilidad de ion CO_3^{2-} condicionará la presencia de carbonatos de metales divalentes (Fe, Cu, Mn, Mg y Zn). La partición a la fase solida de Zn parece ser la más tardía con la formación de carbonatos (smithsonita) y sulfatos con sustituciones Zn – Cu (bianchita, melanterita). Los Resultados ponen de manifiesto la complejidad mineralógica del sistema. Además, técnicas complementarias de caracterización de minerales de baja cristalinidad se hacen necesarias para poder entender el comportamiento geoquímico de los metales y las implicaciones medioambientales de dichos residuos sin una correcta gestión.

Palabras clave: residuos mineros, contaminación metálica, oxihidróxisulfatos Fe-Al, carbonatos metálicos

Abstract: *The acid waters generation in the exploitation of sulphide deposits is a great global environmental problem. For 7 months, the acid mine waters generated in the Zaruma-Portovelo mining area (Ecuador) were satisfactory treated in laboratory. However, these systems produce a solid residue with high concentrations of potentially toxic elements that must be properly managed. This work aims to develop a preliminary mineralogical characterization of these solid wastes. Initially, at low pH the chemistry of Fe controlled by low crystallinity oxyhydroxysulphates precipitates (jarosite, schwertmannite and ferrihydrite) will give way to the formation of Al-rich (Alunite / basaluminite) phase precipitation. Subsequently, at pH > 6, the high availability of* CO_3^{2-} *ion will condition the presence of divalent metal carbonates (Fe, Cu, Mn, Mg and to a lesser extent Zn). The partition of Zn to the solid phase seems to be the last through the formation of carbonates (smithsonite) and sulphates with substitutions of Zn-Cu (bianchite or melanterite group). The results show the mineralogical complexity of these systems. In addition, complementary techniques to characterize the low crystallinity minerals are necessary to understand the geochemical behavior of metals and the environmental implications that such solid wastes could generate without proper management.*

Keywords: *mine wastes, metallic contamination, oxyhydroxysulphates Fe-Al, metallic carbonates*

INTRODUCCIÓN

Las aguas contaminadas debido a la actividad minera, drenajes ácidos de mina (DAM), que constituyen un problema ambiental a escala global, pueden ser tratadas y/o remediadas principalmente mediante dos enfoques generales; tratamiento activo o pasivo (Johnson y Hallberg, 2005). Mientras que el primero implica el uso de energía y continua adición de productos químicos, el segundo se basa en el flujo natural del agua y en reacciones biogeoquímicas de manera que abarata los costes y minimiza el mantenimiento de sus instalaciones.

Uno de los obstáculos más importantes que un sistema de tratamiento pasivo tiene que superar es el gran tiempo operacional para hacer que el sistema sea económicamente factible. El atasco de la porosidad y el revestimiento de los granos reactivos que precipitan son los dos factores operaciones que controlan el tiempo de vida de un tratamiento pasivo (Rötting *et al.*, 2008), dependiendo ambos de la cantidad de

contaminantes disueltos en el drenaje ácido de minas. Un nuevo tratamiento llamado sustrato alcalino disperso (DAS) fue propuesto por Rötting *et al.* (2008) para evitar dichos problemas. Dicha mezcla reactiva contiene una matriz inerte de virutas de madera para aumentar la superficie reactiva (aumenta la porosidad reduciendo los problemas de colmatación) y un reactivo de grano fino para favorecer que los granos reactivos se consuman completamente.

Teniendo en cuenta que estos sistemas favorecen la movilización de estos metales disueltos hacia un residuo sólido de elevadas concentraciones, una caracterización mineralógica es fundamental para conseguir una buena gestión de dichos residuos. Por todo ello este trabajo pretende iniciar los estudios de caracterización de fases sólidas envueltas en los procesos de remediación de DAS.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de tratamiento pasivo de aguas ácidas implementado por Delgado *et al.* (2018) y constituido por dos columnas; una de reactivo cálcico (DAS-Ca) compuesta por arena caliza de alta pureza y otra de reactivo magnésico (DAS-Mg) compuesto por magnesia reactiva de laboratorio, respondió positivamente durante los 7 meses, consiguiendo eliminaciones relativas medias de elementos alrededor del 100% para Fe, Al y Cu, y más del 70% para el resto de elementos excepto Cr (50%) y SO_4^{2-} (25%). Con la disolución de la arena caliza, se promueve la eliminación de protones en solución, lo cual provoca un aumento de pH que favorece la formación de un horizonte "ocre" en los primeros centímetros de la columna debido al choque químico, seguido de un horizonte blanco, que puede corresponder a los precipitados de Fe y Al, respectivamente, como ya han descrito varios autores (i.e. Delgado *et al.*, 2019).

Teniendo en cuenta dicho criterio de observación visual (los horizontes pueden ser identificados claramente en la Fig. 1), una vez finalizado el tratamiento de las aguas ácidas, se procedió al muestreo de los residuos sólidos generados en las columnas a distintas profundidades. Así, se tomaron 5 muestras para la columna DAS- Ca situadas a 3,5, 7,5, 8,5, 10 y 15cm, mientras que en el DAS-Mg se recogieron 4 muestras, 2 superficiales coincidiendo con precipitados de color verde-blanco y otras dos muestras a 1 y 12cm, respectivamente.

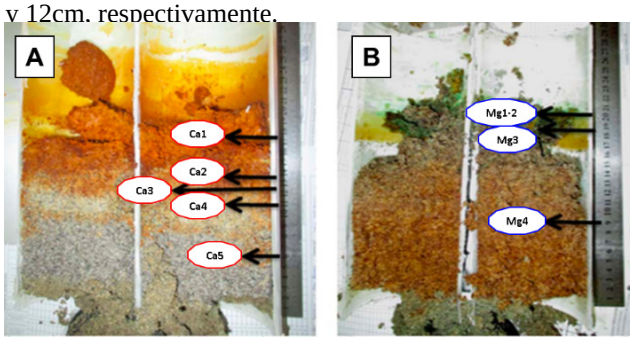


FIGURA 1. A) Muestreo de la columna DAS-Ca y B) en la columna DAS-Mg

La caracterización preliminar de los sólidos se realizó en los laboratorios INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, Ecuador) mediante difracción de rayos X usando el equipo DRX; Bruker AXS modelo D8 Advance. La identificación de fases o indicios minerales presentes y su análisis semicuantitativo se llevó a cabo con el software XPowder.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la muestra más superficial del DAS-Ca (Ca1) puede observarse en el difractograma indicios de un pico que podría corresponder con strengita [$Fe^{3+}(PO_4)\cdot 2H_2O$], mineral fosfatado típico de ambientes ácidos a bajos pH (Delgado *et al.*, 2019). Sin embargo, la presencia de un background muy elevado, probablemente derivado de precipitados de baja cristalinidad, hace prácticamente imposible distinguir otras fases minerales. De acuerdo con la bibliografía, a bajos valores de pH toman importancia los oxihidróxidos e oxihidróxisulfatos de Fe de baja cristalinidad tipo jarosita [$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$] y schwertmannita [$Fe_8O_8(OH)_6(SO_4)$], que retienen acidez y metales tóxicos (Hudson Edwards *et al.*, 1999). De hecho, la muestra Ca2 (Fig. 1), aunque dominada por fases amorfas, yeso y calcita (Tabla I), presenta patrones de fases minerales de una relativa mayor cristalinidad como ferrihidrita (6,3%), e indicios de schwertmannita y jarosita.

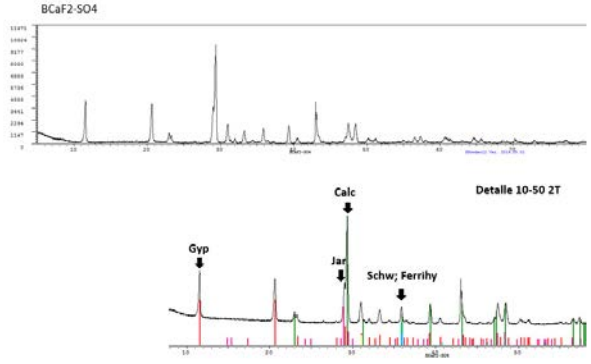


FIGURA 2. Difractograma de la muestra M2. Detalle 10-50 2Θ del difractograma y principales fases minerales identificadas

Mineral	Abreviatura	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5
Yeso	Gyp	-	12.1	5.1	30.5	17.8
Calcita	Calc	-	26.4	3.1	30.1	79.2
Schwertmannita	Schw	-	*	*	-	-
Jarosita	Jar	-	*	*	-	-
Fernihidrita	Fernihy	-	6.3	9	13	-
Alunita/Basaluminita	Alun/Bas	-	-	8	2.1	-
Jurbanita	Jurb	-	-	6.8	1.4	-
Diásporo	Dias	-	-	5.3		-
Rodocrosita	Rhod	-	-		3.7	-
Huntita	Hunt	-	-		1.4	-
Strengita	Streng	*	-		1.5	-
Amorfos (* indicios incluidos)		100	46.3	50	17.9	3

TABLA I. Resultado mineralógicos previos obtenidos mediante DRX de las muestras seleccionadas de la columna DAS-Ca

Debido a su baja cristalinidad estos dos últimos minerales no han sido cuantificados (Delgado *et al.*, 2018) y han sido sumados en el total de amorfos de la muestra. No obstante, con el tiempo estos podrían madurar hacia hidróxidos de Fe con una estructura cristalina más diferenciada como ferrihidrita [$Fe(OH)_3$] y/o goethita [α-FeOOH]. Este fenómeno podría demostrar el resultado del aumento en los porcentajes de ferrihidrita hacia zonas más profundas del perfil (Tabla I).

La precipitación de fases sulfatadas de Al como alunita [$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$], basaluminita [$Al_4(SO_4)\ (OH)_{10}{\cdot}5(H_2O)$] e hidróxidos de aluminio como gibbsita [$Al(OH)_3$], bohemita [AlO(OH)] y diásporo [AlO(OH)] es significativa cuando el pH aumenta. De hecho, según Sánchez-España *et al.* (2016) basaluminita es la fase de Al más común en el rango de pH comprendido entre 3,3 y 5,7. Los datos químicos de aguas en el tratamiento señalan valores de pH en dicho rango. Así, alunita/basaluminita (Fig. 3) han sido detectados a unos 10cm en el perfil DAS-Ca (Muestra Ca3 y Ca4), donde también aparecieron jurbanita [$Al(SO_4)(OH)\cdot 5H_2O$] y en la muestra Ca3 diásporo (Tabla I). Además, el aumento del pH también podría favorecer que otras fases de metales divalentes tipo carbonatos como la rodocrosita [$MnCO_3$] y huntita [$Ca,Mg(CO_3)_4$] (posibles indicios en la Fig. 3) estén presentes, aunque su presencia debe ser confirmada por otras técnicas. Ferrihidrita aumenta su presencia (13% en la muestra Ca4) a medida que profundizamos en el perfil de los residuos probablemente debido a procesos de maduración mineral antes descritos. En la columna DAS-Ca las elevadas concentraciones del ion SO_4^{2-} en el DAM, en presencia de la calcita reactiva, condicionan el dominio en la mineralogía del yeso ($CaSO_4\cdot 2H_2O$; 30,5% en la muestra Ca4) entre las fases neoformadas del sistema.

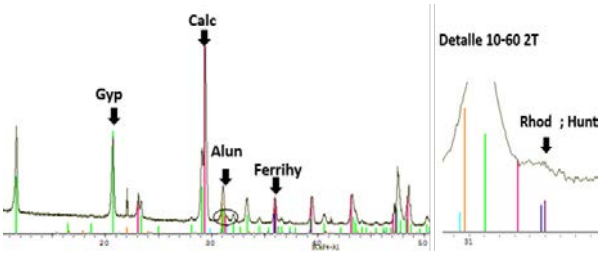


FIGURA 3. Difractograma de la muestra Ca4. Detalle 10-60 2Θ del difractograma y minerales o indicios minerales identificados

En la columna Das-Mg (pH > 6) se dan las condiciones idóneas para la reducción de las concentraciones de metales divalentes como Zn, Mn, Cu, Pb, Ni y Cd preferentemente en forma de hidróxidos (Caraballo *et al.*, 2009). Son comunes carbonatos como huntita [$Mg_3Ca(CO_3)$], dolomita [$Ca,Mg(CO_3)_2$], siderita [$FeCO_3$], smithsonita [$ZnCO_3$], malaquita [$Cu_2CO_3(OH)_2$], magnesita [$MgCO_3$] y rodocrosita [$MnCO_3$], hidróxidos como la brucita [$Mg(OH)_2$] y sulfatos como antlerita [$(Cu^{2+})_3SO_4(OH)_4$], brochantita [$Cu_4SO_4(OH)_6$], goslarita [$ZnSO_4\cdot 7H_2O$] y anglesita [$PbSO_4$] (Delgado *et al.*, 2019).

La calcita y el yeso siguen apareciendo ya que a la entrada de la columna DAS-Mg, debido a la gran cantidad de calcio-reactivo disponible en la zona más profunda de la columna DAS-Ca. A ellos se suma la presencia de dolomita en las muestras M1 y M3 debido a la alta disponibilidad de Mg por la disolución de la magnesia reactivas en el DAS-Mg.

Además, otros minerales carbonatados y bicarbonatados podrán jugar un papel importante en la retirada de metales divalentes de la solución. Así, fases carbonatadas como la malaquita [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$] y la azurita [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$] podrían eliminar Cu de la solución y quedar retenido en los primeros centímetros del DAS-Mg (Tabla II). En dicho contexto, y con alta disponibilidad de sulfatos, otros minerales asociados como la antlerita-brochantita [$(Cu^{2+})_3SO_4(OH)_4$ -$Cu_4(SO_4)\cdot(OH)_6$] han sido frecuentemente descritos como fases neoformadas en neutralización de ambientes ácidos (Carbone *et al.*, 2012).

Mineral	Abreviatura	Mg1	Mg2	Mg3	Mg4
Yeso	Gyps	58	58	2,5	2,6
Calcita	Calc	18,3	18,3	2,1	23,3
Dolomita	Dol	2,7		4,8	
Malaquita/Azurita	Mal/Az	6,5	10,4	9,5	2,3
Rodocrosita	Rhod	2,7	3,2	4,7	
Siderita	Sid	1	-	5,8	4,1
Smithsonita	Smth	-	-	3,6	10,9
Brochantita	Broch	4,3	-	-	-
Calcantita	Calcan	-	-	1,9	
Brucita	Bct	-	-	-	1,8
Amorfos	-	6,4	5,4	49,7	41,8
Otras fases minerales					
Hexahidrita	Hex	-	-	2,7*	1,5*
Starkeyita	Stark	-	-	2,1*	2,5*
Serpierita	Serpi	-	-	1,9*	7,3
Bianchita	Bian	-	-	3	-
Zincmelanterita	Zmel	-	-	-	1,7*

TABLA II. Resultados mineralógicos previos obtenidos mediante DRX de las muestras seleccionadas de la columna DAS-Mg (* Indicios)

Es necesario remarcar que, pese a que la química del hierro se desarrolle prácticamente en su totalidad en ambientes más ácidos, pequeñas cantidades de Fe disponible podrían asociándose con el grupo carbonato actuando como metal divalente y precipitar en forma de siderita [$Fe^{2+}(CO_3)$] (Fig. 4; Tabla II). Además, de acuerdo con los datos hidroquímicos de aguas ácidas (elevadas concentraciones de Mn) y con las interpretaciones mineralógicas de las muestras del Das-Mg (M1, 2 y 3) la presencia de rodocrosita [$MnCO_3$] parece evidente.

Por otro lado, de acuerdo con Cortina *et al.* (2003), en este tipo de columnas se produce la rápida precipitación de óxidos de Mg y de hidróxidos de metal, mientras que los sulfatos precipitan de forma más lenta y progresiva. Es importante señalar la presencia de brucita [$Mg(OH)_2$] (Fig. 4c), ya que de acuerdo con experimentos similares descritos por Cortina *et al.* (2003), es frecuente su presencia recubriendo los granos de magnesia reactiva (sustrato de la columna).

Los resultados hidroquímicos de Delgado *et al.* (2018) junto con el análisis de muestras solidas en la columna DAS-Mg revelan que Zn es el metal divalente que sufre su partición hacia la fase sólida en etapas tardías del tratamiento. Prueba de ello son los indicios de fases minerales como smithsonita [$ZnCO_3$] en las muestras M3 y M4. Además, un amplio cortejo de sulfatos hidratados controlaría el proceso final de partición de metales divalentes como Cu, Zn o incluso Fe (Tabla II, otras fases minerales). Así, Jambor *et al.* (2000) describe que en la columna DAS-Mg bajo las condiciones del sistema, la concentración de Zn condicionaría por un lado la existencia de sulfatos de Zn; bianchita [$ZnSO_4 \cdot 6H_2O$] o zinc-melanterita [$(Zn,Cu,Fe)SO_4 \cdot 7H_2O$] (indicios en las muestras finales de la columna), y por otro lado, la sustitución de Zn/Cu en fases típicas como la antlerita-brochantita anteriormente descritas.

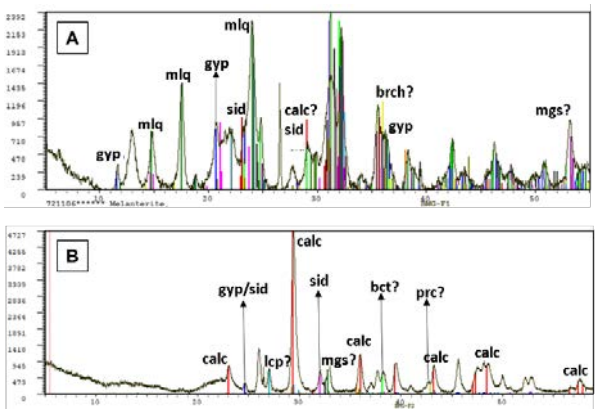


FIGURA 4. A) detalle de la muestra M3 (0-60 2Θ); B) muestra M4 (0-60 2Θ) mostrando detalle de los principales minerales identificados.

CONCLUSIONES

Los primeros resultados del estudio mineralógico ponen de manifiesto la complejidad de los sistemas de neutralización de acidez, donde las altas concentraciones de Fe y sulfatos condicionan claramente las fases minerales implicadas en la retención de metales.

Cuando las condiciones ácidas del AMD evolucionan hacia la neutralidad primero se produce la precipitación de oxihidróxidos amorfos y de baja cristalinidad como la ferrihidrita y de oxihidróxisulfatos como jarosita y schwertmannita. Una vez superada estas condiciones extremadamente ácidas, la precipitación de otros hidróxidos principalmente sulfatados, como alunita/basaluminita, jurbanita y diásporo, envolviendo principalmente la partición hacia la fase solida del Al pueden precipitar. Esta etapa final del DAS-Ca puede ir acompañado además por la aparición de las primeras fases carbonatadas metálicas como siderita y rodocrosita, que determinarían el paso a una hidroquímica dominada por los metales divalentes.

En la segunda columna del tratamiento (Das-Mg) se produce una reducción metálica contralada por la precipitación de carbonatos y sulfatos de Cu (malaquita/azurita y brochantita) y en menor medida Fe (siderita) y Zn (smithsonita) que irá perdiendo importancia a lo largo del perfil para dar paso a una serie muy compleja de minerales sulfatados tipo brucita y bianchita-melanterita dominados por los procesos de sustitución entre Cu y Zn.

Este trabajo pone de manifiesto que estas técnicas iniciales deben ser completadas con estudios mineralógicos-geoquímicos complementarios (mediante SEM y extracciones secuenciales) que permitan precisar las fases minerales de baja cristalinidad que dominan la partición de los metales potencialmente tóxicos a favor de la fase sólida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del programa "*Prometeo*" financiado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología Ecuatoriano.

REFERENCIAS

Caraballo, M.A., Rötting, T.S., Nieto, J.M. y Ayora, C. (2009): Sequential extraction and DXRD applicability to poorly crystalline Fe- and Al-phase characterization from an acid mine water passive remediation system. *American Mineralogist,* 94(7): 1029-1038.

Carbone, C., Marescotti, P., Comodi, P., Frondoni F. y Lucchetti, G. (2012): Mineralogical and chemical evolution of ochreous precipitates from the Libiola Fe-Cu-sulfide mine (Eastern Liguria, Italy). *Applied Geochemistry*, 27: 577-589.

Cortina, J.L., Lagreca, I., De Pablo, J., Cama, J. y Ayora, C. (2003): Passive in situ remediation of metal-polluted water with caustic magnesia: Evidence from column experiments. *Environmental Science and Technology*, 37: 1971-1977.

Delgado, J., Ayala, D. y Simón, H. (2018): Sistema de tratamiento para mejorar la calidad de aguas de drenaje de pasivos ambientales mineros en la cuenca del río Puyango (Ecuador). *Geogaceta*, 64: 63-66.

Delgado, J., Barba-Brioso, C., Ayala, D., Boski, T., Torres, S., Calderón, E. y López, F. (2019): Remediation experiment of Ecuadorian acid mine drainage: geochemical models of dissolved species and secondary minerals saturation. *Environmental Science and Polluion. Research*, 26: 34854-34872.

Hudson Edwards, K.A, Schell, C., Macklin, M.G. (1999): Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest Spain. *Applied Geochemistry*, 14: 1015-1030.

Jambor, JL., Nordstrom, D.K. y Alpers, C.N. (2000): Metal-sulfate Salts from Sulfide Mineral Oxidation. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 40(1): 303-350.

Johnson, D. y Hallberg, K. (2005): Acid mine drainage remediation options: a review. *Science and The Total Environment*, 338: 3-14.

Rötting, T.S, Thomas, R.C., Ayora, C. y Carrera, J. (2008). Passive treatment of acid mine drainage with high metal concentrations using dispersed Alkaline Substrate. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1741-1745.

Depósitos espeleotémicos de aragonito y calcita flotante (*rafts*) en los lagos de la Cova des Ases (Mallorca): primeros resultados.

Aragonite and calcite floating rafts in Cova des Ases cave pools (Mallorca): preliminary results.

A. Entrena[1], J.J. Fornós[1] y L.F. Auqué[2]

1 Grup de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Crta Valldemossa, 7.5 km, Palma de Mallorca, 07122.
2 Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza. ana.entrena@uib.es

Palabras clave: aragonito flotante, calcita flotante, desgasificación, precipitación y sistema kárstico.

Resumen

Los depósitos espeleotémicos flotantes (*rafts*) estudiados en este trabajo se forman en la interfase aire-agua de los lagos salobres localizados en el interior de la Cova des Ases. Su precipitación tiene lugar bajo condiciones de sobresaturación en CO_2 y en carbonatos en este medio hipógeo de aguas en calma. Las primeras observaciones realizadas en los precipitados muestreados en el sistema kárstico indican que su formación comienza con el crecimiento de cristales romboédricos de calcita en la misma superficie del agua, seguido por el desarrollo subacuoso de cristales aciculares (ortorrómbicos) de aragonito con un crecimiento fibroso y radial desde múltiples puntos de nucleación ubicados en los cristales de calcita. El objetivo de este estudio es conocer la relación entre los factores que condicionan la precipitación de los carbonatos y la diferente mineralogía, morfología y fábrica cristalina observada en los *raft*. Para ello, se han muestreado las aguas para su análisis químico e isotópico, y los precipitados para su análisis y observación mediante SEM y difracción de rayos X. Este estudio constituye una contribución al conocimiento de la formación de los espeleotemas freáticos y pretende explicar la variabilidad mineralógica y morfológica de estos depósitos tan característicos de los sistemas kársticos de Mallorca y cuya evolución está influenciada por la historia del nivel del mar Mediterráneo (Dorale *et al.*, 2010).

Abstract

Floating rafts are speleothemic deposits developed at the air-water interface in cave brackish pools at Cova des Ases. Their precipitation is related with CO_2 outgassing and carbonates supersaturation in this hypogeal environment of calm waters. First observations in collected raft samples indicate that their formation begins with the precipitation of rhombohedral calcite crystals at the water surface, followed by the subaqueous development of acicular (orthorhombic) aragonite crystals with a fibrous and radial growth from multiple nucleation points located in the calcite crystals. The main goal of this study is to know the relationship between the factors governing the carbonate precipitation and the mineralogy, morphology and crystal fabrics of the rafts. For that purpose, waters have been sampled for chemical and isotopic analysis and raft samples have been taken for their analysis and observation by SEM and X-ray diffraction. This study is a contribution to the knowledge on the formation of phreatic speleothems and it seeks to explain the mineralogical and morphological variability during their growth. These phreatic speleothems are characteristics in Mallorca karstic systems and their evolution and development are linked and influenced by the history of the Mediterranean sea level (Dorale et al., 2010).

Referencias

Dorale, J.A., Onac, B.P., Fornós, J.J., Ginés, J., Ginés, A., Tuccimei, P. and Peate, D.W. (2010): Sea-level highstand 81,000 years ago in Mallorca. *Science* 327, 860-863.

Influencia del topacio en las condiciones de cristalización de las aplopegmatitas de Tres Arroyos (Badajoz, España).

Influence of topaz in crystallization conditions of the Tres Arroyos aplopegmatites (Badajoz, Spain).

I. Garate-Olave[1], E. Roda-Robles[1], P.P. Gil-Crespo[1], A. Pesquera[1], y J. Errandonea-Martin[1]

1 Dpto. de Geología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Campus de Bizkaia, Sarriena s/n, 48940 Leioa (Bizkaia).
idoia.garate@ehu.eus, encar.roda@ehu.eus, pedro.gil@ehu.eus, alfonso.pesquera@ehu.eus, jon.errandonea@ehu.eus

Palabras clave: Topacio, aplopegmatitas, Tres Arroyos, Zona Centro-Ibérica, Macizo Ibérico.

Resumen

En el campo aplopegmatítico de Tres Arroyos (Zona Centro-Ibérica; Macizo Ibérico) el topacio es relativamente abundante en todos los tipos de aplopegmatitas, en las que se distribuye homogéneamente (p. ej., Garate-Olave *et al.*, 2017). Este silicato de Al-F puede aparecer como cristales individuales (<4 mm) o como agregados intersticiales formados por cristales de menor tamaño. El contenido en F de los topacios analizados varía en el rango 9.72–10.73 % en peso, sin mostrar una correlación aparente con el tipo de aplopegmatita. Por el contrario, los contenidos en P presentan variaciones significativas, siempre con contenidos en el rango 0.00–1.00% de P_2O_5. Los valores más bajos de P se encuentran asociados a las aplopegmatitas estériles e intermedias, mientras que los valores más altos se corresponden con los cuerpos ricos en Li. Aunque el mecanismo de incorporación del P en el topacio no está del todo determinado, en el caso de Tres Arroyos la buena correlación entre Si y Al+P sugiere que dicho elemento pudo haber sido incorporado mediante la sustitución de tipo berlinita. En base a estudios experimentales, la presencia de topacio en estos cuerpos indica que el contenido de F en el fundido debió ser superior al 2.5–3.0 % (p. ej., Lukkari, 2007). Además, los altos contenidos de P en los topacios analizados sugieren una elevada disponibilidad de este elemento, en los fundidos que originaron las aplopegmatitas de Tres Arroyos.

Abstract

In the Tres Arroyos aplopegmatitic field (Central Iberian Zone; Iberian Massif) topaz is ubiquitous in all types of aplopegmatites, appearing with a relatively high abundance (e.g., Garate-Olave et al., 2017). This Al-F-silicate occurs as individual crystals (<4 mm) or as interstitial aggregates comprising smaller crystals. Fluorine contents in analyzed topaz are in the range of 9.72–10.73 wt. %, with no considerable correlation with the associated type of aplopegmatite. In contrast, significant variations have been found in P contents, with P_2O_5 values from 0.00 to 1.00 wt. %. The lowest P_2O_5 values are mainly found in topaz from the barren and intermediate aplopegmatites, whereas those crystals from the Li-rich bodies show the highest contents. Although the mechanism for the incorporation of P in the topaz structure is not completely understood, the good correlation between Si and Al+P suggests that P may have been incorporated via the berlinite-type substitution mechanism in Tres Arroyos. According to experimental studies, the occurrence of topaz indicates that F contents in the melt should exceed 2.5–3.0 wt. % (e.g., Lukkari, 2007). Furthermore, the observed high P contents in some of the topaz crystals attests for the high availability of this element in the melts that gave rise to the Tres Arroyos aplopegmatites.

Referencias

Garate-Olave, I., Müller, A., Roda-Robles, E., Gil-Crespo, P.P. y Pesquera, A. (2017). *Lithos*, doi: 10.1016/j.lithos.2017.06.009

Lukkari, S. (2007). *Magmatic evolution of topaz-bearing granite stocks within the Wiborg rapakivi granite batholith*. Tesis Doctoral, Univ. de Helsinki, 29 p.

Geología y suelos en la isla de Tabarca (Alicante).

Geology and soils in the island of Tabarca (Alicante).

L. García-España[1*], M.D. Soriano[2], V. Pons[1]

1 Departament de Biología Vegetal. Universitat de València, 46100, Burjassot (Valencia) (España); asoriano@prv.upv.es
2 Departament de Producció Vegetal. Universitat Politècnica de Valencia, 46021, Valencia (España)

Resumen: Se describen los materiales que afloran en la Isla de Tabarca localizada en la provincia de Alicante. Con una litología muy contrastada en la isla se encuentran desde rocas calizas, dolomías y yesos de la serie Bética con calcarenitas de edad Tortoniense de colores claros amarillentos separadas por una discordancia angular a rocas ofiticas ligeras de naturaleza subvolcánica. En el primer caso se desarrollan suelos de textura fina con algunas gravas, y perfil A, Bk, Ck con predominio de arcillas 1.1 y escaso contenido en arcillas expandibles y con minerales acompañantes como la calcita, cuarzo y feldespatos, mientras que sobre las ofitas encontramos Regosoles calcáreos, suelos de escaso desarrollo poco evolucionados con una mineralogía de arcillas formada por illita y clorita.

Palabras clave: suelos litorales, ofitas, calcarenitas.

Abstract: *The materials that appear on the island of Tabarca, located in the province of Alicante, are described. With a very contrasting lithology on the island are found from limestone rocks, dolomite rocks and plasters of the Bética series with tortonian old Tortonian calcarenites of yellowish light colors separated by an angular mismatch to light ophitic rocks of nature subvolcanic. In the first case, fine-textured soils with some gravels and profile A, Bk, Ck with predominance of 1.1 clays and scarce content in expandable clays and with accompanying minerals such as calcite, quartz and feldspars are developed. While on the ophites we find calcareous Regosoles, soils of little development an poorly evolved with a clay mineralogy formed by ilite and chlorite.*

Keywords: *littoral soils, ophites, calcarenites.*

INTRODUCCIÓN

La isla de Tabarca se encuentra entre las zonas de interés patrimonial en la Comunidad Valenciana. Entendiendo como zonas patrimoniales aquellos territorios o espacios que constituyen un conjunto patrimonial, diverso y complementario, integrado por bienes diacrónicos representativos de la evolución humana, que poseen un valor de uso y disfrute para la colectividad y, en su caso, valores paisajísticos y ambientales. Se trata de un espacio interesante desde el punto de vista natural y científico, lugar singular por su geología, suelos y especies animales y vegetales. Podemos encontrar suelos desarrollados tanto sobre materiales calcáreos provenientes de la meteorización de las calcarenitas, o suelos desarrollados sobre materiales ofíticos y escasa diferenciación edafológica, donde los minerales de la arcilla son heredados por los suelos naturales.

ÁREA DE ESTUDIO

La isla de Tabarca se sitúa en el mar Mediterráneo frente a las costas de Alicante y Santa Pola. Se trata de un pequeño archipiélago que se encuentra formado por una isla principal denominada Plana, de Santa Pola o Nueva Tabarca, de forma alargada de apenas 2km de longitud por 400 m de anchura con una extensión de 30 Ha. Posee un relieve plano, con un desnivel máximo de 15 m con respecto al nivel del mar. Con numerosos islotes como el de La Cantera, de La Galera y de La Nao, junto a numerosos escollos (Negre, Roig, Cap del moro, Sabata o Naveta, Arrecifes de los farallones y La Losa). Se localiza sobre territorios complejos desde el punto de vista geológico con la presencia de fallas cuyo desplazamiento ha favorecido la meteorización de las rocas. Los sedimentos de las playas presentan tamaños de grano muy variables, desde tamaño arena a tamaño grava en función de su recorrido y meteorización. Las playas de la isla están constituidas en su mayor parte por una mezcla de arena y grava. Se forman por la acumulación de sedimentos en un lugar protegido de la costa, en un ambiente tranquilo, fueron el oleaje y las corrientes marinas, las que transportaron y acumularon el sedimento desde hace 250 millones de años, desde el Triásico al Pleistoceno (Pérez-Cuevas, 1979; Sanjaume, 1980).

La vegetación varía en función de la zona y los materiales, en los bancales abandonados la vegetación se compone de *Marrubium vulgare L, Amaranthus caudatus L.* y *Spergularia segetalis L.,* En la zona central de la isla se encuentran *Chamaerops humilis* y *Ramnus lycioides L.*; mientras que en los acantilados el hinojo marino, *Limonium sinuatum L.* se desarrolla en los pequeños acantilados salpicados por el oleaje, y en playas, está formada principalmente por la *Glaucium flavum C.* y también abundancia de líquenes en la zona norte. En la zona marítima es importante la pradera de *Posidonia oceánica*, (Rivas Martinez, 1987) (Fig. 1).

El clima es mediterráneo seco, con una temperatura media anual de 17º C, máximas de 35º C en Agosto y mínimas de 5º C en Enero. Las precipitaciones son irregulares e inferiores a los 300 mm/año. Los vientos dominantes en primavera-verano son el Levante y el Lebeche; mientras que durante el-invierno predominan los vientos del primer y cuarto cuadrante (Norte, Maestral y Poniente) con una velocidad media de 20 Km/h aunque existen días ventosos con velocidades superiores a las 150 Km/h.



FIGURA 1. A) Vegetación de en la isla de Tabarca

METODOLOGÍA

Se describen dos perfiles de suelo tipo F.A.O. (1998), desarrollados sobre los materiales mencionados, estudiando la estabilidad estructural, pH y CE, ESP, CIC composición granulométrica y clase textural de los distintos horizontes (método de la pipeta de Robinson, capacidad de retención de agua, (MAPA, 1988), y mineralogía de la fracción arcilla por difracción de rayos-X. La estimación semicuantitativa relativa se realiza teniendo en cuenta los poderes reflectantes indicados por Martín-Pozas *et al.*, (1969), difractómetro, Diano, XRD 8000.

RESULTADOS

En la isla afloran también rocas calizas, dolomías y yesos de la serie Bética. En el norte de la isla de Tabarca en el islote de La Cantera se observan calcarenitas de edad Tortoniense (aproximadamente 8 millones de años que contienen fósiles de colores claros amarillento separadas por una discordancia angular (IGME; 1964). Sobre los materiales rocosos presentes en la isla, como las ofitas, generan fuertes pendientes que dan lugar a taludes verticales que, a menudo, se ven afectados por fenómenos gravitacionales. Las calcarenitas poco cementadas, se componen de arenas, conglomerados, y arcillas caoliníticas y se encuentran erosionados por alveolización, descamación y arenización (Fig. 2) originando bancos de calcarenitas erosionadas por la fuerza del mar en el litoral de la isla (Flügel, 2010).

Originan suelos de textura fina con algunas gravas, y perfil A, Bk, Ck con predominio de arcillas 1.1 y escaso contenido en arcillas expandibles y con minerales acompañantes como la calcita, cuarzo y feldespatos.

Las ofitas son rocas ligeras de naturaleza subvolcánica procedentes de magmas que cristalizaron a escasa profundidad. Los afloramientos de esta zona de la isla presentan rocas: ofitas de color verde que originan una banda la falla de la Virgen.



FIGURA 2. A) Calcarenitas y B) Calcisoles háplicos sobre materiales del Mioceno

Su mineralogía comprende anfíbol, clorita, granate, calcita, hematites, piroxeno y plagioclasa, con feldespato potásico, olivino, cuarzo o feldespatoides de color oscuro, verdosos, cuyas superficies alteradas con tonalidades rojizas por los óxidos de hierro, como hematite liberado al descomponerse los minerales ferromagnesianos) (Fig. 2) (Puga y Ruiz Cruz, 1982). Sobre estos materiales se desarrollan Regosoles calcáreos, suelos dew escaso desarrollo poco evolucionados formados por materiales poco consolidados cuya escasa evolución se detecta por la presencia de minerales heredados.

Muestran pequeño espesor, con estructuras favorables y complejo de cambio saturados en bases, en el complejo de cambio, presentan una dominancia de caolinita y clorita en su fracción arcilla con abundante presencia de cuarzo. Como minerales heredados se encuentran principalmente: cuarzo, ortoclasa, plagioclasas, hematites.



FIGURA 3. Materiales ofíticos en la isla de Tabarca.

Son suelos estables poco con escaso contenido en sales y contenido equilibrado de nutrientes. La abundancia de partículas finas (limos y arcillas) favorece la formación de un verdadero complejo de cambio iónico.

Los minerales de la arcilla son illita y clorita mayoritariamente, con escaso contenido en caolinita, y abundancia de interestratificados formados por la combinación de estos minerales (Fig. 3).

Uno de los principales problemas de la isla es la inestabilidad de los materiales. Los oleajes favorecen la destrucción

de los cantiles que se vuelcan al mar pues genera erosión en las bases y descalzan las laderas hasta desestabilizarlas; además de la erosión producida por la infiltración del agua que desestabilizan las rocas meteorizando las matrices rocosas.

Perfil	I	K	C
Calcisol	+++	+++	-
Regosol	+++	+	++

TABLA 1. Composición mineralógica de la fracción arcilla de algunos perfiles tipo I Illita, K Caolinita, C Clorita.

CONCLUSIONES

Las litologías contrastadas originan los diferentes tipos de suelos. Poco evolucionados en el caso de los Regosoles y con desarrollo de horizontes Bk y mayor evolución en Calcisoles, con minerales de la arcilla dominantes del tipo illita y caolinita y la presencia de clorita en los Regosoles sobre materiales ofíticos.

REFERENCIAS

Brindley, G.W. (1980). Quantitative X-ray mineral analysis of clays. In: Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. (Brindley, G.W., Brown, G. eds.). *Mineralogical Society Monograph*, vol. 5, London, 411-438.

F.A.O. (1998). World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Report*. 84. ISSS-AISS-IBG. ISRIC, 88 p.

Flügel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks*, 2nd ed. Springer-Verlag Berlin, Germany. 976 pp.

IGME. (1964). *Geología de la hoja de Alicante 1:50.000*. Madrid.

MAPA. (1988). *Métodos Oficiales de Análisis*. Vol. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Martin-Pozas, J.M., Martin-Vivaldi, J.L., & Rodriguez-Gallego, M. (1969). *Análisis cuantitativo de los filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X*. Real Sociedad Española Serie B.L.V.: 109-112.

Pérez-Cueva, A. (1979). Karst marino en el sector litoral Alacant-Torrevieja *VI Coloquio de Geografía Palma de Mallorca*, págs. 81-88

Puga, M.D., Ruiz Cruz, R, (1982). Datos mineralógicos relativos a las ofitas triásicas del sector central de la Cordillera Subbética y a los sedimentos arcillosos que engloban. *Boletín Geológico y Minero*, XCIII-II. 172-186.

Rivas Martinez, G. (1987). Gypsum in arid soils. Morphology and génesis. *Soil Sc* Division ACSAD: 175-185.

Sanjaume, E. (1980). El cordón litoral de la Albufera de Valencia. Estudio sedimentológico. *Cuadernos de Geografía*, 14:61-96.

Caracterización mineralógica del Caolín de Golpejas (Salamanca).

Mineralogical characterization of the granite of Golpejas (Salamanca).

García-Vicente,A.[1], Lorenzo,A.[1] , Morales,J.[1], García-Romero,E.[2-3] y Suárez,M.[1].

1 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, S/N,37008 Salamanca.
2 Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Avda. José Antonio Novais. 28014 Madrid.
3 Instituto de Geociencias (IGEO). (CSIC-UCM), 28040 Madrid.

Resumen: En el presente trabajo se propone una sistemática de caracterización mineralógica a través de la aplicación de la espectrorradiometría de campo VNIR-SWIR (visible e infrarrojo cercano y de onda corta) para el estudio de caolines. La caracterización mineralógica de base ha sido la Difracción de Rayos X, de acuerdo con la rutina clásica de los estudios de minerales arcillosos. Como caso de estudio, se ha seleccionado el yacimiento de estaño de Golpejas (Salamanca). El yacimiento estannífero de Golpejas está constituido por varias láminas de un microgranito albítico que da lugar a estructuras más o menos circulares, cortando a los metasedimentos del Complejo Esquisto-Grauváquico en la Zona Centro-Ibérica. El emplazamiento tuvo lugar durante la fase extensional de la Orogenia Varisca y los procesos de greisenización y caolinitización hidrotermal aumentaron la concentración de Sn,Ta,Nb, y dieron lugar a la formación de la caolininita por alteración de los feldespatos primarios. Puesto que los minerales del grupo de la caolinita (caolinita,dickita y nacrita) presentan rasgos característicos y diferenciadores en el intervalo de longitudes de onda con la técnica propuesta (VNIR-SWIR), los espectros obtenidos junto con las técnicas clásicas de estudio de minerales arcillosos permiten la caracterización mineralógica del caolín de Golpejas (Salamanca).

Palabras clave: VNIR-SWIR, Difracción Rayos-X, Leucogranito albítico, caolinita, Golpejas.

Abstract: *In the present work, we propose a systematics of mineralogical characterization through field spectrometry VNIR-SWIR (visible, near-infrared and short-wave infrared) as well as the techniques most used for the identification and semi-quantification of special clays. The basis of the mineralogical study has been X-ray diffraction, according to the classical routine of studies on clay minerals. As a case of study, the tin deposit of Golpejas (Salamanca) has been selected. The Golpejas tin deposit consists of several sheets of albite microgranite, more or less circular in shape, that intersect the metasediments of the schist-graywacke complex in the Iberian Zone. The emplazament took place during the extensional phase of Variscan Orogeny and the processes of greaseization and hydrothermal kaolinitization increased the concentration of Sn, Nb, Ta as well as kaolin. The albite leucogranite carrying the mineralization show a strong kaolinitization that occurred during the final phase of the mineralizing stage. As kaolinite group minerals (kaolinite, dickite and nacrite) have characteristic and differentiating features in the range of wavelenght studied with the proposed technique (VNIR-SWIR), the spectra obtained together with the classic clay mineral study techniques, allow us the mineralogical characterization of the Golpejas kaolin.*

Keywords: *VNIR-SWIR, X-Ray Diffraction, albite leucogranite, kaolinite, Golpejas.*

INTRODUCCIÓN

El caolín se define como una roca que presenta una elevada proporción de minerales del grupo de la caolinita (caolinita y sus polimorfos dickita y nacrita). Frecuentemente, además de los caolines, se explotan otras rocas ricas en caolinita como arcosas o arenas caoliníferas, granitos o gneises caolinitizados que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo de la caolinita. El caolín además de poseer un contenido variable de minerales del grupo de la caolinita suele tener cuarzo, feldespatos y micas como las principales impurezas.

Los caolines pertenecen al grupo de las arcillas especiales, constituidas fundamentalmente por un solo tipo de mineral de la arcilla y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Los usos del caolín son muy variados, en industrias tan dispares como la cerámica, el papel, las cargas y productos agrícolas, farmacéuticos o cosméticos.

Desde el punto de vista mineralógico, los minerales del grupo del grupo de la caolinita son filosilicatos 1:1 en los que capas tetraédricas alternan con capas octaédricas de naturaleza gibsítica, dando lugar a láminas neutras que se unen por puentes de H.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento de Golpejas se encuentra en la Zona Centro-Ibérica del Macizo Ibérico, según Juliver *et al.* (1972) y de forma más concreta en las inmediaciones del borde SW de a Cuenca terciaria del Duero. El yacimiento está constituido por la Mina Bellita

y Mina Tita, cuyas labores mineras se desarrollaron en dos grandes cortas situadas a 2 km al NO de la localidad de Golpejas (Salamanca).

El yacimiento estannífero de Golpejas está constituido por varias láminas de un leucogranito albítico que da lugar a estructuras más o menos circulares atravesando los materiales del Complejo Esquisto Grauváquico y las series del Ordovícico-Silúrico situadas al oeste de la provincia de Salamanca. El leucogranito (Fig.1) se originó en la etapa final de cristalización de un magma diferenciado intruyendo en niveles elevados de la corteza. Su formación sería consecuencia de la existencia de una cúpula granítica en profundidad, como afirmaron Arribas *et al.*,(1981).



FIGURA 1. Aspecto de detalle del leucogranito albítico de Golpejas.

Posteriormente al emplazamiento del granito, éste sufrió procesos de greisenización y caolinitización hidrotermal que contribuyeron, respectivamente, a aumentar la concentración de los minerales de Sn, Nb y Ta, así como el grado de alteración de las rocas encajantes. Arribas *et al.*,(1981) denominaron "Granito albítico de Golpejas" al conjunto de leucogranitos albíticos existentes en la zona del yacimiento. La lámina granítica que aflora al Norte del yacimiento está compuesta fundamentalmente por plagioclasa albítica, moscovita y cuarzo. El feldespato potásico, en forma de microclina, aparece en pequeña cantidad y está caolinitizado.

El leucogranito albítico que alberga la mineralización de estaño, niobio y tántalo muestra una fuerte caolinitización debido a la acción de fluidos hidrotermales y de la meteorización que han transformado los feldespatos en caolinita. Así pues, los leucogranitos albíticos portadores de la mineralización muestran una fuerte caolinitización que se produjo durante la fase final de la etapa mineralizadora, pudiendo incrementarse debido a la meteorización. La acción combinada de estos dos procesos ha dado lugar a una intensa alteración que llega a alcanzar más de 50 m de profundidad, y que afecta tanto a las rocas ígneas como a las metamórficas encajantes (Arribas *et al.*,1981).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras recopiladas con nomenclatura GOL1, GOL2 y GOL3 se tomaron en Mina Bellita (Fig.2) y una última muestra codificada como GOL4 se recogió en la balsa de lodos (escombrera).



FIGURA 2. Muestreo sobre la lámina subhorizontal del leucogranito albítico. Muestra GOL2 en la corta de Mina Bellita, situada al N de la localidad de Golpejas.

El estudio de la composición mineralógica se realizó mediante Difracción de Rayos-X, utilizando un difractómetro de polvo cristalino (BRUKER D8 ADVANCE ECO) con configuración theta-2theta. Se obtuvieron difractogramas de roca total desorientada, sobre la roca pulverizada obtenida por molienda manual de las muestras en mortero de ágata, y de la fracción menor de 2 µm siguiendo los tratamientos habituales en el estudio de los minerales arcillosos: agregado orientado, solvatado con etilén-glicol y calentado a 550ºC durante 2h. La comparación entre los difractogramas del agregado orientados, glicolado y el tratamiento térmico a 550ºC permite la identificación de fases minerales.

ESPECTROSCOPÍA VNIR-SWIR

La espectroscopía VNIR-SWIR se aplica a la caracterización mineral ya que las absorciones de diferentes longitudes de onda en este intervalo son absorbidas por los minerales en relación con vibración de los enlaces cristalinos o de transiciones electrónicas, siendo los distintos rasgos de absorción discriminatorios de minerales o grupos de minerales. El análisis por espectroscopía se ha realizado en el infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, es decir en el rango de longitudes de onda comprendidas entre 400nm y 2400nm. Se ha utilizado un equipo ASD Field Spec 4 que tiene una resolución espectral de 1nm, utilizando Spectralon© como blanco de referencia. Previamente a la realización del análisis mediante la técnica de espectroscopía VNIR-SWIR, se debe realizar una preparación de las cuatro muestras tomadas en campo. La fracción pulverizada de las muestras se introduce en un portamuestras circular de 2cm de diámetro, se acerca a la sonda de contacto y se registra el espectro generado (promedio de 20 medidas) en un ordenador (Fig.3).

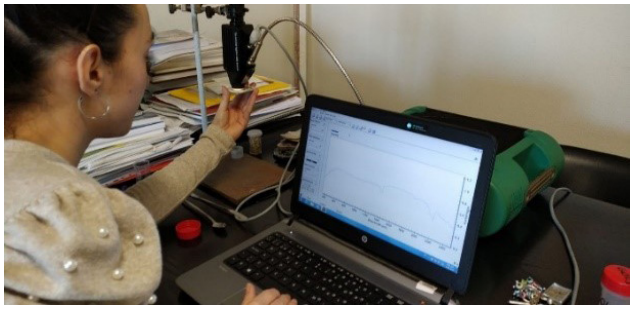


FIGURA 3. Medida sobre roca pulverizada con el espectrorradiómetro de campo en el laboratorio utilizando una sonda de contacto.

RESULTADOS

Mediante los datos obtenidos en difracción de Rayos-X se ha realizado la identificación de fases cristalinas en los difractogramas. De forma general, los minerales mayoritarios son comunes a todas las muestras, excepto para la muestra GOL3, y son: caolinita que aparece con cantidades variables de cuarzo, mica, feldespatos y ocasionalmente, en la muestra GOL1, esmectita. Si bien las proporciones de estos minerales varían en las cuatro muestras estudiadas, la muestra GOL1 es la más rica en caolinita y también presenta esmectitas como mineral secundario. La cantidad de feldespatos en estas muestras es lógicamente menor que en el resto de las muestras y corresponderían a una zona donde el leucogranito estaba más alterado y caolinitizado. La muestra GOL3 es muy diferente al resto ya que presenta una pequeña cantidad de caolinita y de cuarzo y se asociaría con una zona de granito albitizado *fresco*, es decir, poco o nada caolinitizado, como ya se pudo ver en el trabajo de campo (Fig.4) ya que al desplazarse sobre una lámina de granito subhorizontal, la alteración y caolinitización del leucogranito albítico disminuye.



FIGURA 4. Muestra GOL3 en el leucogranito albítico poco alterado.

Todas las muestras presentan la reflexión 001 correspondiente a minerales del grupo de la caolinita en 7.18 Å (Fig.5) y el valor de la reflexión 060 de los filosilicatos aparece a 1.49 Å, característico de minerales dioctaédricos. La posición de la reflexión basal, correspondiente a un espaciado ligeramente superior al de la caolinita podría indicar la presencia de uno de los politipos de caolinita, más concretamente, de nacrita.

La separación de la fracción menor de 2 mm y el estudio de los correspondientes difractogramas antes y después de los tratamientos permite identificar también la presencia de esmectitas en las muestras GOL2 y GOL4.

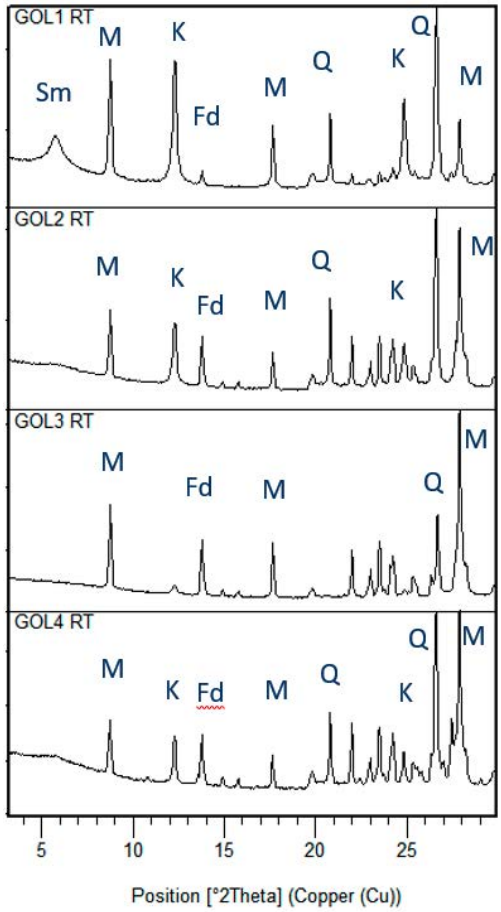


FIGURA 5. Difractogramas de roca total de las muestras procedentes de Golpejas. Sm: esmectita, M: mica, K: caolinita, Q: cuarzo y Fd: feldespatos.

Los espectros obtenidos se analizaron con el software informático ViewSpecPro donde son visualizados en función de la reflectancia o de la segunda derivada de dicha variable, que permite la normalización de las curvas y la identificación de rasgos discriminatorios de pequeña intensidad como son hombreras o pequeñas inflexiones en las curvas.

La identificación mineralógica ha podido ser llevada a cabo teniendo en cuenta los rasgos de absorción localizados en los espectros y comprendidos entre 1150 nm y 2400 nm. Los minerales principales, caolinita y sus politipos, tienen rasgos de absorción característicos localizados en longitudes de onda a 1413 nm, 1905 nm, 2202 nm, 2255 nm y 2295 nm (Hunt y Salisbury,1970). Los rasgos de absorción localizados a 1476 nm y 2095 nm se correlacionan positivamente con la caolinita (García-Vicente *et al.* 2019). La esmectita, presente en contenidos variables en tres de las

muestras, puede presentar rasgos de absorción localizados en 1346 nm, 1351 nm, 1387 nm y 1476 nm. El rasgo de absorción a 1470 nm se correlaciona con procesos vibracionales del agua, así como el rasgo de absorción localizado en 1413 nm se corresponde con las vibraciones del grupo hidroxilo. Los tectosilicatos (cuarzo y feldespatos) que aparecen en estas rocas no tienen respuesta espectral en el intervalo de longitudes de onda seleccionado.

Como puede observarse los espectros sin derivar (Fig.6) están claramente marcados por los modos de vibración de los grupos OH- de la caolinita, esmectitas y micas y los del agua de las esmectitas, presentando las tres típicas bandas de absorción de los filosilicatos centradas en 1400 nm, 1900 nm y 2200 nm.

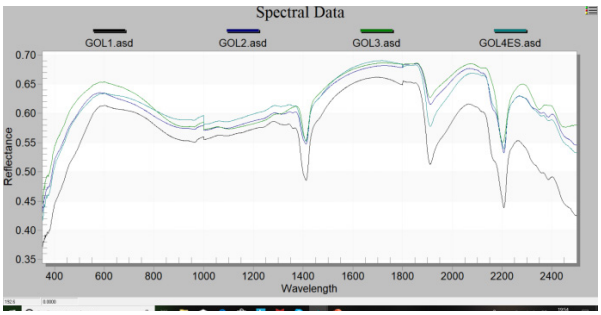


FIGURA 6. Espectros de reflectancia de las muestras GOL1, GOL2, GOL3 Y GOL4.

Gracias a la segunda derivada de la curva de la reflectancia (Fig.7) se ha podido identificar el rasgo de absorción localizado en 1450 nm como una pequeña hombrera que correspondería a esmectita, observando en los espectros la influencia esmectítica presente en algunas de las muestras (Fig.8). Por otra parte, la muestra GOL3 presenta algunas diferencias derivadas de la mayor proporción de mica y de la escasa cantidad de caolinita presente. En el espectro de esta muestra se observa la ausencia de la hombrera a ~1900 nm, característica de la caolinita, así como la diferente posición e intensidad de algunos de los picos de la segunda derivada de la curva.

A pesar de la presencia de caolinita, los espectros no muestran el rasgo de absorción doble en la zona de 1490 nm característico de este mineral. Ello puede ser debido a la presencia de otro polimorfo como ya se ha dicho, si bien son precisos estudios de detalle para corroborarlo.

Así pues, los datos de intensidad relativa obtenidos a partir de la segunda derivada permiten asociar los rasgos de absorción con el contenido en los distintos filosilicatos de las muestras. La respuesta espectral del caolín del yacimiento de Golpejas está marcada por las impurezas de los otros filosilicatos presentes. Puesto que esmectitas y micas también tienen rasgos de absorción en las mismas regiones del espectro, el rasgo discriminante de la presencia de minerales del grupo de la caolinita en estas muestras el situado a 2160 nm.

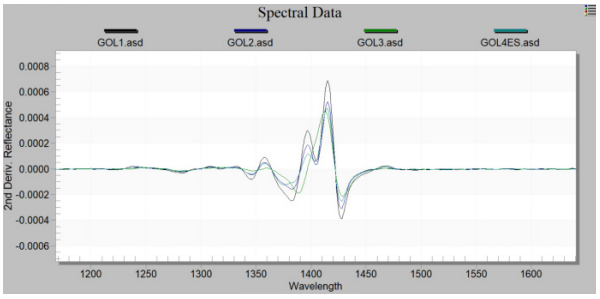


FIGURA 7. Segunda derivada de las muestras GOL1, GOL2, GOL3 Y GOL4, intervalo entre 1200nm y 1700nm.

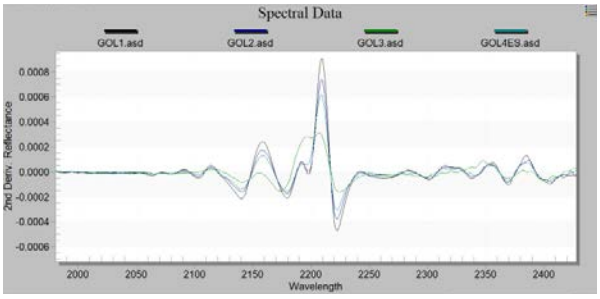


FIGURA 8. Segunda derivada de las muestras GOL1, GOL2, GOL3 Y GOL4, intervalo entre 2000nm y 2400nm.

CONCLUSIONES

El análisis de los espectros de las muestras de Golpejas y su comparación con difracción de rayos X permite afirmar que el contenido en filosilicatos está directamente relacionado con la respuesta espectral del granito caolinitizado.

Tanto la caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X como la espectroscopía VNIR- SWIR indican la posible existencia de diferentes politipos de caolinita. La espectroscopía VNIR-SWIR ha resultado ser un método válido para el análisis de los filosilicatos en los materiales estudiados, con gran ventaja sobre otros por la rápida adquisición y tratamiento de datos en laboratorio.

REFERENCIAS

Arribas, A., Gonzalo, F., Iglesias, M. (1981): *Génesis de una mineralización asociada a una cúpula granítica: el yacimiento de estaño de Golpejas (Salamanca).*

García-Vicente,A.,Lorenzo,A.,Morales,J.,García-Meléndez,E.,García-Romero,E.,Suárez,M. (2019): Estudio mineralógico mediante espectrorradiometría de campo de arcillas especiales de Tamame de Sayago (Zamora). *Libro de resúmenes Jornada Científica de la Sociedad Española de Arcillas* 2019,58p.

Hunt, G.R. y Salisbury, J.W. (1970): Visible and Near Infrared Spectra of Mineral and Rocks: I. Silicate Minerals. *Modern Geology*, 1, 283-300.

Juliver, M., Fontbote, J.M., Ribeiro. A. y Conde, L. (1972): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:100.000. IGME, Memoria explicativa, 113p.

Monacita en suelos formados sobre pizarras del Ordovícico Centroibérico: ensayo de movilidad de sus componentes.

Monazite in sediments and soils over gray shales of Ordovician age from the Spanish Centro Iberian Zone: assessment of the mobility of Rare Earth Elements.

P. Higueras[1], R. Jiménez-Ballesta[2], J.M. Esbrí[1], R. García[2], E.M. García-Noguero[1], C. García-Noguero[1], R. Álvarez[3], J.A. Campos-Gallego[1] y P.M. García-Zamorano[1]

1 Instituto de Geología Aplicada, Universidad de Castilla-La Mancha. pablo.higueras@uclm.es
2 Dpto. de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.
3 Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, Universidad de Oviedo.

Resumen: En el presente trabajo se aborda el estudio de la distribución y movilidad de elementos del grupo de las Tierras Raras (REE) en un suelo rojo mediterráneo desarrollado en una zona en la que se localizan concentraciones de monacita (fosfato de estos elementos y una de sus dos principales menas) de interés minero. Estas concentraciones tendrían su origen en pizarras grises del Ordovícico de la Zona Centro Ibérica, y están constituidas por nódulos milimétricos de monacita gris concentrados mecánicamente en suelos, aluviones y coluviones formados sobre dichas pizarras o en su entorno próximo. La monacita estudiada presenta concentraciones bajas en elementos radioactivos habituales en este mineral (Uranio y Torio). La movilidad de los elementos contenidos se ha analizado sobre muestras de un perfil de suelo de un metro de espesor, y se ha determinado mediante extracción selectiva usando como agente extractante acetato amónico en medio ácido (pH=4,75). Los resultados muestran que en el perfil estudiado existe una muy elevada concentración de REE en los 30-40 cm más superficiales, lo que pone en evidencia la concentración en este nivel de los mencionados nódulos de monacita; desde el punto de vista de la movilidad de estos elementos, se observa una mayor movilidad relativa de las tierras raras pesadas y el U frente a las tierras raras ligeras y el Th.

Palabras clave: monacita gris, tierras raras, movilidad, extracción selectiva, Campo de Montiel.

Abstract: *The present work provides data on the mobility of elements of the Rare Earths group (REE) in a red Mediterranean soil developed in the area where concentrations of monacite (phosphate of these elements and one of its two main ores) are located. These concentrations would have their origin in gray slates of Ordovician age from the Central Iberian Zone, Iberian Massif. They are constituted by millimeter-sized nodules of gray monacite, mechanically concentrated in soils, alluviums and colluviums formed on the gray slates or in their immediate surroundings. The studied monazite is poor in radioactive elements commonly present in this mineral (Uranium and Thorium),. The mobility of the contained elements has been analyzed on samples of a one-meter thick soil profile, and it has been determined by selective extraction using ammonium acetate in acid condition (pH = 4.75) as extracting agent. Concentrations of REE appear much higher in the most surficial 30-40 cm of the studied soil profile, unveiling a concentration of the mentioned nodules in this sector of the soil; we have also detected a greater relative mobility of heavy rare earths and U versus light rare earths and Th.*

Keywords: *gray monazite, rare earth elements, assessment of mobility, selective extraction, Campo de Montiel.*

INTRODUCCION

La monacita es un mineral constituido por el fosfato de elementos lantánidos ((Ce,La,Nd,Th)(PO4,SiO4)); estos elementos lantánidos son también conocidos genéricamente como Tierras Raras (REE, por su denominación anglosajona de *Rare Earth Elements*), denominación que incluye también al Ytrio (Y) y al Escandio (Sc). La monacita suele incluir, además, proporciones variables de Uranio (U) y Th (Th), elementos que, por ser radiactivos, confieren al mineral una cierta radioactividad que puede suponer un riesgo en su explotación, tratamiento, y manipulación en general. Monacita y bastnasita (el carbonato de REE), son las principales, y casi únicas, menas de estos elementos.

Los elementos del grupo REE o lantánidos constituyen, junto con los actínidos, una singularidad química, al ser elementos que no tienen un encaje directo en la tabla periódica, ya que su configuración atómica y electrónica hacen que se agrupen dentro de dos "casillas" de ésta. Por otra parte, se trata de elementos con importantes aplicaciones en la industria moderna. Su importancia industrial y el riesgo de suministro de estos elementos para Europa han supuesto que la Unión Europea los haya declarado materias primas críticas (*Critical Raw Materials*, EU, 2017).

La monacita que se explota a nivel mundial procede mayoritariamente de China, y en concreto el mayor yacimiento es el de Bayan Obo, formado como consecuencia del metasomatismo de carbonatitas en ambiente ofiolítico (Ling *et al.*, 2013, entre otras referencias). Este yacimiento corresponde a una de las dos tipologías características de los yacimientos de monacita: los de monacita amarilla, de alta temperatura, de origen hidrotermal, en los que el mineral presenta altas concentraciones de U y Th radioactivos, y encajados en rocas diversas, lo que condiciona su minería por métodos convencionales. El otro tipo de yacimientos de monacita corresponde a los de monacita gris; en este caso, se trata de acumulaciones de monacita en granos milimétricos en materiales blandos: suelos y/o materiales fluviales relacionados directamente con pizarras grises del Ordovícico (Donnot *et al.*, 1973; Cooper *et al.*, 1983; Read *et al.*, 1987; Burnotte *et al.*, 1989), e interpretados como acumulaciones de tipo placer o directamente en los suelos formados a partir de estas rocas, de nódulos primarios presentes en tales pizarras, sin que estos nódulos primarios tengan un origen claro. Estas monacitas grises son mucho más pobres en U y Th radioactivo que las amarillas, y su explotación se puede realizar por concentración gravimétrica.

Las concentraciones de monacita del área de Campo de Montiel, en el SE de la Provincia de Ciudad Real, corresponden a la tipología de monacitas grises, y aparecen en suelos, aluviones y coluviones a lo largo de un valle fluvial que ocupa el núcleo de una estructura anticlinal flanqueada por Cuarcita Armoricana. Se concentran, por lo general, en los primeros 40-50 cm a partir de la superficie, llegando con concentraciones interesantes hasta 2-3 m de profundidad.

De acuerdo con los resultados de diversas campañas de exploración realizadas en la zona desde los años 80, la explotación de los recursos de este mineral sería viable en un área de unas 300 Ha, a lo largo del valle antes mencionado. Sin embargo, al plantearse su explotación minera, mediante minería de transferencia centrada en la excavación del horizonte productivo (entre 0,5 y 3 m, como se ha indicado), y con rehabilitación inmediata de la zona afectada, se produjo una gran contestación social, basada en cuestiones de repercusión ecológica de las labores. Entre las razones esgrimidas se mencionaban la radioactividad del mineral, y la posibilidad de formación de lixiviados contaminantes.

La baja radioactividad del mineral ha quedado probada, tanto por su análisis geoquímico, que confirma los bajos contenidos en U y Th de esta monacita gris, como por los análisis de radioactividad del todo uno y de los concentrados, realizados tanto por el Departamento de Física de la Universidad de Sevilla (García-Tenorio *et al.*, 2018) como por el SEPRONA.

En la presente comunicación aportamos los datos de un estudio de movilidad de los elementos implicados en muestras de un perfil representativo de suelos con contenidos en monacita relativamente altos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos aquí aportados corresponden a muestras tomadas a lo largo de un perfil de morfología Ap-BtC-R de aproximadamente 1,10 m de profundidad, que fue excavado mediante pala retroexcavadora dentro del área de interés minero. Se realizó la caracterización edafológica del perfil, y se tomaron un total de siete muestras, a las profundidades indicadas en las Tablas 2, y 3.

Las muestras se prepararon, incluyendo su molienda en mortero de ágata, y se procesaron para su análisis: las muestras para determinar contenidos totales se digirieron mediante microondas y se analizaron mediante ICP-Ms. Las muestras también se sometieron a la acción de un agente extractante (acetato amónico) que se consideró especialmente adecuado debido a la afinidad de las tierras raras por los ácidos carboxílicos (Alguacil y Rodríguez, 1997). Los extractos obtenidos también se analizaron mediante la misma técnica (ICP-Ms) que las muestras digeridas. La composición mineralógica se determinó mediante difracción de rayos X.

Adicionalmente, nódulos de monacita procedentes de las campañas de investigación y donados por la empresa Quantum Minería se analizan mediante microsonda electrónica CAMECA SX-100.

RESULTADOS

El suelo estudiado corresponde a un suelo rojo mediterráneo bien desarrollado, caracterizado por un perfil completo y profundo para la región (Ap-Bt-C-R), mostrando el horizonte Bt acumulación de arcilla iluvial, y con desarrollo de una característica matriz roja de rubefacción. Su mineralogía incluye cuarzo mayoritario, al que acompaña caolinita como principal filosilicato, con indicios de oxihidróxidos de Fe cristalino y amorfos que confieren al suelo su característico color rojo.

La Tabla 1 muestra una síntesis de los resultados del análisis de contenidos totales en monacita obtenidos mediante microsonda. Se trata de monacita de composición similar a las de tipología gris, con altos contenidos en sílice (consecuencia de la presencia de pequeñas inclusiones de cuarzo, según lo observado en microsonda electrónica), y, como era de esperar en este tipo de monacita, con contenidos en U y Th mucho más bajos que los niveles propios de otras monacitas. Considerando los valores obtenidos en el perfil del suelo (Tabla 2), observamos que las mayores concentraciones se encuentran en los primeros 30 cm., descendiendo drásticamente por debajo (Fig. 1); considerando estos valores en relación con los valores promedio de estos elementos en Castilla-La Mancha (Jiménez Ballesta *et al.*, 2010), se observa que elementos como La, Ce y Sm están considerablemente enriquecidos en todo el perfil del suelo, mientras que del resto de los que se tienen datos regionales (Y y Th) no lo están tanto; y en particular las concentraciones de U en las muestras del perfil son sistemáticamente inferiores al promedio de la región. Observando la Tabla 1 podemos entender que, efectivamente, las concentraciones de estos tres elementos en las monacitas del Campo de Montiel son tan bajas

que no pueden explicar la variabilidad de concentraciones medidas en el perfil. Otra observación que se desprende de estos datos es que resulta evidente que en los suelos de Castilla-La Mancha (como en los de cualquier otra parte del mundo), hay contenidos en REEs que están presentes en los suelos con concentraciones variables, no dependientes de la presencia en los mismos de monacita detrítica, es decir, que estarán formando parte de fases minerales diversas, incluyendo la posibilidad de que exista monacita entre ellos.

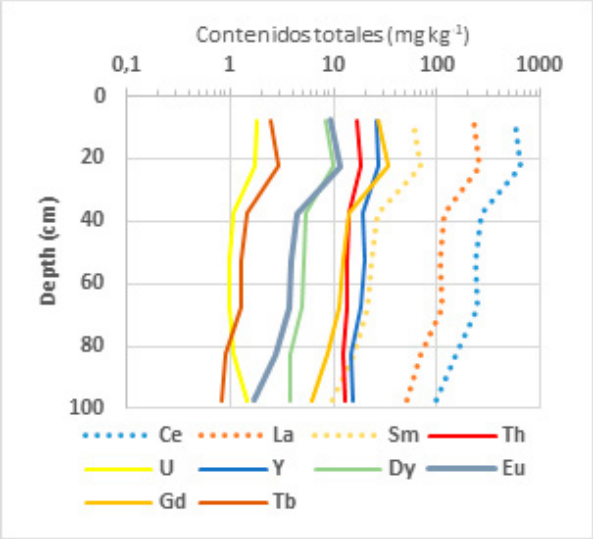


FIGURA 1. Variación de las concentraciones elementales totales a lo largo del perfil del suelo.

En cuanto a la movilidad de los elementos de interés, se muestra en la Tabla 3; en la misma podemos observar que el orden de movilidad sería: Y<U<Dy<Tb<Gd<Eu<Sm<La<Th<Ce. En el perfil del suelo (Fig. 2) se aprecia que los elementos menos móviles (Ce y Th) presentan una movilidad prácticamente constante a lo largo del perfil; el resto de los elementos presentan mayor movilidad en la zona profunda del perfil, donde sus concentraciones totales son más bajas. El uranio, por su parte, muestra un comportamiento más irregular, con movilidad relativamente alta tanto en la parte más superficial como en la más profunda del perfil. La movilidad de REE en suelos parece depender del material original, así como de los procesos edáficos (geoquímicos y biológicos). Es habitual que los REE permanezcan inmovilizados incluso después de la erosión de los minerales primarios, al incorporarse a minerales secundarios (Ramos *et al.*, 2016, y referencias en el mismo). De acuerdo con ello, nuestros datos se pueden interpretar en el sentido de que la monacita detrítica acumulada preferencialmente en los horizontes más superficiales del suelo se comporta como un mineral altamente resistente a la meteorización; es posible que la movilidad de los elementos estudiados no se relacione, por tanto, con la presencia de esta monacita detrítica, sino con la movilidad de estos elementos que puedan existir formado parte de otras fases minerales en los suelos. El caso del uranio, con movilidades altas tanto en la parte alta del perfil como en la más profunda, está probablemente relacionado con su comportamiento geoquímico singular: en el suelo superficial su movilidad sería alta debido a que este elemento lo es particularmente en medio oxidante y la movilidad en la zona profunda se relacionaría, como la de los otros elementos que incrementan aquí su movilidad, con el hecho de ser la zona del perfil con meteorización activa, que implica la destrucción de la mineralogía primaria de las rocas del sustrato.

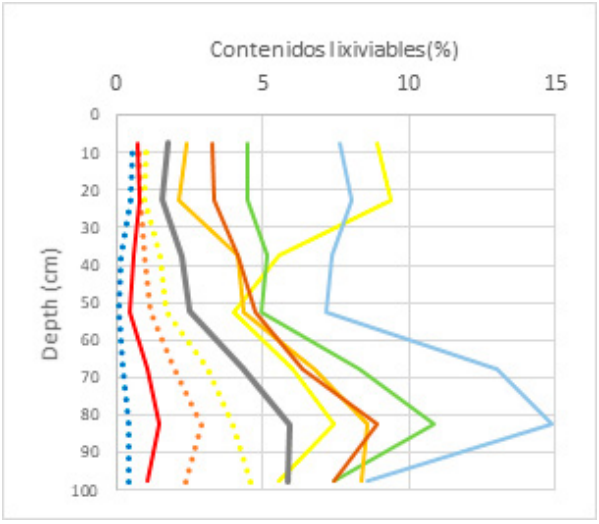


FIGURA 2. Variación en los contenidos lixiviables a lo largo del perfil, expresados como porcentajes del contenido total en cada muestra.

CONCLUSIONES

El presente estudio pone en evidencia que los suelos de la zona de estudio están enriquecidos en sus niveles más superficiales en elementos del grupo de las tierras raras por la presencia de nódulos de monacita gris, de composición pobre en elementos radioactivos. La movilidad de estos elementos, determinada por extracción mediante acetato amónico en medio ácido, muestra que sigue el orden: Y<U<Dy<Tb<Gd<Eu<Sm<La<Th<Ce, y que ésta es máxima en los niveles más profundos del suelo, donde las concentraciones de monacita detrítica son más bajas, y los procesos de meteorización de otras fases minerales que contengan a estos elementos pueden ser más activos.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido realizado en el contexto de la Cátedra Universidad-Empresa Quantum Minería, vigente entre los años 2017 y 2018.

REFERENCIAS

Alguacil, F.J., Rodríguez, F. (1997): Procesos de separación de las tierras raras. *Revista de Metalurgia Madrid*, 33 (3), 187-196.

Burnotte, E., Pirard, E., Michel, G. (1989): Genesis of grey monazites: evidence from the Paleozoic of Belgium. *Economic Geology*, 84, 1417–1429.

Cooper, D.C., Basham, I.R., Smith, T.K. (1983): On the occurrence of an unusual form of monazite in panned stream sediments in Wales. *Geology Journal*, 18, 121–127.

Donnot, M., Guigues, J., Lulzac, Y., (...), Parfenoff, A., Picot, P. (1973): Un nouveau type de gisement d'europium: la monazite grise à europium en nodules dans les schistes paléozoïques de Bretagne. *Mineralium Deposita*, 8(1), 7-18.

EU (2017): Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU. EUR-Lex - 52017DC0490. Disponible en https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0490&from=EN. Ultimo acceso 07/02/2020.

García-Tenorio, R., Manjón, G., Vioque, I., Jiménez-Ramos, M.C., Mantero, J., Díaz-Francés, I. (2018): Grey monazite (rare earths) mining in centre of Spain: Characterization and pre-operational radiological evaluation. *Chemosphere*, 208, 691-697.

Jiménez Ballesta, R., Conde Bueno, P., Martín Rubí, J.A., García Giménez, R. (2010): Pedo-geochemical baseline content levels and soil quality reference values of trace elements in soils from the Mediterranean (Castilla-La Mancha, Spain). *Central European Journal of Geosciences*, 2(4), 441-454.

Ling, M.-X., Liu, Y.-L., Williams, I.S., (...), Deng, W.-F., Sun, W.-D. (2013): Formation of the world's largest REE deposit through protracted fluxing of carbonatite by subduction-derived fluids. *Scientific Reports* 3, 1776.

Ramos, S.J., Dinali, G.S., Oliveira, C., Moreira, C.G., Sigueira, J.O., Gilherme, L.R., (2016): Rare Earth Elements in the soil environment. *Current Pollution Reports*, 2: 28-50.

Read, D., Cooper, D.C., McArthur, J.M. (1987): The composition and distribution of nodular monazite in the Lower Paleozoic rocks of Great Britain. *Mineralogical Magazine*, 51, 271–280.

	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Th	U
Media	0,36	9,20	25,71	3,21	12,84	2,45	1,37	0,08	0,18	<0,01	0,06	0,04
Desv Est.	0,06	3,34	3,56	0,40	3,06	1,33	0,75	0,04	0,04	<0,04	0,12	0,02
Monac. 1	n.d.	19,03	45,03	5,44	23,87	3,92	2,10	n.d.	n.d	n.d.	0,81	n.d.
Monac. 2	n.d.	20,5	44,1	5,7	20,0	5,1	3,8	0,1	0,2	<0,1	>5,5	n.d.

TABLA 1.- Síntesis de resultados de análisis elemental de monacita mediante microsonda electrónica. Los datos corresponden a 40 determinaciones. Monac. 1: Datos de monacita gris en nódulos (Read *et al.*, 1987); Monac. 2: Datos de monacita de pegmatitas graníticas (Read *et al.*, 1987). Todos los datos en mg kg^{-1}. Abreviaturas: n.d. (no determinado)

	Y	La	Ce	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Th	U
P1 (7,5 cm.)	26,19	228,58	572,42	58,86	9,18	27,18	2,43	8,46	16,92	1,79
P2 (22,5 cm.)	27,36	252,92	655,18	70,65	11,73	33,21	2,97	9,81	18,27	1,71
P3 (37,5 cm.)	19,26	118,76	265,51	26,64	4,51	14,04	1,44	5,38	14,13	1,08
P4 (52,5 cm.)	19,81	106,23	237,63	23,67	3,96	12,33	1,26	5,22	13,68	0,99
P5 (67,5 cm.)	18,63	111,15	242,07	21,15	3,69	11,52	1,26	5,04	13,41	0,99
P6 (82,5 cm.)	14,94	68,85	154,42	15,48	2,68	8,64	0,91	3,87	12,51	1,08
P7 (97,5 cm.)	15,66	50,31	98,58	9,63	1,71	6,21	0,81	3,78	12,87	1,44
Media	20,26	133,83	317,97	32,30	5,35	16,16	1,58	5,94	14,54	1,30
Desv. Est.	4,81	77,31	211,46	23,11	3,67	10,07	0,81	2,31	2,19	0,35
Media CLM	17,9	23,6	57,7	6,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9,6	3,8

TABLA 2.- Concentraciones totales de REE en las muestras del perfil de suelo. Todos los valores en mg kg^{-1}. El valor de la media para Castilla-La Mancha (CLM), tomado de Jiménez-Ballesta *et al.* (2010). Abreviaturas: n.d. (no determinado)

	Y	La	Ce	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Th	U
P1 (7,5 cm.)	7,64	0,79	0,54	4,57	5,85	8,37	7,41	7,41	1,09	5,56
P2 (22,5 cm.)	8,04	0,83	0,52	4,01	5,93	8,56	8,89	10,85	1,44	7,41
P3 (37,5 cm.)	7,37	0,98	0,13	3,12	4,34	6,77	6,35	8,33	1,04	6,06
P4 (52,5 cm.)	7,17	1,13	0,10	1,69	2,53	4,38	4,76	4,98	0,44	4,04
P5 (67,5 cm.)	12,99	1,98	0,26	1,5	2,22	4,13	4,17	5,19	0,57	5,56
P6 (82,5 cm.)	14,86	2,90	0,43	0,99	1,54	2,17	3,37	4,49	0,77	9,36
P7 (97,5 cm.)	8,56	2,39	0,43	1,05	1,74	2,43	3,29	4,49	0,71	8,89
Media	9,52	1,57	0,34	2,42	3,45	5,26	5,46	6,53	0,87	6,70
Desv. Est.	3,09	0,85	0,18	1,47	1,90	2,66	2,14	2,42	0,34	1,93

TABLA 3.- Concentraciones lixiviadas de REE en las muestras del perfil de suelo. Todos los valores en mg kg^{-1}. Abreviaturas: n.d. (no determinado)

Incubation columns applied for simulating of microbially catalyzed mineral neoformation and early diagenesis of AMD-affected sediments.

Columnas de incubación aplicadas para simular neoformación mineral y diagénesis temprana microbiológicamente catalizada en los sedimentos afectados por AMD.

A. Ilin[1], I. Yusta[1] and J. Sánchez-España[2].

1 Geology Department, Basque Country University (UPV/EHU), Apdo. 644, Bilbao, Spain, andrey.ilin@ehu.eus, tel.: +34 94 601 54 03, ORCID 0000-0001-7452-9159, 0000-0003-2582-5327.

2 Geochemistry and Sustainable Mining Unit, Department of Geological Resources, Spanish Geological Survey (IGME), Calera 1, 28760, Tres Cantos, Madrid, Spain, j.sanchez@igme.es, tel.: +34 917 287 218, ORCID 0000-0001-6295-1459.

Abstract: *Mining pit lakes, affected by acid mine drainage, are excellent model systems for the study of biogeochemical dynamics at acid pH. In this research natural water and sediment from monimolimnion from Filón Centro pit lake (Tharsis, Huelva) and Brunita pit lake (La Unión, Murcia) were used to build Winogradsky-type incubation columns, which allowed in-lab accelerated simulations of natural system response to biogeochemical conditions variations. In both cases, the addition of organic carbon (glycerol) had strongly enhanced the growth of acidophilic microorganisms and provoked substantial neutralization process. This proves the key importance of carbon cycle in such environments. Not to mention, the presence of carbonates in the original Brunita sediment and low water-sediment relation were other abiotic factors which catalyzed the neutralization. Furthermore, abundant ferric hydroxysulfates (fundamentally, schwertmannite and jarosite) and metal (Zn, Fe, Cu) sulfides neoformation were described.*

Keywords: *acidic pit lakes, mineral precipitation, metal-microorganism interaction, bacterial sulfate reduction, metal pollution remediation.*

Resumen: Los lagos mineros, afectados por el drenaje ácido de mina, son excelentes sistemas modelo para el estudio de la dinámica biogeoquímica a pH ácidos. En este estudio se utilizó agua y sedimento natural recogidos en el monimolimnion de los lagos mineros Filón Centro (Tharsis, Huelva) y Brunita (La Unión, Murcia) para construir columnas de incubación de tipo Winogradsky, que permitieron la simulación acelerada en el laboratorio de la respuesta del sistema natural a la variación de las condiciones biogeoquímicas. En ambos casos, la adición del carbono orgánico (glicerol) impulsó el crecimiento de los microorganismos acidófilos, que provocaron un substancial proceso de neutralización. Esto demuestra importante papel del ciclo del carbono en medios similares. Además, la presencia de los carbonatos en el sedimento original de Brunita y la baja relación de agua-sedimento eran otros factores abióticos que catalizaron la neutralización. Igualmente, se ha descrito la abundante neoformación de hidroxisulfatos férricos (fundamentalmente schwertmannita y jarosita) y sulfuros metálicos (Zn, Fe, Cu).

Palabras clave: lagos ácidos mineros, precipitación mineral, interacción microorganismo-metal, sulfato-reducción bacteriana, remediación de la contaminación de metales.

INTRODUCTION AND SAMPLING AREA

Mining pits, abandoned after closing down of coal and metal extraction activity and gradually flooded by precipitation and groundwater input, provide a great insight into moderately to extremely acid environments. The high dissolved metal content and resulting high density, along with a characteristic funnel shape, prevent mixing of the water column (meromixis). The top mixolimnion is oxygenated, has a lower density and might be seasonally stratified, while the deep monimolimnion is anoxic and highly reductive. The transition layer between these two layers (chemocline) exhibits intermediate biogeochemical features. Thus, a wide range of geochemical conditions might be found in the same pit lake depending on the depth considered. Spain has a long history of intensive metal sulfide mining, particularly important in the SW part of the Iberian Peninsula, related to the Devonian-Carboniferous Iberian Pyrite Belt, composed of volcanogenic massive sulfides ore deposits with ~80 mines (Velasco-Acebes et al., 2019). Similarly important was La Unión-Sierra de Cartagena mining district (Sánchez-España et al., 2020).

The stratiform mineralization has abundant sulfides (e.g. pyrite, sphalerite, galena, chalcopyrite), sulfosalts and arsenopyrite. It usually appears isolated from oxidizing conditions by overlaying strata, remaining preserved from acidification and acid mine drainage formation. Nevertheless, after open-pit exploitation, mineral deposits become exposed to oxidation, releasing high acidity, sulfate and metals (e.g. Fe, Al, Zn, Cu, As, Pb, Cd), enabling continuous long-term pollution.

In this research, two meromictic acid pit lakes were chosen. Filón Centro lake (Tharsis mine district, Huelva) contains a total of 0.6 Mm^3 of acid water (pH 1.7-2 in the mixolimnion, and up to 4.5 in the monimolimnion). It has a maximum depth of 50 m and the chemocline is located at 15 m. Secondly, Brunita pit lake (La Unión, Murcia) has a mixolimnion with pH 2.0-2.6, which abruptly increases to 4.5-5.0 at the chemocline, located at 12-14 m. This pit lake has much higher salinity than most other pit lakes studied to date (Sánchez-España et al., 2020) and a lower depth (22 m). Both pit lakes show important vertical gradients of pH, Eh, T, sulfate and metal concentrations towards the bottom, as a result of different biotic and abiotic factors.

AIMS AND METHODOLOGY

The main objective of this work is to investigate the mineral neoformation and its aging in acid environments as a result of biogeochemical processes catalyzed by acidophilic microorganisms.

Anoxic bottom sediment was collected from the monimolimnion at depths of 18 m (Filón Centro) and 21 m (Brunita) using a Uwitec gravity corer (Mondsee, Austria). In addition, water from the same depths was sampled with a 5 L horizontal Van Dorn sampling bottle (KC Denmark). Once in the lab, intact sediment was separated in three equivalent parts, drawn off into Winogradsky-type incubation columns (IC), filled up with original water (leaving no air inside), sealed with tight rubber stoppers and homogenized by shaking (Fig. 1). Winogradsky columns, initially developed for enrichment of soil microorganisms, proved to be highly useful model ecosystem to investigate microcosms (Diez-Ercilla et al., 2019). Over time, biotic and abiotic processes create sharp gradients along the column providing diverse niches for microbial and mineralogical growth. Within the framework of this research, reactors were hand-made using Uwitec transparent plastic tubes (60 cm-long, 9 cm in diameter) and rubber stoppers. All cylinders had been pre-perforated with 3 mm silicon-sealed ports every centimeter to allow both water and sediment regular sampling with hypodermic needles and disposable syringes. The incubations were performed in dark conditions, in order to inhibit primary producers (e.g., photosynthesis by green algae) and target sulfate-reducing bacteria (SRB) activity.

Three different columns were prepared for each pit lake with aliquots of natural sediment and corresponding deep water. The purpose of this triplicate experiment was to investigate the impact of biological activity on the evolution of the system. Thus, one column (raw) of each set was kept with no modification, while the second one (gly-amended) contained 5 ml of glycerol, that was added in five shots of 1 ml each to five different layers within the columns (water-sediment interface, ±1 and ±2 cm above and below this surface). Both columns were stored at room temperature, simulating the natural and biologically catalyzed evolution. For biological inhibition, a third column (inhibited) was stored in the refrigerator at 4-5 ºC.

During the incubation period, regular visual examination and water and sediment sampling were performed. The pH evolution was measured using a H138 Hach compact pH meter capable of measuring pH in a single sample drop. Nutrients (N, P) and carbon dioxide (CO_2) evolution was monitored using a UV-VIS DR 2800 spectrophotometer and specific cuvette tests (LCK 304 Ammonium, LCK 339 Nitrate, 349 Phosphate, 388 Carbonate; Hach Lange GmbH).

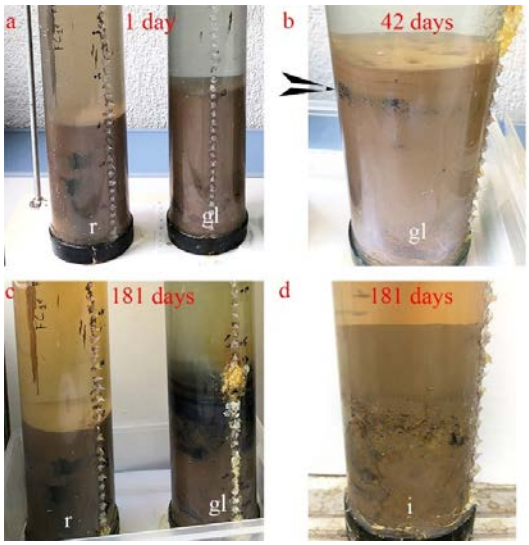


FIGURE. 1. Visual evolution in Winogradsky incubation column built with monimolimnion sediment from Filón Centro acid pit lake (Tharsis, Huelva). r: raw; gl: glycerol-amended; i: inhibited (stored at 4 ºC).

Mineralogical identification was performed by X-ray diffraction on PANalytical X'Pert Pro diffractometer at SGIker analytical services (UPV/EHU). Suspended particulate matter (SPM) and sediment samples were previously washed with MilliQ water in several cycles in an Eppendorf 5702 centrifuge, with repeated liquid phase elimination, water addition and re-suspension. These samples were also examined with a JEOL JSM-7000F field emission scanning electron microscope (SEM) coupled with Oxford INCA 350 EDX detector.

RESULTS

The most outstanding visual change in the FC column was the darkening of sediments in small pockets of up to 1.5 mm diameter (initial stage; Fig. 1a). These features were observed in gly-amended IC after 1 month of incubation, and started from a depth of about 2.5 cm. It gradually became more extensive, affecting 0.75 cm of sediment (Fig. 1b) and reaching a thickness of 5 cm after 6 months of incubation (Fig. 1c). No dark spots were developed in untreated (Fig. 1c) or fridge-stored (Fig. 1d) columns, apart from those contained in the original core.

The Brunita 21 m incubation column evolved much faster than FC, showing changes since the very next day after the homogenization (Fig. 2a) in both untreated and gly-amended columns. Observed changes were (1) a dense yellowish-green turbidity in water that persisted during the first two

weeks, and (2) the onset of sediment darkening after only 10 days of incubation, generally related to glycerol-doped zones. This growth was so fast that just 4 days later affected the top 2 cm entirely and had numerous disperse dark spots (up to 1.3 cm in diameter) down to the maximum depth of 8 cm. After one month (Fig. 2b) untreated column turbidity lost the greenish tint and became more yellowish, while the gly-amended went totally black. The water extracted from the latter had a very strong rotten eggs odor. Contrastingly with FC untreated IC, the dark sediment interlayer in the raw Brunita column did appear after 50 days of incubation, affecting the first cm of the sediment, and progressively descending down 3 cm (Fig. 2c). No sediment changes were detected in the cool-preserved column (Fig. 2d).

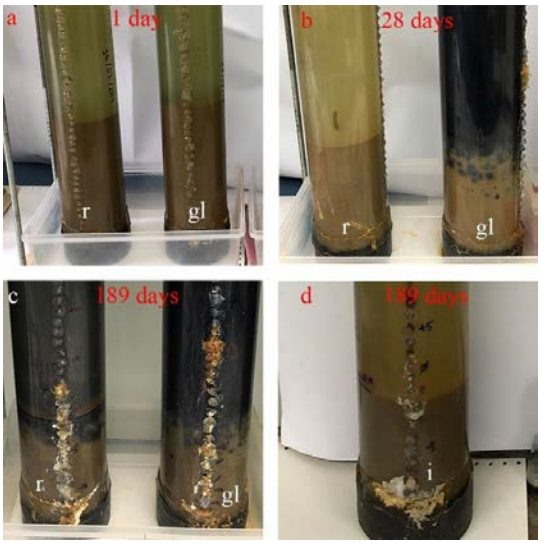


FIGURE 2. Visual evolution in Winogradsky incubation column built with monimolimnion sediment (21m) from Brunita acid pit lake (La Unión, Murcia). r: raw; gl: glycerol-amended; i: inhibited (stored at 4 ºC).

*The evolution of **pH profiles** in comparison to the initial measurements (red discontinuous line; Fig. 3 top) in FC raw and inhibited columns was rather limited. In contrast, gly-amended IC showed a continuous neutralization trend with maximum values just below the water-sediment interface, which was slowly extending upwards and downwards during the first 3 months. Notwithstanding, newly acidifying trend was clearly observed after 6 months of incubation.*

Unlike FC, in Brunita (Fig. 3 bottom) just one day after the homogenization (red discontinuous line) a noticeable pH shift was observed with respect to the original conditions (measured at field; blue discontinuous line), implying almost total neutralization of the acidity initially contained in the water, related to the presence of carbonates (chiefly dolomite and siderite fine grains). The gly-amended column went through a multi-stage neutralization process. The first 10 days it was gradually neutralizing, followed by an important acidification stage (14 days), again a new neutralization trend (2 months), and finally a significant pH drop after 6 months. Regarding to the untreated IC, the water column was progressively becoming more acid, although it was still significantly less acidic than the original lake water. In the sediment, the general trend was the deeper in sediment, more neutral was the pH. Finally, the refrigerated column had little evolution, showing a slightly acidifying trend along the incubation period (from pH 5.6 in the first day down to pH 5.2 after 3 months), followed by a weak neutralization after 6 months (back to 5.6 pH).

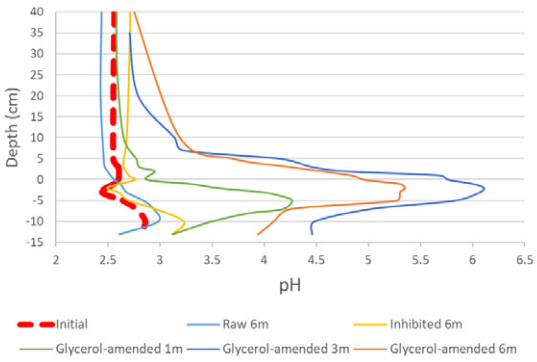


FIGURE 3. Chemical pH profiles evolution of Filón Centro 18 m (top) and Brunita 21 m (bottom) during 6 months of incubation. Zero point is bound to water-sediment interface (i.e. migrates with compaction).

***Nutrients and CO_2** evolution for the untreated columns of FC and Brunita are shown in Figure 4. In Brunita a parabolic trend of N-NH_4^+ and a continuous decrease in N-NO_3^- is shown, while FC barely had any changes (Fig. 4a-b). In both columns, phosphorus (Fig. 4c) had a decreasing trend. CO_2 content (Fig. 4d) showed an initial increase, followed by either slight decreases and stabilization (FC) or dramatic decrease (Brunita).*

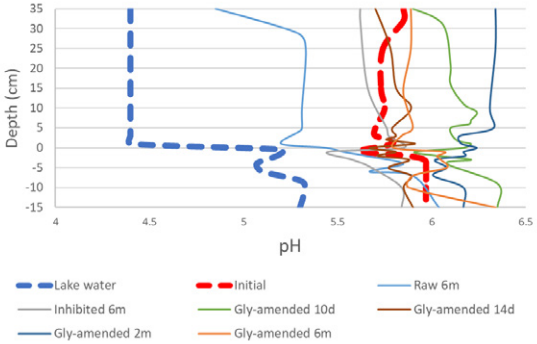


FIGURE 4. Nutrients and CO_2 content (in mg/L units) evolution for raw Filón Centro (red lines) and Brunita (blue discontinuous line) incubation columns during 6 months of incubation.

*Simultaneously to visual and chemical monitoring, numerous suspended particulate matter and sediment samples were **examined under SEM**. Greenish turbidity from FC gly-amended column (Fig. 1c right; pH 5.0) proved to be saturated with K-Fe-S-O minerals (likely, K-jarosite) with globular and lenticular shapes (Fig. 5a) and less abundant, pincushion schwertmannite (schw). Mineralized rod-*

like bacteria were generally observed in all gly-amended IC. Similarly, the yellowish turbidity from untreated Brunita IC (2 months; pH 5.4, similar to Fig. 2b left) revealed the presence of abundant spherical Fe-S-O particles (up to 2 µm in diameter), with average molar Fe/S ratio (Fe/S$_m$) of 1.95, making it consistent with H_3O^+-jarosite (Fig. 5b). Globular Zn-S particles coherent with neoformed Zn sulfide minerals were also observed.

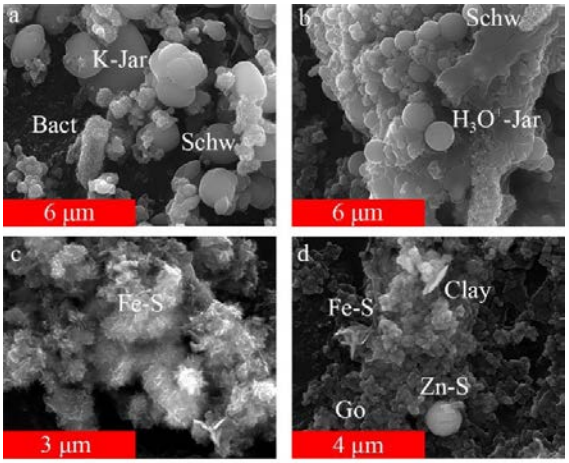


FIGURE 5. SEM micrographs of Filón Centro suspended particulate matter (SPM) (A) and Brunita SPM (B) and column sediment (C, D).

Further evolution of this turbidity (4 months) in the same untreated column (pH 5.6) had seemingly less density and more abundant Zn-S minerals ([Zn/S]$_m$=2.1-2.4, coherent with wurtzite/sphalerite). On the contrary, iron particles had lost the majority of S ([Fe/S]$_m$=15-23, possibly aged to goethite (Go)) and acquired less spherical shapes or even disposed in rosettes. At the next stage, water column became darker (specially in gly-amended columns, where it turned completely black; Figs. 2 b, c). Two SPM samples, corresponding to 1 and 2 months of incubation (both pH ~6.0) of gly-amended IC showed similar mineralogy. Iron particles were comparable to the most evolved case of yellowish turbidity, having extremely small amounts of S, and very high Fe. Euhedral crystals of K-jarosite and some scarce globular Zn-S particles immersed in the abundant Go were also observed.

Finally, sediments from gly-amended ICs were analyzed, including different stages of pH and incubation evolution. In Brunita IC Zn sulfides were the most abundant authigenic phases, eventually incorporating Cd. In the more evolved samples (after 4 and 6 months) Fe-S particles showed [Fe/S]$_m$ around 2.17-2.55 and very low O, possibly indicative of some kind of Fe sulfide. Initially it appeared with globular shape (Fig. 5c) and then also as rosette-like aggregates in more mature sediment (Fig. 5d). Regarding to the FC sediment, abundant Cu and/or Cu-Fe sulfides were formed, along with K-Jar and Schw. Surprisingly, no Zn sulfides were found in the sample.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Reported data clearly shows the great biological impact on the neutralization of acid mine drainage. Even more, the key importance of organic carbon availability for microbiologically mediated neutralization in both oligotrophic (FC) and eutrophic (Brunita) acidic environments is also shown. It is likely that the acidification after 6 months of incubation, detected in gly-catalyzed columns from both lakes, might be related to exhaustion of added organic C and consecutive reduction of bacterial activity, indirectly showed by the CO_2 profile. Regarding to the role of other nutrients, the nitrogen profile showed no evolution in untreated FC column and depletion in Brunita. This might be indicative of its lesser importance as a nutrient for the former and the existence of N-dependent microorganisms in the latter. Finally, phosphorus depletion likely results from adsorption to Fe hydroxysulfates

Additionally, the presence of fine-grained carbonates in Brunita sediment, which created the perfect niche for proliferation of acidophilic microorganisms by neutralization of the original acidity, proved to be the most important abiotic factor. Carbonates, along with a small proportion of water to sediment and the previously mentioned organic C addition, hugely enhanced the neutralization processes in Winogradsky-type incubation columns. Therefore, this experimental approach allowed to (i) explore environmental response to the variation of system parameters (e.g. nutrients addition, bacterial activity inhibition) in short periods of time, and (ii) investigate the mineral neoformation as a result of microbiological activity. Iron hydroxysulfates and abundant metal (Zn, Fe, Cu) sulfides neoformation were observed. At least the latter was closely related to sulfate-reducing bacteria activity metabolites. These mineral phases will be subjected to systematic analysis.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness through the National Research Agency (FEDER funds, Grant CGL2016-74984-R).

REFERENCES

Diez-Ercilla, M., Falagán, C., Yusta, I., Sánchez-España, J., (2019): Metal mobility and mineral transformations driven by bacterial activity in acidic pit lake sediments: evidence from column experiments and sequential extraction. *Journal of Soils and Sediments* 19: 1527-1542.

Sánchez-España, J., Yusta, I., Ilin, A., van der Graaf, C., Sánchez-Andrea, I. (2020): Microbial Geochemistry of the Acidic Saline Pit Lake of Brunita Mine (La Unión, SE Spain). *Mine Water Environ*, 39: 535-555.

Velasco-Acebes, J., Tornos, F., Kidane, A., Wiedenbeck, M., Velasco, F. and Delgado, A (2019): Isotope geochemistry tracks the maturation of submarine massive sulfide mounds (Iberian Pyrite Belt). *Mineralium Deposita*, 54: 913-934.

Estudio preliminar de las transformaciones minerales en materiales bauxíticos durante la cocción y su relación con propiedades físicas de interés

Preliminary study of mineral transformations in bauxitic materials during ceramic firing and their relation with significant physical properties

E. Laita[1*], B. Bauluz[1], A. Yuste[1] y M.J. Mayayo[1]

1 IUCA, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, 50009-Zaragoza. *laita@unizar.es

Resumen: Las arcillas alumínicas tienen gran interés para la fabricación de cerámicas refractarias. Con el fin de valorar su utilidad como posibles materias primas en la industria refractaria se han estudiado las transformaciones minerales y los cambios en las propiedades físicas durante la cocción de tres mezclas formadas por: 1) 100% de bauxita, 2) 75% de bauxita y 25% de arcilla illítico-caolinítica y 3) 50% de bauxita y 50% de arcilla illitíco-caolinítica. Durante la cocción se desestabilizan muchas de las fases de las muestras naturales, se forma fase vítrea y cristalizan nuevas fases a partir de ella. A partir de 1000ºC no se detectan arcillas en ninguna muestra, se forman mullita y corindón, y aumenta el contenido en hematites (que posteriormente disminuye). En las muestras mezcladas con arcilla illítico-caolinítica también se detecta cuarzo y su contenido, junto con el de corindón, disminuye con la temperatura mientras que el de mullita aumenta. Los cambios en el color en las cerámicas se deben a la formación de hematites y su posterior desestabilización. Las variaciones de densidad y contracción lineal estarían relacionadas con la desestabilización de las fases presentes en las muestras naturales y la cristalización de nuevas fases como mullita y corindón.

Palabras clave: bauxita, arcilla illítico-caolinítica, cerámicas, transformaciones minerales.

Abstract: *Aluminium-rich clays have great interest in the manufacture of refractory ceramics. To assess its usefulness as possible raw materials in the refractory industry, mineral transformations and changes in physical properties during firing have been studied in three mixtures formed by: 1) 100% of bauxite, 2) 75% of bauxite and 25% of illitic-kaolinitic clay and 3) 50% of bauxite and 50% of illitic-kaolinitc clay. Many phases of the natural samples are destabilized during firing, a vitreous phase is formed and new phases crystallize from it. From 1000 °C no clay minerals are detected in any sample, mullite and corundum are formed and hematite content increases (which subsequently decreases). In samples mixed with illitic-kaolinitic clay quartz is also detected and its content, along with corundum content decreases with temperature while that of mullite increases. The changes in color are due to the formation of hematite and its subsequent destabilization. The variations in density and linear contraction would be related to the destabilization of the phases present in the natural samples and the crystallization of new phases such as mullite and corundum.*

Keywords: *bauxite, illitic-caolinitc clay, ceramics, mineral transformations.*

INTRODUCCIÓN

Las bauxitas calcinadas, junto con las arcillas caoliníticas, son las materias primas más importantes en la producción de refractarios. Dada la importancia industrial que tienen, conocer las transformaciones minerales que se producen en estos materiales al someterlos a procesos de calcinación es de gran interés (Laita y Bauluz, 2018).

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos del estudio mineralógico y de determinadas propiedades físicas (color, contracción lineal y densidad) de una serie de probetas cocidas a distintas temperaturas. Dichas probetas se fabricaron a partir de bauxitas procedentes de un yacimiento de la sierra de San Mamet (Lleida) que fueron mezcladas con distintas proporciones de arcilla illítico-caolinítica de la Formación Escucha (Teruel).

Los objetivos principales del estudio son determinar los cambios mineralógicos que se produce durante la cocción y establecer la posible relación entre dichos cambios y las variaciones en las propiedades físicas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En España, se diferencian cuatro regiones donde se localizan yacimientos de bauxitas: 1) La zona Subbética, 2) La zona de enlace entre la Cordillera Costero-Catalana y la Cordillera Ibérica, 3) La cordillera Costero-Catalana y 4) La zona Sur-Pirenaica (Molina y Salas, 1993). En esta última zona, existen varios afloramientos de bauxitas kársticas, como el de San Mamet (del que se obtuvo la bauxita para el estudio), que fueron explotados a cielo abierto hasta los años 90. En dichos afloramientos, las bauxitas se

disponen sobre una superficie de paleokasrt que afecta a dolomías jurásicas (Molina *et al.*, 1994).

Por otro lado, en la Cordillera Ibérica existen depósitos de arcillas illítico-caoliníticas pertenecientes a la Formación Escucha (Cretácico Inferior). Esta formación fue definida por Aguilar *et al.* (1971) en el área de Utrillas (Teruel) y, tradicionalmente, se ha dividido en tres miembros: inferior, medio y superior (Cervera *et al.*, 1976). En su parte inferior, se diferencian abundantes arcillas ricas en caolinita (Bauluz *et al.* 2008), las cuales han sido empleadas en varios sectores cerámicos y también en el sector de los refractarios (Díaz Rodríguez y Torrecillas, 2002).

METODOLOGÍA

Se fabricaron probetas cilíndricas por prensado (5cm de diámetro y 0,8cm de espesor) tanto de un 100% de bauxita (BX100), como de bauxita mezclada con un 25% y un 50% de arcilla caolinítica (BX75 y BX50, respectivamente).

Posteriormente, las probetas fueron cocidas a 1000ºC, 1100ºC, 1200ºC y 1270ºC. La cocción se realizó en condiciones oxidantes, el incremento de temperatura fue de 200ºC/h y el máximo térmico se mantuvo durante 2h.

La densidad de las probetas se calculó a partir de su masa y su volumen. El color se analizó mediante un espectrofotómetro portátil X·Rite, modelo Ci6X y la contracción lineal se calculó midiendo el diámetro de las probetas antes y después de la cocción.

Para determinar la mineralogía se realizó un estudio cualitativo por difracción de rayos-X (DRX). Una vez conocidas las fases presentes, se realizó una semicuantificación mineral utilizando valores de poderes reflectantes de la literatura.

RESULTADOS

La muestra formada por un 100% de bauxita contiene principalmente bohemita (62%), caolinita (25%) y hematites (9%) y proporciones menores de anatasa y rutilo (1-2%).

La arcilla illítico-caolinítica utilizada para hacer las mezclas está formada por un 45% de caolinita, un 35% de illita y un 20% de cuarzo.

Como resultado de las mezclas, la muestra de bauxita con un 25% de arcilla illítico-caolinítica (BX75) está formada por bohemita (43%), caolinita e illita (35%), cuarzo (12%) y hematites (6%) junto con proporciones menores de anatasa y rutilo (2%). Por su parte, la muestra de bauxita con un 50% de arcilla illítico-caolinítica está formada principalmente por caolinita e illita (46%), bohemita (27%), cuarzo (20%) y proporciones menores de hematites, anatasa y rutilo (1-4%).

En la tabla I se representan los porcentajes obtenidos de la semicuantificación para cada fase mineral en las probetas cocidas.

El contenido en cuarzo de las muestras BX75 y BX50 disminuye conforme aumenta la temperatura de cocción y en todas las muestras se han detectado proporciones menores de cristobalita (<5%-6%) a partir de 1000ºC.

	T (Cº)	Mineral (%)						
		Qtz	Crt	Mul	Hem	Rut	Ilm	Cor
BX100	1000	-	5	22	22	<5	8	40
	1100	-	5	19	18	<5	<5	53
	1200	-	<5	35	14	<5	<5	45
	1270	-	<5	39	12	<5	<5	45
BX75	1000	18	<5	27	12	<5	6	30
	1100	7	<5	35	13	<5	<5	39
	1200	<5	<5	57	10	<5	-	28
	1270	<5	<5	70	8	<5	<5	12
BX50	1000	35	6	35	10	<5	5	7
	1100	17	<5	39	7	<5	<5	28
	1200	6	<5	58	9	<5	<5	20
	1270	<5	<5	77	7	<5	5	7

TABLA I. Semicuantificación mineral de todas las probetas cocidas a las distintas temperaturas. Qtz=cuarzo, Crt=cristobalita, Mul=mullita, Hem=hematites, Rut=rutilo, Ilm=ilmenita, Cor=corindón.

La mullita se detecta en todas las muestras a 1000ºC y su contenido aumenta conforme aumenta la temperatura de cocción. Por otro lado, el contenido en esta fase a alta temperatura es mayor en las muestras BX75 y BX50 con respecto a la BX100.

El contenido en hematites aumenta en todas las muestras a 1000ºC con respecto a las muestras crudas, pero después disminuye conforme aumenta la temperatura. Además, en todas las muestras se forman pequeñas cantidades de ilmenita y se siguen detectando proporciones menores de rutilo hasta 1270ºC.

Por último, se detecta corindón a 1000ºC, su contenido es mayor a 1100ºC en todas las muestras y posteriormente disminuye con el aumento de la temperatura. Al contrario que con la mullita, el corindón es más abundante en la muestra BX100 con respecto a la BX75 y BX50.

De acuerdo con el sistema de color Munsell (Figura 1), las muestras BX100 y BX75 presentan un color rojizo-marrón en crudo y pasan a rojizo-marrón brillante a 1000-1100ºC y a rojizo-marrón mate a partir de 1200ºC. La muestra BX50 presenta un color rojizo-marrón mate en crudo, pasando a naranja a 1000ºC, rojizo-marrón brillante a 1100ºC, rojizo-marrón mate a 1200ºC y grisáceo-marrón a 1270ºC.

La densidad de las tres muestras en crudo es de 1,73 g/cm^3 para la BX100, 1,74 g/cm^3 para la BX75 y 1,71 g/cm^3 para la BX50. Estos valores se mantienen constantes a 1000ºC. A 1100 y a 1200ºC la densidad aumenta en todas las muestras y a 1270ºC disminuye en BX75 y BX50, pero sigue aumentando en BX100 (Figura 2a). En el caso de la contracción lineal, los valores aumentan conforme aumenta la temperatura en todas las muestras hasta llegar a 1270ºC, temperatura a la que disminuye en las muestras BX75 y BX50 (Figura 2b).

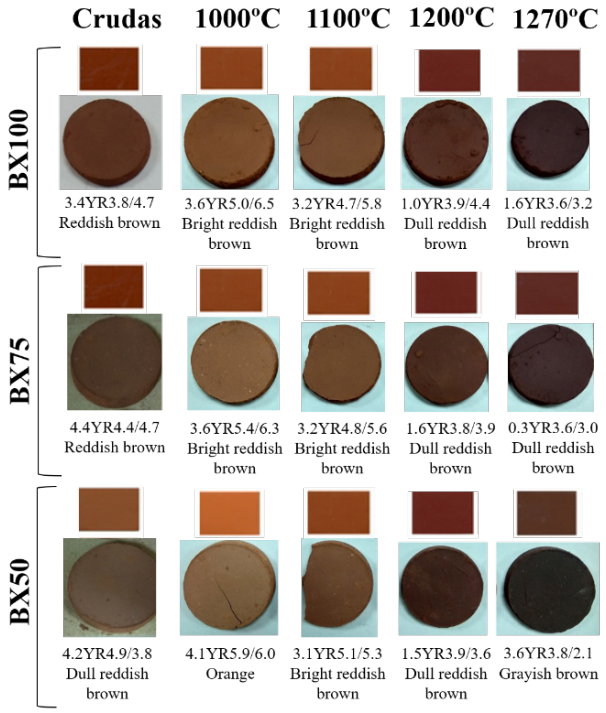


FIGURA 1. Valores de la carta de color de Munsell obtenidos mediante espectrofotómetro para cada probeta cocida a las distintas temperaturas.

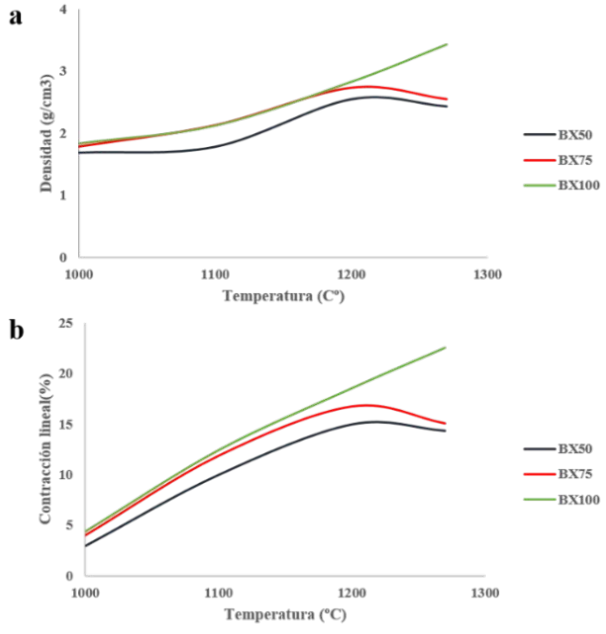


FIGURA 2. Valores de densidad (a) y contracción lineal (b) obtenidos para todas las probetas cocidas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La caolinita e illita, presentes en las muestras crudas, ya no se detectan a 1000ºC, lo que indica que son las fases menos estables. En ambientes naturales, los minerales de la arcilla como la caolinita no son estables por encima de 200ºC (Merriman and Peacor, 1999). Por otro lado, en procesos cerámicos se ha descrito la presencia de metacaolinita amorfa desde 500ºC hasta 1000ºC como precursora de mullita (Chen *et al.*, 2000).

La mullita es común en productos cerámicos y refractarios con alto contenido en alúmina (Laita y Bauluz, 2018). En las muestras estudiadas se reconocen a partir de 1000ºC y su contenido aumenta con la temperatura. El hecho de que su contenido sea mayor en las muestras BX75 y BX50 a altas temperaturas, indica que es probable que la mullita se esté formando a partir de la caolinita, ya que este mineral sería más abundante en estas esas dos muestras.

Si bien el contenido en cuarzo disminuye con la temperatura, éste todavía se detecta a 1270ºC indicando que es una de las fases más estables. Del mismo modo ocurre con la hematites, el rutilo y la ilmenita.

El aumento en el contenido en hematites en todas las muestras a 1000ºC seguramente sea debido a la desestabilización de los óxidos u oxihidróxidos de hierro pobremente cristalinos presentes en las muestras naturales, que permite la cristalización de hematites.

La desestabilización de boehmita durante la cocción permitiría la subsiguiente cristalización de corindón. Esto quedaría evidenciado por el hecho de que el contenido en corindón es superior en la muestra BX100 que presentaba mayo contenido en bohemita antes de la cocción.

Durante los procesos de cocción, la desestabilización de las fases presentes en las muestras naturales suele dar lugar a la formación de una fase vítrea y a la subsiguiente cristalización de nuevas fases a partir de ella (Laita y Bauluz, 2018). El aumento tanto de la densidad como de la contracción lineal que se produce hasta 1200ºC en las tres muestras puede ser debido, por tanto, a la desestabilización de dichas fases previas y a la formación de fase vítrea, mullita y corindón. Por otro lado, la disminución de la densidad y la contracción lineal observada en las muestras BX75 y BX50 a 1270ºC puede deberse a que son menos alumínicas que la muestra BX100.

Los cambios de color desde rojizo-marrón en las muestras crudas, pasando por naranja y rojizo-marrón brillante a 1000-1100ºC y después a rojizo-marrón mate y grisáceo-marrón a 1200-1270ºC estarían relacionados con el aumento general del contenido de hematites a 1000-1100ºC y su subsiguiente descenso a 1200-1270ºC en todas las muestras.

Por último, se puede concluir que los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información útil relativa al proceso de cocción de bauxitas y arcillas

illítico-caoliníticas que puedan ser utilizados en la industria refractaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y el Gobierno de Aragón (Grupo Aragosaurus, CGL2017-85038-P), así como por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (RTI2018-093419-B100).

REFERENCIAS

Aguilar, M.J., Ramirez del Pozo, J. y Riba, O. (1971): Algunas precisiones sobre la sedimentación y paleoecología del Cretácico inferior de la zona de Utillas-Villarroya de los Pinares (Teruel). *Estudios Geológicos*, 27: 497-512.

Bauluz, B., Mayayo, M.J., Yuste, A. y González López, M. (2008): Genesis of kaolinite from Albian sedimentary deposits of the Iberian Range (NE Spain): analysis by XRD, SEM and TEM. *Clay Minerals*, 43: 459-475.

Cervera, A., Pardo, G. y Villena, J. (1976): Algunas precisiones litoestratigráficas sobre la Formación 'Lignitos de Escucha'. *Tecniterrae*, 3: 25-33.

Chen, C.Y., Lan, G.S. y Tuan, W.H. (2000): Microstructural evolution of mullite during the sintering of kaolin poder compacts. *Ceramics International*, 26: 715-720.

Díaz Rodríguez, L.A. y Torrecillas R. (2002): Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41[5]: 459-470.

Laita, E. y Bauluz, B. (2018): Mineral and textural transformations in aluminium-rich clays during ceramic firing. *Applied Clay Science*, 152: 284-194.

Merriman, R.J. y Peacor, D.R. (1999): Very low-grade metapelites: mineralogy, microfabrics and measuring reaction progress. En: *Low-Grade Metamorphism* (M. Frey y D. Robinson, eds.). Blackwell Science, Oxford, 10-60.

Molina, J.M. y Salas, R. (1993): Bauxitas kársticas del Cretácico inferior en Fuentespalda (provincia de Teruel): Estratigrafía, origen y paleogeografía. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 17: 207-230.

Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A., Vera, J.A. y Calonge, A. (1994): Bauxitas kársticas de la sierra de Boada (Sierras Marginales surpirenaicas, Alós de Balaguer, Lleida). *Geogaceta*, 16: 148-150.

Caracterización mineralógica de bentonitas del Source Clay Repository.

Mineralogical characterization of bentonites from the Source Clay Repository.

A. Lorenzo[1], A. García-Vicente[1], J. Morales[1], E. García-Romero[2-3] y M. Súarez[1]

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca. adrianlorenzo@usal.es
2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28014 Madrid.
3 Instituto de Geociencias (UCM-CSIC), 28040 Madrid

Resumen:

Se caracterizan mineralógicamente 4 muestras bentoníticas del Source Clay Repository con el fin de conocer su composición mineralógica y relacionarla con su respuesta espectral en el rango 400- 2400 nm. Para ello se han utilizado dos técnicas analíticas distintas: difracción de Rayos-X (DRX) y espectroscopía VNIR-SWIR. Ambas técnicas nos muestran un alto contenido en esmectitas, con una cantidad muy pequeña de impurezas de cuarzo en las muestras APA y COU(V). También nos han permitido identificar el carácter di o trioctaédrico de las esmectitas, siendo dioctaédricas las muestras APA y SAN y triocatédricas COU(V) y SHE. La espectroscopía VNIR-SWIR muestra la gran similaritud de las dos muestras dioctaédricas mientras que evidencia el diferente contenido octaédrico de las otras dos muestras estudiadas: COU(V) marcada por su alto contenido en Fe y Mg, y SHE (hectorita sintética) en la que la presencia de Li produce rasgos claramente diferenciadores. Estos resultados indican que la espectroscopía VNIR-SWIR es una técnica útil en la identificación de esmectitas.

Palabras clave: Bentonitas, esmectitas, DRX, espectroscopía VNIR-SWIR.

Abstract:

Four bentonite samples from Source Clay Repository have been characterized to know their mineralogical composition and to be able to compare them. For that purpose, two different analytical techniques have been used: X-ray diffraction (DRX) and VNIR-SWIR spectroscopy. Both techniques indicate that all samples are very pure, and that APA and COU(V) samples have a very small amount of quartz impurities. They have also allowed us to discriminate between dioctahedrical samples (APA and SAN) and trioctahedrical samples (COU(V) and SHE. VNIR-SWIR spectroscopy shows the high resemblancebetween the two dioctahedral samples and evidences the clear difference between the two trioctahedral smectites: COU(V) and SHE. COU(V) becasue of its high content in Fe and Mg, and SHE (synthetic hectorite) due to the presence of Li that produces features clearly distinctive. This results indicate that the VNIR-SWIR spectroscopy is a usefull technique to identify smectites

Keywords: *Bentonites, smectites, DRX, VNIR-SWIR, Spectroscopy.*

INTRODUCCIÓN

Las bentonitas son rocas formadas principalmente por minerales del grupo de las esmectitas. Para conocer las propiedades físico-químicas de estos minerales que forman parte de las denominadas arcillas especiales en la clasificación industrial de dichos minerales, es preciso caracterizar mineralógicamente las muestras, llegando a conocer la naturaleza mineral, su grado de pureza, el tipo de impurezas que contienen, el grado de cristalinidad o el carácter dioctaédrico o trioctaédrico.

Las esmectitas son filosilicatos pertenecientes al grupo de los minerales de la arcilla y estructuralmente se clasifican como de tipo 2:1, es decir, están compuestas por apilamiento de láminas formadas por dos capas tetraédricas y una octaédrica (lámina tipo sandwich). Estas láminas no son neutras sino que tienen carga derivada de las sustituciones isomórficas de Si por Al, principalmente, en la capa tetraédrica y/o de los déficits de carga de capa octaédrica por configuraciones di o trioctaédricas en las que no se alcanzan las 12 cargas positivas por fórmula unidad (p.f.u.). El déficit de carga global, que oscila entre 0.4 y 1.2 p.f.u. se compensa con la entrada de cationes en el espacio interlaminar; estos cationes se hidratan con contenidos variables de moléculas de agua.

El Source Clay Repository contiene muestras de distintos filosilicatos, mayoritariamente arcillas, que se utilizan como referencia en diferentes trabajos realizados por investigadores de la comunidad científica internacional. El objetivo de este trabajo es el estudio de la respuesta espectral en el intervalo de longitudes de onda correspondiente al visible e infrarrojo cercano y de onda corta (VNIR-SWIR) de cuatro bentonitas procedentes del Clay

Repository para su posterior comparación con materiales de otras zonas de estudio.

MUESTRAS

Las muestras utilizadas en este trabajo, recogidas en la Tabla I, proceden de distintas localidades de Estados Unidos y se han obtenido del Source Clay Repository. Se trata de dos montmorillonitas, una esmectita sin identificar mineral y una hectorita, esta última es sintética.

Nombre	Descripción	Origen
APA	Ca-Montmorillonita	Apache County, Arizona (USA)
COU(V)	Fe-Esmectita	Grant County, Washington (USA)
SAN	Ca-Montmorillonita	Sanders, Arizona (USA)
SHE	Hectorita sintética	Source Clay Repository

TABLA I. Tabla resumen de las muestras utilizadas en el trabajo.

METODOLOGÍA

La preparación de las muestras para los dos análisis es la misma y consiste en pulverizar manualmente las muestras en un mortero de ágata hasta conseguir un tamaño de grano estimado < 50µm.

La difracción de Rayos X se realizó en el Servicio de Difracción de Rayos-X de la Universidad de Salamanca. El difractómetro de polvo utilizado fue un Bruker D8 Advance ECO, localizado en la Facultad de Ciencias. Tiene una configuración theta-2theta, con ánodo de cobre ((λ = 1.5405 Å) y está equipado con un detector LYNXEYE SSD160 de alta resolución. Los difractogramas se interpretaron con el software High Score Plus (PANalytical).

La espectroscopía se realizó con un espectrorradiómetro de campo ASD FieldSpec 4 Standard-Res equipado con 3 detectores: VNIR que mide longitudes de onda comprendidas entre 350 y 1000 nm, SWIR1 que mide longitudes de onda comprendidas entre 1001 y 1800 nm y el SWIR2 que mide longitudes de onda comprendidas entre 1801 y 2500 nm. Es decir, se estudia un intervalo de longitudes de onda que comprende parte del visible y del infrarrojo cercano o de onda corta.

La muestra pulverizada se puso sobre un portamuestras metálico y se cubrió con un vidrio, espectroscópicamente inerte, para no dañar la sonda. El análisis se hizo de forma directa: poniendo en contacto la muestra con la sonda del equipo. Los resultados se analizaron mediante el software Spectragryph.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la difracción de Rayos-X, se han obtenido los 4 difractogramas de roca total correspondientes (Fig. 1). Las muestras están compuestas casi en su totalidad por esmectitas, salvo en APA y COU(V), que encontramos una pequeñísima cantidad de cuarzo como impureza. Los picos estrechos y bien definidos de la reflexión basal 001, así como las reflexiones hk0 muy marcadas indican una cristalinidad elevada, salvo en la muestra SHE. Esta hectorita presenta las bandas de difracción correspondientes a los planos hk0 de las láminas, pero un bajo apilamiento de las mismas.

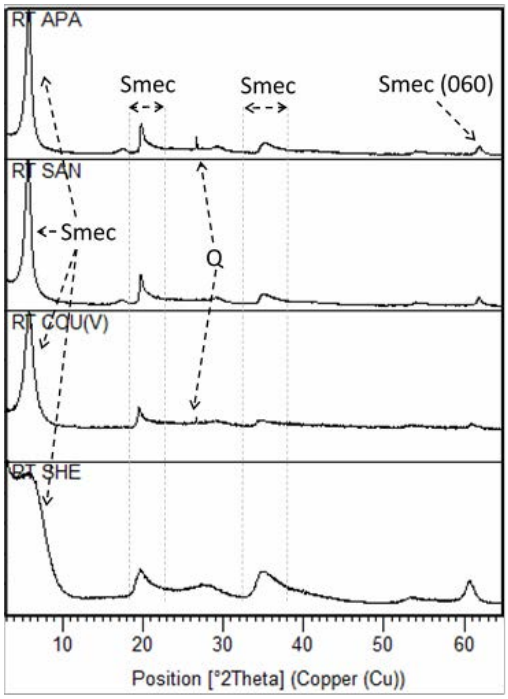


FIGURA 1. Difractogramas de roca total de las 4 muestras.

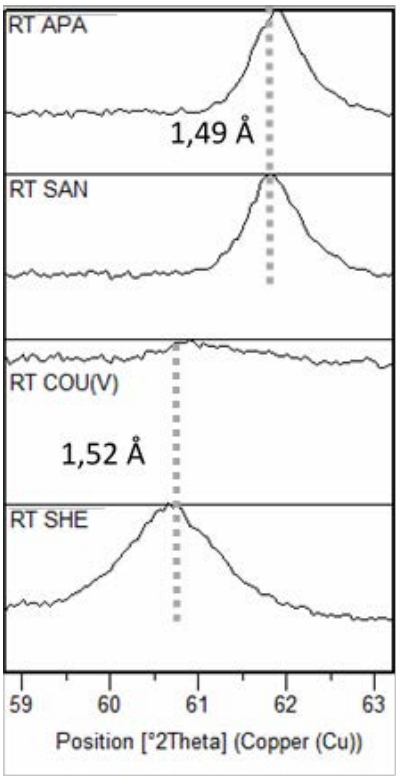


FIGURA 2. Reflexión (060).

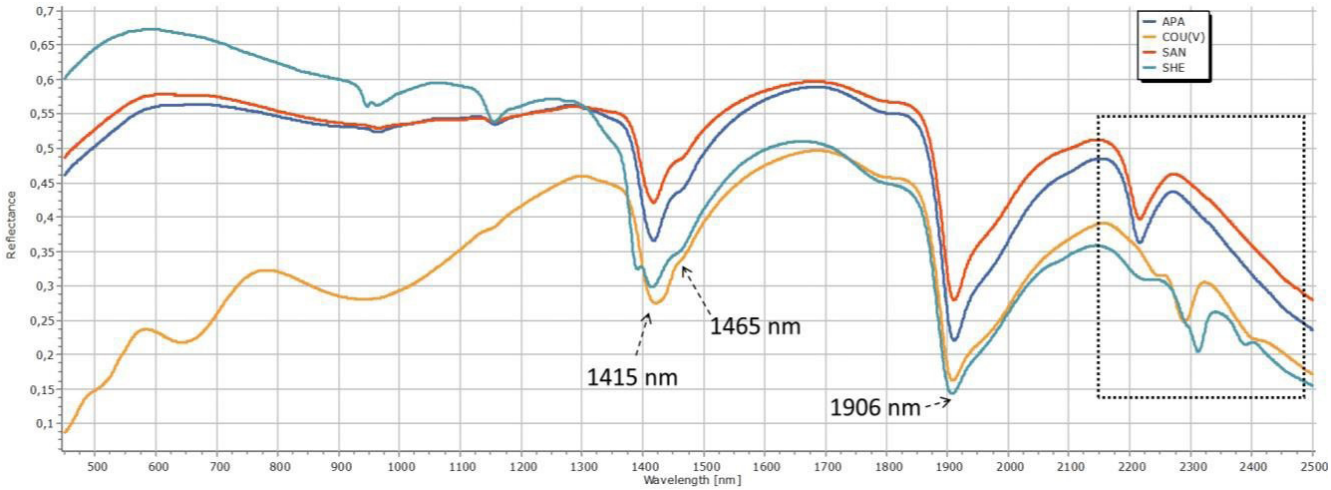


FIGURA 3. Espectros de reflectancia de las 4 muestras estudiadas, azul: APA, naranja: COU(V), rojo: SAN, verde: SHE.

Con respecto a la reflexión (060) se observa como las muestras se diferencian en dos grupos: por un lado APA y SAN presentan la reflexión a un espaciado d=1.49 Å, indicando el carácter dioctaédrico de las esmectitas, mientras que COU(V) y SHE presentan esta reflexión a un espaciado d=1.52 Å, indicando un carácter trioctaédrico (Fig. 2).

La muestra COU(V) se diferencia de las demás por tener un *background* muy elevado fruto de su alto contenido en hierro, ya que este elemento produce fluorescencia.

Como resultado de la espectroscopía VNIR-SWIR se han obtenido los correspondientes espectros (Fig. 3). En los espectros de reflectancia se observan importantes diferencias tanto en la zona del visible como del infrarrojo a pesar de tratarse en los cuatro casos de muestras puras o prácticamente puras de esmectitas. Todas ellas presentan dos grandes bandas centradas a 1415 nm, con una hombrera a 1465 nm, y 1906 nm respectivamente, que se asocian a la vibración de enlace del H_2O de los cationes hidratados de la interlámina (Hunt y Salisbury 1970, Hunt, 1977, Hunt y Ashley 1979, Clarck *et al.*, 1990, Bishop *et al.*, 2008).

En la parte del espectro de longitudes de onda del visible hay una clara diferencia entre las muestras APA, SAN, SHE con respecto a la muestra COU(V). Esta última presenta tres bandas de absorción centradas a 520 nm, 650 nm y 950 nm, todas ellas relacionadas con la presencia de Fe en la estructura de la esmectita; se trata mayoritariamente Fe^{3+} teniendo en cuenta la posición de estas bandas. Esto es debido a las absorciones producidas por transiciones electrónicas entre los distintos orbitales atómicos del Fe por ser un elemento de transición.

En el rango de longitudes de onda correspondientes al infrarrojo, las dos montmorillonitas (muestras APA y SAN) son casi idénticas, tanto en la posición como en las intensidades de los distintos rasgos de absorción y de la reflectancia global del espectro, más elevada que en las otras dos muestras.

La hectorita sintética (SHE) presenta otros rasgos claramente diferentes a menores longitudes de onda, identificándose sólo en esta muestra una banda a 1160 nm y una hombrera muy marcada a 1385 nm que, teniendo en cuenta que no hay ningún otro mineral en la muestra deben corresponder a la hectorita. En el caso de la hombrera del rasgo de absorción debido al agua a 1400 nm, probablemente esté relacionado con la existencia de Li no sólo en posiciones octaédricas sino también como catión de cambio.

Las principales diferencias se observan en longitudes de onda superiores a 2150 nm (Fig. 4), al igual que en los difractogramas, las 4 muestras se dividen en dos grupos: APA y SAN tienen un rasgo de absorción a una longitud de onda de 2215 nm, asociado a la vibración del enlace Al-Al-OH y por lo tanto, nos indica un carácter dioctaédrico, mientras que SHE y COU(V) tienen rasgos de absorción a longitudes de onda de 2289 nm, 2312 nm y 2390 nm, todos ellos asociados con la vibración de enlace trioctaédricos 3M- OH-, pudiendo ser M principalmente Mg, pero también Fe^{2+} en COU(V) y Li en el caso de la hectorita (SHE). La pequeña banda de absorción localizada a 2390 nm en esta última muestra podría estar relacionada con la vibración de los grupos OH enlazados al Li en la capa octaédrica.

De acuerdo con estos resultados la muestra COU(V) se podría clasificar como una saponita rica en Fe.

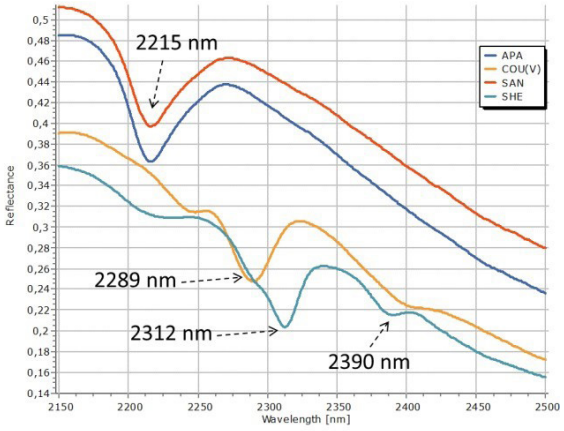


FIGURA 4. Región diferenciadora de los espectros.

CONCLUSIONES

Las muestras estudiadas destacan por su elevada pureza y su bajo contenido en impurezas, como así reflejan tanto la difracción de Rayos-X como la espectroscopía VNIR-SWIR.

Las muestras se han clasificado en dos grupos: i) APA y SAN con un marcado carácter dioctaédrico tanto en DRX por tener la reflexión (060) a 1.49 Å y en el estudio espectroscópico por los rasgos de absorción a 2215 nm, y 2) COU(V) y SHE que tienen un marcado carácter trioctaédrico que se refleja en el espaciado de la reflexión (060) d= 1.52 Å y en la presencia de rasgos de absorción a longitudes de onda de 2289 nm, 2312 nm y 2390 nm asociados con la vibración de enlace Mg-OH. En estas dos últimas muestras hay una clara diferencia en los rasgos de absorción debida a la presencia del Li en la estructura de la hectorita (SHE).

La técnica de espectroscopía VNIR-SWIR se ha mostrado muy útil para el estudio e identificación de esmectitas permitiendo no sólo reconocer la presencia de minerales de este grupo sino tener una aproximación a su cristaloquímica y, por tanto poder identificar el tipo de mineral presente. Esto es especialmente interesante si tenemos en cuenta que se trata de una técnica portátil que se puede utilizar en el campo, así como la rapidez en el registro y tratamiento de los espectros.

REFERENCIAS

Bishop, J.L., Janice L., Pieters, Carlé M. y Edwards, John O. (1994): Infrared Spectroscopic analyses on the nature of water on Montmorillonite. *Clays and Clay Minerals,* Vol. 42, No. 6, pp 702-716.

Clark, R.N., King, T.V.V., Klejwa, M., Swayze, G.A. y Vergo, N. (1990): High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research*, 95, pp 12653–12680.

Hunt, G.R. (1977): Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42, pp 501–513.

Hunt, G.R. y Ashley, R.P. (1979): Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74, pp 1613–1629.

Hunt, G.R. y Salisbury, J.W. (1970): Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: I. Silicate Minerals. *Modern Geology*, 1, pp 283–300.

Distribution of calcite cements in a folded fluvial succession: the Puig-reig anticline (South-eastern Pyrenees).

Distribución de cementos de calcita en un sistema fluvial: el anticlinal de Puig-reig (Pirineos Surorientales).

X. Sun[1], E. Gomez-Rivas[1], J. Alcalde[2], D. Cruset[1], D. Muñoz-López[1], I. Cantarero[1], J.D. Martín-Martín[1] y A. Travé[1]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona (UB), 08028 Barcelona. xiaolong.sun@ub.edu e.gomez-rivas@ub.edu munoz-lopez@ub.edu i_cantarero@ub.edu juandiegomartin@ub.edu atrave@ub.edu

2 Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC), 08028 Barcelona. jalcalde@geo3bcn.csic.es dcruset@geo3bcn.csic.es

Resumen: El cemento de calcita, como mineral autigénico predominante, tiene un efecto muy significativo en la potencial calidad como reservorio del anticlinal de Puig-Reig, que constituye un excelente análogo para el estudio de la distribución de cementos en diferentes facies sedimentarias gracias a la cantidad y calidad de los afloramientos. Tras un exhaustivo estudio estratigráfico y de recogida muestras, se han realizado análisis petrográficos de facies y sus cementos con microscopio óptico y de cátodo-luminiscencia. Se han identificado dos generaciones principales de cementación calcítica que se desarrollaron durante y después del crecimiento del anticlinal, aunque la mayor parte del cemento cristalizó de manera simultánea a su formación. La distribución del cemento está controlada por la posición estructural dentro del pliegue y por las facies y litofacies de la roca encajante. Los depósitos de canales fluviales en la cresta del anticlinal, de grano especialmente grueso, tienden a desarrollar más cementación. Es necesario profundizar en el estudio de las características de la cementación de calcita para obtener mejores estimaciones sobre la calidad de los reservorios y para guiar las actividades de exploración de hidrocarburos o el almacenamiento geológico de CO_2 en estructuras subterráneas similares.

Palabras clave: cementación de calcita, depósitos fluviales, fluidos, Pirineos.

Abstract: *As the most prevalent authigenic mineral, calcite cement exerts a significant effect on reservoir quality of the Puig-reig anticline, which is an excellent outcrop analogue to study calcite cement distribution due to good and continuous exposure. After stratigraphic logging and rock sampling, two major generations of calcite cementation have been identified using petrographic observations under optical and cathodoluminescence microscopes. They formed during and after anticline growth, respectively. Most calcite cement formed simultaneously with the anticline. Calcite cement distribution is controlled by the structural position of sediments in the fold and also by host sedimentary facies and lithofacies. Fluvial channel deposits of the anticline crest, especially relatively coarse deposits, tend to host more calcite cement. A more detailed study on calcite cementation is required to predict high-quality reservoirs and further guide petroleum exploration or carbon storage in similar subsurface structures.*

Keywords: *calcite cementation, fluvial fan deposits, fluids, Pyrenees.*

INTRODUCTION

Calcite is one of the most predominant authigenic minerals cementing clastic rocks and thus exerts significant effects on reservoir properties, fluid flow and solute transport (Dutton et al., 2002; Davis et al., 2006), thus becoming a key concern in hydrocarbon exploration and carbon sequestration. However, calcite cementation tends be heterogeneously distributed and be controlled by many factors, such as the tectonic settings, stratigraphic framework, sedimentary facies and lithofacies and fluid flow (Morad, 1998; Taylor et al., 2000; Cruset et al., 2016). Therefore, a comprehensive study of calcite distribution is a fundamental requirement for reservoir prediction.

GEOLOGICAL SETTING

The Puig-reig anticline is located in the south-eastern Pyrenean fold-and-thrust belt and the north-eastern part of the Ebro Basin. It formed above a thrust ramp consisting of middle and upper Eocene deltaic sandstones and marine marls, which changed into the alluvial-fluvial sediments of the Berga Group and the Solsona Formation after a rapid transition from marine to continental sedimentation (Williams et al., 1998; Sáez et al., 2007; Barrier et al., 2010). In this study, we focus on the Camps de Vall-Llonga Formation, a sub-unit of the Berga Group, and the Solsona Formation. These formations were deposited from a proximal-medial fluvial system. The proximal fluvial deposits, concentrating in the north limb of the anticline, represent sedimentary environments of unconfined flash floods or wide-shallow channel streams. The medial fluvial deposits, covering the rest of the anticline, represent sedimentary environments of braided channel streams and overbanks. The distal fluvial deposits are composed of terminal lobes and deltas, which are located southward of this anticline (Sáez et al., 2007).

METHODS

The study area presents excellent outcrops along roads that cut through the Puig-reig anticline. Seven high-resolution (decimeter-scale) stratigraphic logs with a total length exceeding 3000 m were analysed in detail. We recorded the thickness, grain size, sedimentary structures and bioturbations, which collectively allowed the identification of sedimentary facies and stratigraphic correlations. Petrographic observations were made using optical and cathodoluminescence microscopy to distinguish carbonate cement generations and determine their relative content in host rocks and veins. Forty polished thin sections from different structural positions of the anticline, and representing different sedimentary facies and lithofacies were analysed using a Zeiss Axiophot optical microscope and a Technosyn Cold Cathodoluminescence microscope, model 8200 Mk5-1 operating 16 to 17 kV and 270 to 290 μA gun current.

RESULTS AND DISCUSSION

Calcite is the most prevalent diagenetic mineral in the Puig-reig anticline. Two major generations of calcite cementation have been recognized from petrographic observations. The dominant calcite cement, which appears filling pores, replacing clasts and forming vein and microvein fillings (Fig. 1a-d), is closely related to fluid flow during the structural evolution of the Puig-reig anticline. This cement presents blocky crystal morphology and luminescence ranging from dull or bright orange colour. The second generation calcite is non-luminiscent and presents euhedral blocky structure. It is only found in veins filling the first vein generation (Fig. 1e and f), revealing that it formed in more recent periods, probably due to rock exposure after tectonic uplift.

In host rocks, the content of calcite cements mainly ranges from 5% to 15% of the total rock volume, which resulted in

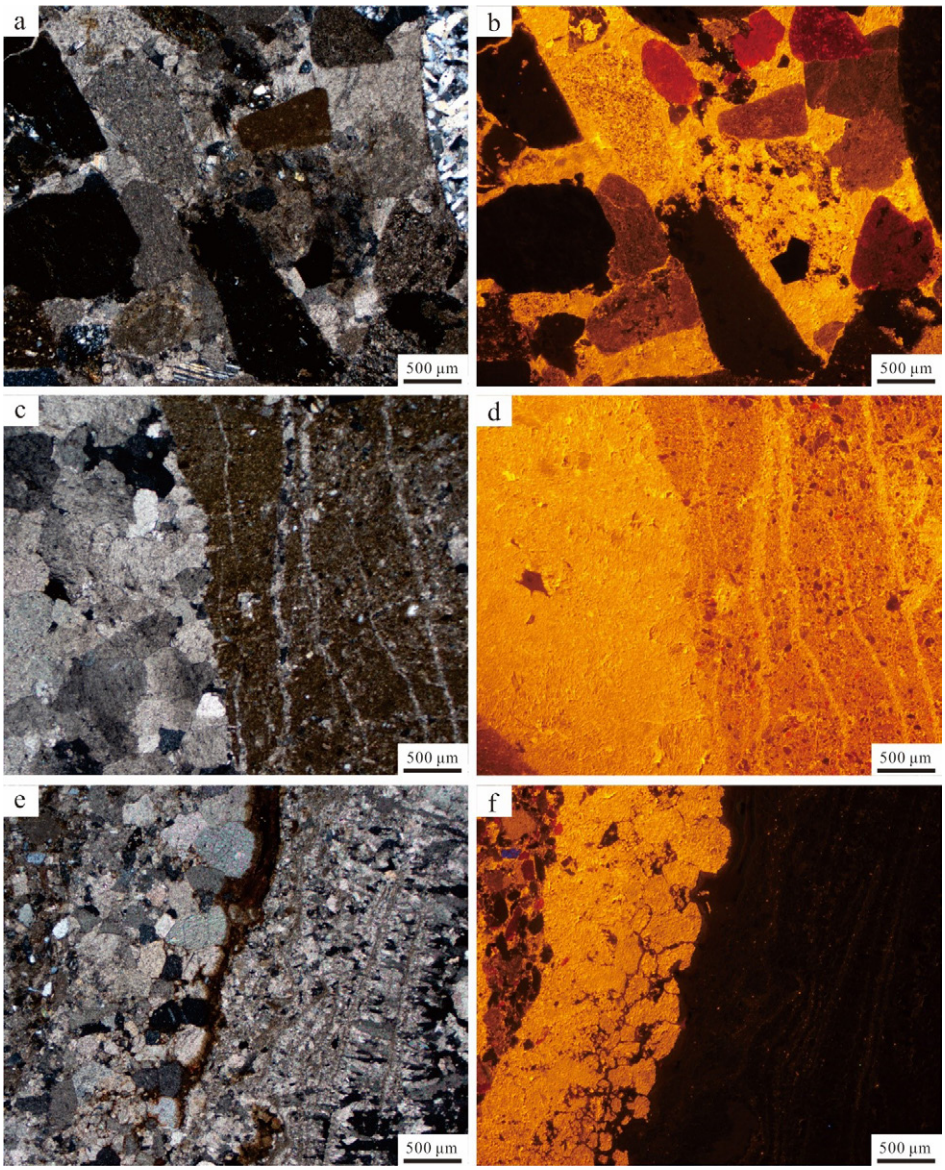


FIGURE 1. Images of polarizing optical microscope and cathodoluminescence of calcite cements from the Puig-reig anticline: (a-b) prevalent pore filling calcite cements; (c-d) similar luminescence of calcite cement in vein, micro vein and pore filling; (e-f) non-luminous vein covering previous vein with bright orange luminescence.

the overall low matrix porosity. The distribution of calcite cements is controlled by several factors, such as the structural position in the fold and the host sedimentary facies and lithofacies. The anticline crest tends to have more calcite cements than the rocks of the limbs because the crest experienced more intense tectonic fracturing and associated fluid flow. On the other hand, medial fluvial channel deposits contain more calcite cements than overbank deposits and proximal fluvial deposits. Meanwhile, calcite veins appear preferentially developed in conglomerates and coarse sandstones rather than in fine and clay deposits. This reveals that sedimentary facies and primary lithofacies probably affected the pore structure, the degree of fracturing and fluid flow, thus controlling calcite cementation. A comprehensive study of calcite distribution on this kind of outcrop analogue is conducive to identify high-quality reservoirs for petroleum exploration or carbon storage in similar subsurface structures.

ACKNOWLEDGEMENTS

Funding was provided by the Grup Consolidat de Recerca "Geologia Sedimentària" (2017SGR-824) and the DGICYT Spanish Project PGC2018-093903-B-C22. XS acknowledges funding by the China Scholarship Council for a PhD scholarship (201806450043). EGR acknowledges funding provided by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities ("Ramón y Cajal" fellowship RYC2018-026335-I). JA is funded by MICINN (Juan de la Cierva fellowship - IJC2018-036074-I)

REFERENCES

Barrier, L., Proust, J.N., Nalpas, T., Robin, C. y Guillocheau, F. (2010): Control of Alluvial Sedimentation at Foreland-Basin Active Margins: A Case Study from the Northeastern Ebro Basin (Southeastern Pyrenees, Spain). *Journal of Sedimentary Research*, 80: 728-749.

Cruset, D., Cantarero, I., Travé, A., Vergés, J. y John C.M. (2016): Crestal graben fluid evolution during growth of the Puig-reig anticline (South Pyrenean fold and thrust belt). *Journal of Geodynamics*, 101: 30-50.

Davis, J.M., Roy, N.D., Mozley, P.S. and Hall, J.S. (2006): The effect of carbonate cementation on permeability heterogeneity in fluvial aquifers: An outcrop analog study. *Sedimentary Geology*, 184: 267-280.

Dutton, S.P., White, C.D., Willis, B.J. and Novakovic, D. (2002): Calcite cement distribution and its effect on fluid flow in a deltaic sandstone, Frontier Formation, Wyoming. *AAPG Bulletin*, 86: 2007-2021.

Morad, S. (1998): Carbonate cementation in sandstones: Distribution patterns and geochemical evolution. IAS Special Publication. Oxford, UK: Blackwell Scientific, 1-26.

Sáez, A., Anadón, P., Herrero, M.J. y Moscariello, A. (2007): Variable style of transition between Palaeogene fluvial fan and lacustrine systems, southern Pyrenean foreland, NE Spain. *Sedimentology*, 54: 367-390.

Taylor, K.G., Gawthorpe, R.L., Curtis, C.D., Marshall, J.D. and Awwiller, D.N. (2000): Carbonate cementation in a sequence-stratigraphic framework: Upper Cretaceous sandstones, Book Cliffs, Utah-Colorado. *Journal of Sedimentary Research*, 70: 360-372.

Williams, E.A., Ford, M., Vergés, J. and Artoni, A. (1998): Alluvial gravel sedimentation in a contractional growth fold setting, Sant Llorenc de Morunys, southeastern Pyrenees. *Geological Society Special Publication*, 134: 69-106

Authigenic mineral precipitates in acidic pit lakes and incubation columns related to biogeochemical factors.

Factores biogeoquímicos relacionados con precipitados minerales autigénicos en lagos mineros ácidos y columnas de incubación.

I. Yusta[1], A. Ilin[1] y J. Sánchez-España[2]

1 Department of Geology, University of the Basque Country (UPV/EHU), Apdo. 644, 48080 Bilbao, Spain. i.yusta@ehu.eus; andrey.ilin@ehu.eus

2 Instituto Geológico y Minero de España, IGME. Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, Spain. j.sanchez@igme.es

Keywords: *acidic pit lakes, incubation columns, authigenic minerals.*

Abstract

Acidic Pit Lakes (APLs) formed in abandoned metal mines represent excellent natural laboratories for the study of authigenic mineral formation resulting from diverse biogeochemical processes in the water column and bottom sediments. Geochemical conditions include extreme to moderate acid pH (from ~2 to 4.5) in waters, oxidative to highly reductive Eh (800 to -200 mV), permanent isolation of deep anoxic waters (up to 130 meters deep) and its bottom sediments, as well as very high dissolved sulfate and metals in water (e.g. Fe, Al, Zn, Cu, As, Pb, Cd) and the presence of sulfate- and Fe-reducing/oxidizing microorganisms. After a decade of monitoring waters and sediments of APLs in abandoned metal sulfide mines of the Iberian Pyrite Belt (Huelva, Spain) and La Unión (Murcia), together with in-lab simulations using incubation columns constructed with indigenous microorganisms and original waters and bottom sediments, a wide variety of authigenic precipitates were found. Fe-oxy-hidroxysulfates (schwertmannite, K- and H_3O^+-jarosite) are the main phases in acid oxic waters (pH 2.0-3.5), while hydrobasaluminite prevails in less acidic anoxic settings (pH>4.0); Zn, Cu, As, and Fe sulfides (e.g. wurtzite, covellite, chalcocite..) appear related to anoxic sulfidic layers formed as a result of sulfate reducing bacteria activity. The morphology and crystallinity of those precipitates greatly varies, from amorphous to nano- or microcrystalline, especially in sulfides and Al-precipitates, some of which incorporate other absorbed or substituting cations (Cd, Cu, Se…). The relation between mineral neoformation, biogeochemical conditions and mineral aging is explored using mineralogical techniques (selective separation, XRD, SEM, TEM).

Resumen

Los lagos ácidos mineros (APLs) formados en minas abandonadas representan excelentes laboratorios naturales para el estudio de la formación de minerales autigénicos precipitados por diversos procesos biogeoquímicos en columna de agua y sedimentos del fondo. Las condiciones geoquímicas incluyen pH ácido extremo a moderado (-2 a 4.5), Eh oxidante a muy reductor (800 a -200 mV), aislamiento permanente de sus aguas anóxicas profundas (hasta 130 metros de profundidad) y los sedimentos del fondo; junto a contenidos muy altos de sulfato y metales disueltos (*e.g.* Fe, Al, Zn, Cu, As, Pb, Cd) y la presencia de microorganismos reductores/oxidantes de sulfato y Fe. Después de una década de monitorización de aguas y sedimentos de APLs en minas de sulfuros de la Faja Pirítica Ibérica (Huelva, España) y La Unión (Murcia), junto con ensayos de laboratorio con columnas de incubación construidas con microorganismos autóctonos y aguas y sedimentos del fondo de los APLs, se constata una amplia variedad de precipitados autigénicos. Los oxihidroxisulfatos de Fe (schwertmannita, K- y H_3O^+ -jarosita) son las fases principales en aguas ácidas y oxidantes (pH 2.0-3.5), la hidrobasaluminita en condicioness anóxicas menos ácidas (pH> 4.0); y los sulfuros de Zn, Cu, As y Fe (por ejemplo, wurtzita, covellita, calcocita ...) aparecen relacionados con niveles anóxicos de sulfato reducción y la comunidad bacteriana asociada. La morfología y cristalinidad de los precipitados es muy variada, desde amorfas hasta nano- o microcristalinas, especialmente en sulfuros y precipitados de Al, donde algunos de ellos incorporan otros cationes absorbidos o en sustitución (Cd, Cu, Se ...). La relación entre minerales autigénicos, condiciones biogeoquímicas y envejecimiento mineral se explora utilizando técnicas mineralógicas (separación selectiva, DRX, SEM, TEM).

Metapelitas de alta presión de la Unidad de Badajoz-Córdoba (Macizo Ibérico): la sutura del Devónico Superior del Orógeno Varisco.

High pressure metapelites from the Badajoz-Córdoba Unit (Iberian Massif): the late Devonian suture of the Variscan Orogen.

R. Arenas[1], I. Novo-Fernández[1], A. García-Casco[2], R. Díez Fernández[3], J.M. Fuenlabrada[4], M.F. Pereira[5], J. Abati[1], S. Sánchez Martínez[1], F.J. Rubio Pascual[3]

1 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, Madrid, Spain.
2 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Inst. Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR, CSIC), Universidad de Granada, Granada, Spain.
3 Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Spain.
4 Unidad de Geocronología (CAI de Ciencias de la Tierra y Arqueometría), Universidad Complutense, Madrid, España.
5 ICT, Dpt. de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal. rarenas@ucm.es; inovo@ucm.es; agcasco@ugr.es; r.diez@igme.es; jmfuenla@ucm.es; mpereira@uevora.pt; abati@ucm.es; s.sanchez@geo.ucm.es; f.rubio@igme.es

Palabras clave: High-P metapelites, Late Devonian metamorphism, SW Iberian Massif, Variscan correlations.

Resumen

La Unidad de Badajoz-Córdoba (BCU) representa un terreno de alta-P constituido esencialmente por metapelitas, metagrauvacas, ortogneises, Grt-anfibolitas y eclogitas muy retrogradadas. El evento de metamorfismo de alta-P ha sido datado en c. 377 Ma. En la unidad se han descubierto raras metapelitas con paragénesis de alta-P bien preservadas. Aparecen como rocas blanquecinas foliadas de grano grueso, en las que destacan grandes granates rojos o rosáceos de hasta 1 cm de diámetro con abundantes inclusiones. La paragénesis mineral de estas metapelitas incluye granate, cloritoide, (hasta XMg=0.32), distena, estaurolita, clorita, fengita (hasta Si=3.16 apfu), paragonita, margarita y rutilo. La modelización termodinámica (pseudosecciones) realizada en muestras representativas, indica que esta mineralogía es resultado de un primer episodio metamórfico de alta-P en condiciones de P> 20 kbar y T= c. 525°C (facies de esquistos azules-eclogitas), y una subsecuente severa exhumación con moderado calentamiento. Las características de la BCU son similares a las de otras unidades de alta-P y baja-intermedia-T asociadas a una de las suturas Variscas del Macizo Ibérico. La correlación con otros conjuntos equivalentes a lo largo del Orógeno Varisco puede extenderse hasta el Macizo de Bohemia.

Abstract

The Badajoz-Córdoba Unit (BCU) represents a high-P terrane mainly constituted by metapelites, metagreywackes, orthogneisses, Grt-amphibolites and highly retrogressed eclogites. The high-P metamorphic event has been dated at c. 377 Ma. Rare metapelites with well-preserved high-P mineral assemblages have been discovered in the unit. They appear as foliated white-colored rocks, in which large pinkish-red garnets up to 1 cm in diameter with abundant inclusions stand out. The mineral assemblage of these metapelites includes garnet, chloritoid (up to XMg = 0.32), kyanite, staurolite, chlorite, phengite (up to Si = 3.16 apfu), paragonite, margarite and rutile. Pseudosection modelling of representative samples indicates that this mineral assemblage formed during a first high-P metamorphic event at P> 20 kbar and T= c. 525°C (blueschist-eclogite facies), followed by a severe exhumation with moderate heating. The BCU can be correlate with other equivalents high-P and low-intermediate-T units in the Iberian Massif, and also all along the Variscan Orogen from Iberia to the Bohemian Massif.

Isótopos de litio como trazadores de procesos magmáticos en basaltos de islas oceánicas de intraplaca (OIB): el caso estudio de El Hierro (Islas Canarias).

Lithium isotope composition as tracer of magmatic processes at intraplate Ocean Island Basalts (OIB): a case study from El Hierro (Canary Islands).

M. Aulinas[1], I. Arienzo[2], M. D'Antonio[3], J.L. Fernández-Turiel[4], M. Rejas[4], C. Prieto[1], J. Urpí[1], A. Rodríguez-González[5] y F.J. Pérez-Torrado[5]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. meritxellaulinas@ub.edu; c.prieto.torrell@gmail.com; juliaurba@hotmail.com
2 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Italy. ilenia.arienzo@ingv.it
3 Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Via Vicinale Cupa Cintia 21, 80126, Napoli, Italy. massimo.dantonio@unina.it
4 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA, CSIC, Barcelona. jlfernandez@ictja.csic.es; mrejas@ictja.csic.es
5 Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i–UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alejandro.rodriguezgonzalez@ulpgc.es, franciscojose.perez@ulpgc.es

Palabras clave: geoquímica, isótopos de Li, Islas Canarias, El Hierro

Resumen

El litio (Li) tiene dos isótopos estables, ^{7}Li (92,4%) y ^{6}Li (7,6%). Su gran diferencia relativa en masa puede conducir a un fraccionamiento isotópico significativo a baja temperatura. Este hecho y su alta solubilidad en fluidos acuosos, hacen que los isótopos de Li sean potencialmente útiles como trazadores de procesos de enfriamiento magmático y alteraciones. Por otra parte, el fraccionamiento de isótopos de Li puede ocurrir a alta temperatura debido a diferencias en su difusividad y al reparto entre minerales y magma. Hasta la fecha, no se han realizado investigaciones de Li sobre productos volcánicos del archipiélago canario para estudiar los procesos magmáticos y la composición del manto de la Tierra. Este estudio es una prueba piloto de la utilización de los isótopos de Li para estudiar los procesos magmáticos del volcanismo holoceno en El Hierro. Esta investigación se financia con el proyecto LAJIAL (ref. PGC2018-101027-B-I00, MCIU / AEI / FEDER, UE) y se realiza en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación GEOVOL (Gobierno de Canarias, ULPGC) y GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Abstract

Lithium (Li) has two stable isotopes, ^{7}Li (92.4%) and ^{6}Li (7.6%). Their large relative difference in mass can lead to significant isotopic fractionation, especially in low temperature environments. This feature together with its high solubility in aqueous fluids, makes Li isotopes potentially useful tracers of magmatic cooling histories and weathering. On the other hand, Li isotope fractionation can occur at high temperature due to differences in diffusivity as well as partitioning of Li between minerals and melt. To date, no Li investigations have been performed on volcanic products from the Canarian Archipelago in order to study magmatic processes and Earth's mantle composition. This study acts as a driving factor towards the utilization of the Li-isotope systematics for future studies in the Canary Islands. In this contribution, we test the application of the Li-isotope to shed new light on the magmatic processes involved during the Holocene volcanism at El Hierro. Financial support was provided by the Project LAJIAL (ref. PGC2018-101027-B-I00, MCIU/AEI/FEDER, EU). This study was carried out in the framework of the Research Consolidated Groups GEOVOL (Canary Islands Government, ULPGC) and GEOPAM (Generalitat de Catalunya, 2017 SGR 1494).

Edad de cristalización magmática a partir de circones ígneos con un rango elevado de edades U-Pb concordantes: Dos ejemplos de la Sierra de Fiambalá (Sierras Pampeanas, Argentina).

Age of magma crystallization from igneous zircon showing a large range of concordant U-Pb ages: Two examples from the Sierra de Fiambalá (Sierras Pampeanas, Argentina).

C. Casquet[1], P. Castiñeiras[1], P.H. Alasino[2, 3], J.A. Dahlquist[4] y E.g. Baldo[4]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense 28040 Madrid. casquet@ucm.es, castigar@ucm.es

2 Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja (CRILAR), Prov. de La Rioja-UNLaR-SEGEMAR-UNCa-CONICET, Entre Ríos y Mendoza, 5301, Anillaco, La Rioja, Argentina. phalasino@gmail.com

3 Instituto de Geología y Recursos Naturales (INGeReN), CENIIT-UNLaR, Av. Gobernador Vernet y Apóstol Felipe, 5300, La Rioja, Argentina.

4 Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA). CONICET-UNC. Av. Vélez Sarsfield 1611. Ciudad Universitaria X5016GCA, Argentina. juan.andres.dahlquist@unc.edu.ar, edgardo.baldo@unc.edu.ar

Resumen: Se han analizado elementos traza en circón de dos muestras de rocas ígneas de la Sierra de Fiambalá, en las Sierras Pampeanas, al NO de Argentina. En ambas muestras, una gabronorita y una granodiorita, las edades obtenidas previamente mediante SHRIMP no arrojaron resultados concluyentes, ya que la dispersión de edades concordantes varía entre 20 y 80 millones de años. Usando la composición de tierras raras del circón, que es bastante homogénea en las dos muestras, podemos justificar que la variabilidad observada en las edades no se debe probablemente a un período de cristalización magmática largo, sino que está causada por una pérdida de plomo. De esa manera, la edad de esas rocas debería de obtenerse a partir del conjunto de las edades más antiguas del rango concordante.

Palabras clave: Sierra de Fiambalá, Sierras Pampeanas, composición de circón, geocronología.

Abstract: *We have analyzed trace elements in zircon from two igneous samples collected in Sierra de Fiambalá, at Sierras Pampeanas, in NW Argentina. In both samples, a gabbronorite and a granodiorite, the obtained ages using SHRIMP did not yielded a conclusive result, as the concordant ages smeared between 20 and 80 m.y. Using zircon rare earth element composition, which is quite homogeneous in both samples, we can argue that the observed age variability is not caused by a large range of magmatic crystallization ages, but it is the result of lead loss. Accordingly, the age of these rocks should be calculated from the oldest set of concordant ages.*

Keywords: *Sierra de Fiambalá, Sierras Pampeanas, zircon composition, geochronology*

INTRODUCCIÓN

Un problema frecuente al datar rocas ígneas o rocas metamórficas de alto grado mediante técnicas que permiten el análisis puntual es la gran dispersión que se observa en los datos. Esto es debido a que la incertidumbre asociada a cada análisis individual no permite la evaluación de datos ligeramente discordantes. Asumiendo que no se trata de un problema analítico, existen varias interpretaciones para explicar esta dispersión: i) que ese intervalo represente un proceso geológico real (*e.g.*, Coleman *et al.*, 2004); ii) que la edad real sea la más joven y las edades antiguas representen herencias (*e.g.*, Sambridge y Compston, 1994) y, iii) que la edad real sea la más antigua y las edades jóvenes representen pérdida de plomo (*e.g.*, Castiñeiras *et al.*, 2010). Para poder obtener una edad de cristalización en estos casos, es necesario recurrir a información adicional, como el sistema isotópico Lu-Hf (Gerdes y Zeh, 2009) o la geoquímica del circón (Castiñeiras *et al.*, 2010).

En este trabajo vamos a utilizar la geoquímica del circón de dos muestras de rocas ígneas de composición contrastada, que se ubican dentro de la misma región geológica, la Sierra de Fiambalá, en las Sierras Pampeanas al NO de Argentina (deBari, 1994). Ambas muestras fueron datadas previamente mediante SHRIMP y las edades con una discordancia menor del 10% presentan una dispersión entre 20 y 80 millones de años. Otros autores (ver Weinberg *et al.*, 2018, y referencias citadas él) han encontrado rangos de edades similares dentro del ciclo orogénico Famatiniano que interpretan como resultado de un proceso geológico continuo. Sin embargo, nuestros resultados apuntan a otra interpretación.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Se han seleccionado dos muestras de las que se dispone de edades U-Pb SHRIMP de circón y de análisis de tierras raras (REE) y otros elementos traza, efectuadas mediante LA-ICP-MS en los propios granos datados previamente. Ambos métodos analíticos pertenecen al Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada. Las muestras y sus coordenadas son: una gabronorita (FIA-40001; 27º55'3.7"S/67º27'31.9"O) y una granodiorita (FIA-40012; 27º17'13.8"S/67º26'59.7" O). Ambas se localizan en la Sierra de Fiambalá, una de las Sierras Pampeanas noroccidentales que enlazan estas con el altiplano de La Puna al norte. Se trata de una extensa región de difícil acceso con diferencias de altitud entre 1000 y 4000 m.

La gabronorita pertenece al Fiambalá Gabbroic Intrusion (deBari, 1994) consistente en un complejo estratificado de unos 30 km^2, formado por un acumulado basal (dunita, websterita) de unos 200-500 m, seguido de casi 2500 m de gabros con dos piroxenos y de gabros hornbléndicos, débilmente bandeados. El magma parental fue toleítico, rico en Mg e hidratado, con más del 11% de MgO (deBari, 1994). Grissom *et al.* (1998) aportan una edad U-Pb de cristalización de 510-515 Ma. La muestra escogida es una gabronorita de la parte más alta del complejo. De su peculiar composición química, destacamos los contenidos de SiO_2 = 47.87%; Al_2O_3 = 19.75%; MgO = 5.8%; CaO = 11.16%, siendo además bajos los contenidos de elementos como el Cr (22 ppm) y el Ni (20 ppm). Las REE suman 60 ppm y el contenido de Zr es relativamente elevado (70 ppm), lo que se refleja en la presencia de circón. Petrográficamente, se trata de una gabronorita formada por un mosaico de plagioclasa granoblástica (An_{90-100}), Opx, Cpx y Hbl, con opacos, apatito y circón accesorios. Es también reseñable la presencia de monacita (Grissom *et al.*, 1998), que posiblemente juegue un importante papel en la composición del circón. Además, se pueden encontrar minerales de alteración, localizados junto a fracturas, como anfíbol verde fibroso, opacos, albita y clorita.

La granodiorita del Tatón es un cuerpo grande, de forma y extensión desconocidas, encajado en gneises migmatíticos en la parte norte de la Sierra de Fiambalá. En campo es un granitoide biotítico de grano grueso y estructuralmente isótropo, aunque recorrido por pequeñas fajas de cizalla dúctil y con xenolitos micáceos. De su composición química destacamos el SiO_2 = 64.81%; MgO = 2.46% y el K_2O = 4.96%. El contenido total en REE es de 295 ppm y el Zr = 302 ppm. Su composición mineral es: Qtz, Pl, Bt, Kfs, Ep, Zr, Spn, Rt (sagenita en Bt), Ap, Ser (alterando a Pl), Ms (??). La plagioclasa (An_{15-20}) contiene abundantes inclusiones, por lo general desorientadas, de prismas de clinozoisita. Las placas de biotita están kinkadas y/o dobladas con abundante titanita localizada en regiones más deformadas dentro y en el borde de los cristales. La biotita localmente parece recristalizada. Se reconocen también microenclaves ricos en Bt. El cuarzo también muestra recristalización granoblástica poligonal localizada. El Kfs es micropertita y puede estar microclinizada. Hay mirmequitas. La roca sufrió una deformación débil y recritalización a alta T.

En ambos casos, la caja de los plutones la forman rocas metasedimentarias de edad todavía imprecisa y con un grado de metamorfismo variable, entre facies esquistos verdes y anfibolitas (Grissom *et al.*, 1998). Rapela *et al.* (2016) encuentran en la parte occidental de Fiambalá gneises migmatíticos con circones detríticos no más jóvenes de 900 Ma que interpretan como parte de una serie metasedimentaria Neoproterozoica, que incluye también mármoles y rocas de silicatos cálcicos, y que es de procedencia Lauréntica (Serie de Ancajaán). Asimismo, Grissom *et al.* (1998) datan mediante U-Pb en circones un ortogneis ubicado en dicha serie, obteniendo una edad de 550-540 Ma. En cuanto al metamorfismo regional, lo ubican entre 515 y 470 Ma basándose en edades U-Pb de monacita procedente de los gneises migmatíticos y sus leucosomas.

GEOCRONOLOGÍA

Gabronorita de Fiambalá FIA-40001

Se obtuvieron varios granos de circón de formas irregulares debidas a resorción. No muestran zonado o bien tienen un típico zonado en sectores o paralelo u oscilatorio en unos pocos granos. Se obtuvieron edades U-Pb en 50 puntos. Los contenidos de Th y U son variables en los rangos 9.4 a 82.5 ppm y 31.5 a 160 ppm, respectivamente. Veinticuatro análisis puntuales muestran discordancia >10% (respecto a la concordia). Los análisis concordantes (disc. < 10%) arrojan edades ($^{206}Pb/^{238}U$) continuas entre c. 460 Ma y 538 Ma, la mayoría concentradas entre 475 y 515 Ma (Th/U entre 0.1 y 1.17). Con los análisis concordantes se obtienen dos edades Concordia: 481.7 ± 3.7 Ma (MSWD = 0.039; prob. de concord. = 0.84; edades entre 470 and 495 Ma) y 506.5 ± 5.1 Ma (MSWD = 0.37; prob. de concord. = 0.54; edades entre 495 y 520 Ma).

Granodiorita El Tatón FIA-40012

Se separaron abundantes granos euhedrales prismáticos con zonado oscilatorio. El rango de edades obtenido en los 24 puntos analizados varía entre 504 y 1850 Ma. El grupo principal (n=20) va de 504 a 528 Ma (Th/U = 0.27-0.54). Son granos ígneos próximos a la concordia, el resto son xenocristales. Una vez eliminados del grupo principal los que contienen más Pb común (>0.1%) que dan mayor discordancia, queda un continuo de edades entre 504 ± 6 Ma y 528 ± 3 Ma.

RESULTADOS

Se analizaron elementos traza en 16 circones concordantes previamente datados mediante SHRIMP, pertenecientes a las muestras FIA-40001 (9 análisis, ver Tabla I) y FIA-40012 (7 análisis, ver Tabla I). En un diagrama de tierras raras normalizado al condrito (Fig. 1) se puede distinguir que los circones en ambas rocas tienen signaturas geoquímicas características. Por un lado, la muestra FIA-40012 presenta un mayor contenido en REE, una marcada anomalía negativa de Eu y una ligera anomalía positiva de Ce. Por otro lado, en la muestra FIA-40001 tanto el fracciona-

miento como la anomalía de Ce son mucho más pronunciados, aunque no se aprecia una anomalía de Eu.

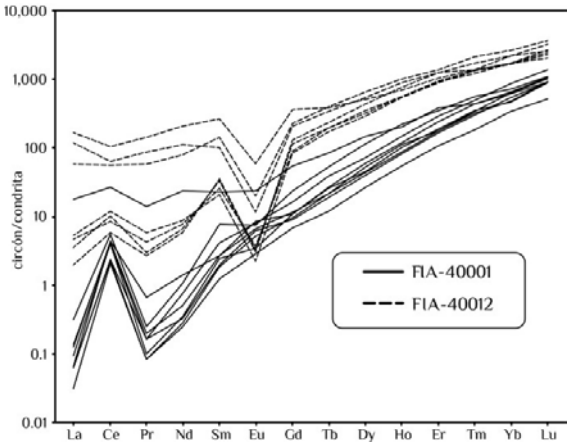


FIGURA 1. Diagrama de tierras raras normalizado al condrito para los circones de las muestras FIA-40001 (gabronorita) y FIA-40012 (granodiorita) donde resultan evidentes sus características composicionales. Explicación en el texto.

Hemos calculado la temperatura a partir del contenido en titanio del circón mediante el termómetro desarrollado por Watson y Harrison (2005), asumiendo una actividad de 0.7 tanto para el titanio como para la sílice. Aunque la temperatura absoluta que se obtiene con este método puede ser discutible, la variabilidad que se observa entre los diferentes análisis de la misma muestra se puede usar para monitorizar procesos petrogenéticos (ver Castiñeiras *et al.,* 2011, y referencias citadas en él).

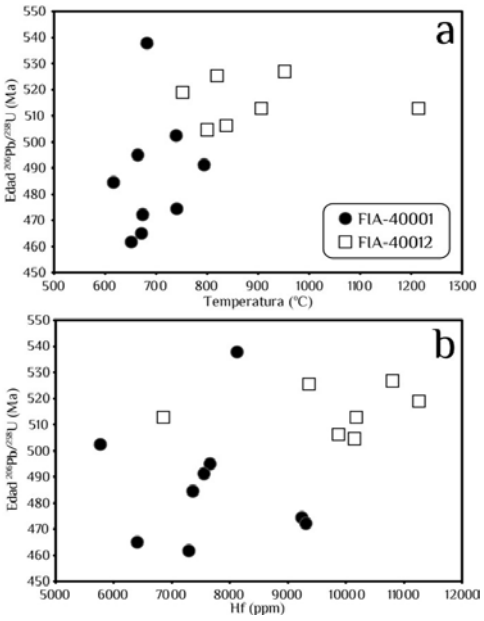


FIGURA 2. Diagramas de la edad del circón obtenida mediante SHRIMP frente a la temperatura calculada a partir del termómetro de Ti en circón (a) y al hafnio (b). Explicación en el texto.

Proyectando la temperatura así calculada frente a la edad obtenida mediante SHRIMP (Fig. 2a), no existe una clara correlación entre ambos parámetros dentro de cada muestra. Para revelar posibles procesos de evolución magmática también se ha usado el hafnio (Fig. 2b). Proyectándolo frente a la edad, se observa que es complicado establecer una clara correlación. En este sentido, es muy significativa el agrupamiento que se aprecia en la muestra FIA-40012, cuyas implicaciones se discutirán más adelante.

Si proyectamos la anomalía de europio (Eu/Eu*) frente a la edad (Fig. 3) observamos una marcada anomalía en la muestra FIA-40012, que no define ninguna tendencia. En el caso de la muestra FIA-40001, los datos están más dispersos, pero tampoco existe una correlación entre ambos parámetros.

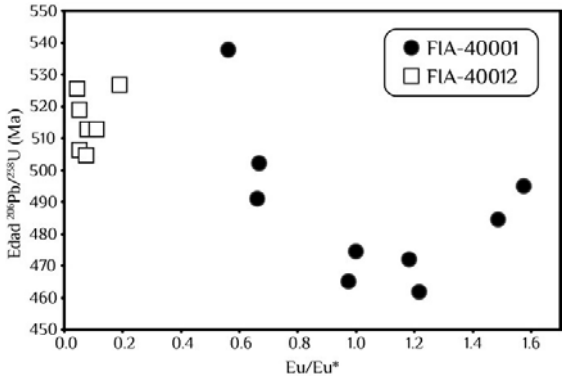


FIGURA 3. Diagrama de la anomalía de europio frente a la edad obtenida mediante SHRIMP.

INTERPRETACIÓN

Los datos composicionales de tierras raras en circón resultan de gran utilidad al interpretar el significado de la dispersión de edades en ambas muestras. En el caso de la gabronorita (muestra FIA-40001), las pautas de REE de la Fig. 1 son bastante homogéneas. Además, en los diagramas en los que se enfrenta la edad a algún parámetro composicional, no se observan tendencias claras. Este comportamiento sugiere que la dispersión de edades no puede ser debida a un proceso de evolución magmática, como interpretan Weinberg *et al.* (2018). La variabilidad composicional del circón en esta muestra puede explicarse puntualmente como resultado de una herencia (para el análisis de 538 Ma), pero para la anomalía de europio, puede ser el resultado combinado de variaciones en el grado de oxidación y/o de la influencia de la monacita (descrita en estas rocas por Grissom *et al.,* 1998) en el contenido de tierras raras ligeras (LREE).

Para la granodiorita (muestra FIA-40012), la aparente variabilidad del contenido en LREE (Fig. 1) podría deberse que la alteración post-magmática ha facilitado la entrada de estos elementos en la estructura del circón. Sin embargo, es muy llamativo el agrupamiento de los datos de la anomalía de europio en esta muestra, que sugiere que los circones no han registrado un proceso de cristalización fraccionada.

Teniendo en cuenta tanto la ausencia de correlaciones elementales claras y la homogeneidad composicional, lo más razonable sería interpretar la dispersión de las edades como

un proceso de pérdida de plomo. De esa manera, la edad de cristalización de estas rocas ha de obtenerse del conjunto de datos más antiguos (ver Castiñeiras *et al.*, 2010). Así, la edad de la gabronorita (FIA-40001) estaría en torno a los 500 Ma, mientras que la edad de la granodiorita (FIA-40012) sería de alrededor de 520 Ma.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del proyecto CGL2016-76439-P del MINECO (España) y de los proyectos CONICET PIP0229, FONCYT PICT 0472 (Argentina). Los autores queremos dedicar este trabajo a la memoria de la Dra. Carmen Galindo.

REFERENCIAS

Castiñeiras, P., Díaz García, F. y Gómez Barreiro, J. (2010): REE-assisted U–Pb zircon age (SHRIMP) of an anatectic granodiorite: Constraints on the evolution of the A Silva granodiorite, Iberian allochthonous complexes. *Lithos*, 116: 153-166.

Castiñeiras, P., Navidad, M., Casas, J.M., Liesa, M. y Carreras, J. (2011): Petrogenesis of Ordovician magmatism in the Pyrenees (Albera and Canigó massifs) determined on the basis of zircon minor and trace element composition. *Journal of Geology*, 119: 521-534.

Coleman, D.S., Gray, W. y Glazner, A.F. (2004): Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne Intrusive Suite, California. *Geology*, 32: 433-436.

deBari, S.M. (1994): Petrogenesis of the Fiambalá Gabbroic Intrusion, northwestern Argentina, a deep crustal syntectonic pluton in a continental magmatic arc. *Journal of Petrology*, 35: 679-713.

Gerdes, A. y Zeh, A. (2009): Zircon formation versus zircon alteration — new insights from combined U–Pb and Lu–Hf in-situ LA-ICP-MS analyses, and consequences for the interpretation of Archean zircon from the Central Zone of the Limpopo Belt. *Chemical Geology*, 261: 230-243.

Grissom, G.C., deBari, S.M. y Snee, L.W. (1998): Geology of the Sierra de Fiambalá, northwestern Argentina: implications for Early Palaeozoic Andean tectonics. En: *The proto-Andean margin of Gondwana* (R.J. Pankhurst y C.W. Rapela, eds.). Geological Society, London, Special Publications, 142: 297-323.

Rapela, C.W, Verdecchia, S.O., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Baldo, *E.g.*, Galindo, C., Murra, J.A., Dahlquist, J.A. y Fanning, C.M. (2016): Identifying Laurentian and SW Gondwana sources in the Neoproterozoic to Early Paleozoic metasedimentary rocks of the Sierras Pampeanas: Paleogeographic and tectonic implications. *Gondwana Research*, 32: 193-212.

Sambridge, M.S. y Compston, W. (1994): Mixture modeling of multi-component data sets with application to ion-probe zircon ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 128: 373-390.

Watson, E.B., y Harrison, T.M. (2005): Zircon thermometer reveals minimum melting conditions on earliest Earth. *Science*, 308: 841-844.

Weinberg, R.F., Becchio, R., Farias, P., Suzaño, N. y Sola, A. (2018): Early Paleozoic accretionary orogenies in NW Argentina: Growth of West Gondwana. *Earth-Science Reviews*, 187: 219-247.

Punto	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Edad
40001																
10.1	5.68	22.14	1.69	14.34	4.53	1.78	14.56	4.09	48.77	15.33	83.01	14.38	137.42	30.10	5766	502.3
3.1	0.01	1.70	0.01	0.17	0.37	0.39	2.57	1.05	14.61	6.64	37.76	11.03	140.93	33.38	7297	461.8
6.1	0.02	1.86	0.01	0.15	0.25	0.22	1.79	0.59	8.67	4.06	23.33	5.92	75.41	17.01	9237	474.5
6.2	0.02	1.95	0.02	0.20	0.39	0.47	2.37	0.92	13.03	6.06	36.09	9.78	121.01	29.70	7371	484.6
7.1	0.03	3.30	0.02	0.46	0.83	0.61	4.38	1.93	23.44	10.92	61.85	16.07	191.79	45.48	6406	465.0
40001b																
14.1	0.10	4.46	0.03	0.65	1.53	0.57	6.19	2.59	37.62	16.59	76.20	18.38	158.44	36.13	8127	537.7
27.1	0.04	3.47	0.02	0.31	0.54	0.50	3.06	1.06	17.33	8.30	38.43	10.44	106.97	30.46	9313	472.0
6.1	0.04	3.24	0.01	0.21	0.49	0.26	2.90	1.26	15.03	7.68	40.16	11.53	103.81	29.34	7561	491.0
7.1	0.021	3.58	0.08	0.85	0.54	0.65	2.91	1.31	20	8.93	51.65	14.2	142.56	35.03	7660	494.9
40012																
10.1	53.46	86.80	17.02	125.82	52.68	4.47	97.27	19.05	166.44	51.93	225.98	44.50	377.20	80.40	10809	526.7
12.1	1.48	7.01	0.51	4.75	5.22	0.28	24.18	9.68	106.44	42.69	203.49	44.18	378.90	87.90	10157	504.5
14.1	38.20	52.37	10.64	67.66	20.30	0.88	54.40	16.94	178.43	67.37	272.15	44.53	484.42	85.17	6863	512.8
22.1	1.67	9.89	0.71	5.37	4.22	0.17	22.38	8.40	97.26	41.46	192.03	43.31	368.38	75.27	11268	518.8
23.1	18.49	46.72	6.94	48.47	28.46	1.51	60.33	19.73	217.79	75.49	296.54	70.47	588.05	119.86	10184	512.8
6.1	1.12	8.22	0.36	4.08	6.70	0.23	34.93	11.54	143.73	57.97	268.16	56.58	487.59	106.38	9372	525.5
9.1	0.63	4.72	0.32	3.53	6.94	0.25	30.76	9.72	115.53	42.51	196.53	39.56	372.17	66.96	9871	506.1

TABLA I. Datos de tierras raras (REE), hafnio (ppm) y edad SHRIMP (Ma) para los circones analizados en las muestras FIA-40001 y FIA-40012.

Geochemical tools for porphyry systems exploration: Magma fertility, and Porphyry Indicator Minerals (PIMs) of the northern Bowen Basin, Queensland (Australia).

Herramientas geoquímicas para la exploración de sistemas porfídicos: Fertilidad magmática y Minerales Indicadores en Pórfidos (PMIs) de la cuenca septentrional de Bowen, Queensland (Australia).

I. Corral[1,2], F. Sahlström[1,3] H. Behnsen[1] y Z. Chang[1,4]

1 Department of Geosciences, James Cook University, Townsville, Queensland 4811, Australia. Helge.Behnsen@gmail.com
2 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra 08193, Spain. I.Corral.Geo@gmail.com
3 Department of Geosciences, UiT the Artic University of Norway, Tromsø N-9037, Norway. Fredrik.Sahlstrom@my.jcu.edu.au
4 Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines, Golden, Colorado 80401, USA. Chang@mines.edu

Abstract: *The northern Bowen Basin (Australia) has large exposures of Carboniferous-Permian volcanic rocks assigned to the Lizzie Creek Volcanic group. This unit hosts most of the known magmatic-hydrothermal deposits, prospects and mineral occurrences including porphyry copper, high- and low-sulfidation epithermal mineralization. The area where porphyry systems can be potentially found has ~4,000 Km^2. To narrow down the exploration ground we have applied the current magma fertility geochemical parameters to volcanic/subvolcanic rocks and studied their zircon geochemistry as Porphyry Indicator Minerals (PIMs). Magma fertility studies have established fertile and barren fields using geochemical parameters (e.g., Sr/Y vs. SiO_2; V/Sc vs. SiO_2 diagrams). They are indicative of magmatic water content of magmas. Additionally, zircon is used as PIMs as it is the most robust geochronometer for magmatic rocks and it survives intense hydrothermal alteration/weathering, and long-distance detrital transport. The discrimination diagrams 10000*(Eu/Eu*)/Y vs. (Ce/Nd)/Y has been effectively used to distinguish between fertile and barren zircons. These parameters also account for magmatic water content, oxidation state of magmas and hornblende fractionation. Combination of both geochemical tools are fundamental to narrow down the exploration ground to smaller and potentially more prospective areas, increasing the probability of success in further exploration programs.*

Keywords: *Porphyry systems, Magma fertility, Porphyry Indicator Minerals, Bowen Basin, Australia.*

Resumen: En la cuenca septentrional de Bowen afloran extensamente rocas volcánicas del Grupo Lizzie Creek Volcanic (Carbonífero-Pérmico). Esta hospeda la mayoría de los yacimientos, prospectos y ocurrencias minerales conocidas, incluyendo pórfidos cupríferos y epitermales de alta y baja sulfuración. El área con potencial para sistemas porfídicos tiene ~4.000 Km^2. Para reducirla hemos aplicado parámetros geoquímicos de fertilidad magmática a rocas volcánicas y sub-volcánicas de la zona y también hemos estudiado la geoquímica de sus circones como Minerales Indicadores en Pórfidos (PIMs). Los estudios de fertilidad magmática establecen criterios de fértil/estéril mediante parámetros geoquímicos (p.ej.: Sr/Y vs. SiO_2 y V/Sc vs. SiO_2). Estos indican el contenido de agua magmática. El uso del circón como PIMs se debe a que es el geocronómetro más robusto en rocas ígneas, sobrevive a intensa alteración hidrotermal/meteorización y al transporte detrítico de larga distancia. El diagrama de discriminación 10000*(Eu/Eu*)/Y vs. (Ce/Nd)/Y es eficaz para distinguir entre circones fértiles y estériles. Estos parámetros también indican el contenido de agua magmática, estado de oxidación magmática y fraccionamiento de hornblenda. La combinación de estas herramientas geoquímicas es fundamental para reducir el área de exploración a zonas potencialmente más prospectivas, incrementando la probabilidad de éxito en futuros programas de exploración.

Palabras clave: Sistemas porfídicos, Fertilidad magmática, Minerales Indicadores en Pórfidos, Cuenca de Bowen, Australia.

INTRODUCTION

Porphyry systems are defined as large volumes (10->100 Km^3) of hydrothermally altered rocks centred on porphyry Cu stocks that may also contain skarn, carbonate-replacement, sediment-hosted, and high and intermediate-sulfidation epithermal base and precious metal mineralization (Sillitoe, 2010). Porphyry systems are the largest sources of copper, molybdenum and are also a significant source of gold to world markets. Nowadays, most of the deposits that reach the surface have already been discovered, and new deposits are becoming harder to find. As exploration increasingly focuses on deeper targets and moves inexorably into under-cover areas, the role of geochemistry in exploration programs is becoming of vital importance (Richards, 2016; Cooke et al., 2017).

The northern Bowen Basin (NE Australia; Fig. 1) has large exposures of Carboniferous-Permian volcanic rocks hosting many magmatic-hydrothermal deposits (e.g., porphyry copper, high and low sulfidation epithermal deposits; Corral et al., 2017; Sahlström et al., 2018). The land extension where porphyry systems can be potentially found is an area of ~4,000 Km². In order to narrow down the exploration area we have applied the current magma fertility parameters for Au and Cu (whole-rock geochemistry and zircon trace element geochemistry) on the volcanic rocks of this region.

GEOLOGIC SETTING

The Bowen Basin is an elongate, north-trending asymmetrical coal-bearing basin extending from northern New South Wales through central Queensland covering an area of ~200,000 Km². It formed during the early Permian, as a back-arc basin of the Connors magmatic arc, filled up with the syn-rift volcanic and sedimentary rocks of the Lizzie Creek Volcanic Group (Korsch et al., 2009). The late Permian-Triassic Hunter-Bowen Orogeny (~265-235 Ma) let to foreland loading, tectonic inversion, and the development of a foreland basin. Terrestrial sediments deposited in the basin make up the bulk of the Bowen Basin infill, including the economically important coal deposits.

The basal unit of the Bowen Basin sequence, which locally overlies the Urannah batholith (341-279 Ma), comprises the Lizzie Creek Volcanic Group (Malone et al., 1964). This unit hosts most of the known deposits, prospects and mineral occurrences. It consists of early Permian (297-283 Ma) basaltic to rhyolitic volcanic rocks deposited subaerially locally interbedded with sandstones, siltstones and minor coal seams deposited in a fluvial and lacustrine environment (Donchack et al., 2013).

MAGMA FERTILITY

Fertility studies of intrusive rocks have recently established geochemical parameters to effectively discriminate least-altered samples of ore-forming intrusions from ordinary, metallogenic unproductive arc magmas. These parameters include Sr/Y vs. SiO_2 and V/Sc vs. SiO_2 which are applicable on whole-rock geochemical analysis of relatively fresh igneous rocks (Loucks, 2014). Such parameters are proxies for high water contents in a magmatic system, producing early crystallization of hornblende and by delayed production of plagioclase and titano-magnetite, and consequently their potential to form porphyry systems.

After a careful hydrothermal alteration/weathering assessment (by Short-Wave Infrared Spectroscopy and thin section petrography), we have successfully applied the fertility parameters on >200 volcanic and subvolcanic rock samples of the Lizzie Creek Volcanic Group or equivalent early Permian volcanic rocks. Samples have been divided in three zones according to their location (Townsville-Paluma, Bowen Basin and Connors-Auburn).

Figure 2A shows the Sr/Y content of volcanic rocks. Analyzed samples generally show low Sr/Y ratios, plotting mostly in the barren field excepting some rocks from the Bowen Basin. This may indicate an anhydrous magma and therefore a barren magmatic suite. However, this may be an alteration effect as Sr is mobilized under hydrothermal conditions. Mobilization of Sr relative to Y can explain the scattered Sr/Y ratios, suggesting that in this case Sr/Y vs. SiO_2 may not be reliable as fertility discrimination parameter.

Figure 2B shows the V/Sc content of the studied rocks. Most of the samples of the Bowen Basin plot in the fertile field together with few of the Connors-Auburn and Townsville-Paluma area samples. Although the data shows a scatter distribution, neither V nor Sc is expected to be affected by hydrothermal alteration. Therefore, the V/Sc ratio truly represents the geochemical variations related to fertile/barren magmatic suits.

A combination of all whole-rock fertility parameters is represented in Figure 3. It shows the location of the known mineral occurrences (e.g., epithermal, porphyry; blue squares), characterized by the presence fertile volcanic

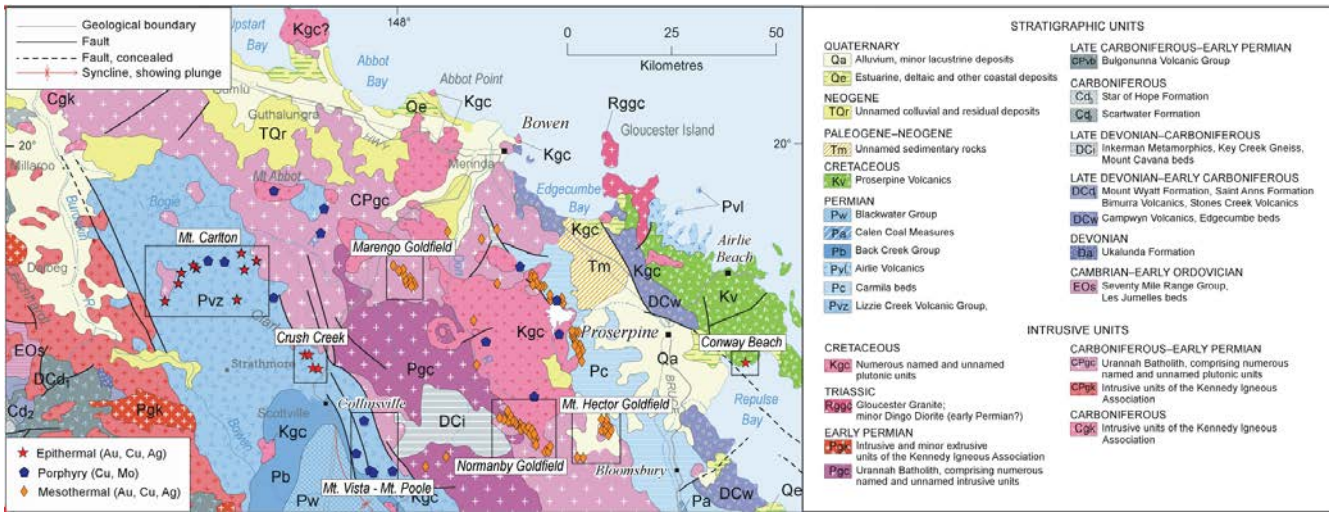


FIGURE 1. Geology map of the northern Bowen Basin with the known deposits and mineral occurrences (modified from Donchak et al., 2013).

rocks. It also shows additional areas without known mineral occurrences but abundant fertile rocks (white circles). These new delimited areas represent the geochemically most prospective zones to successfully perform a detailed exploration for porphyry systems.

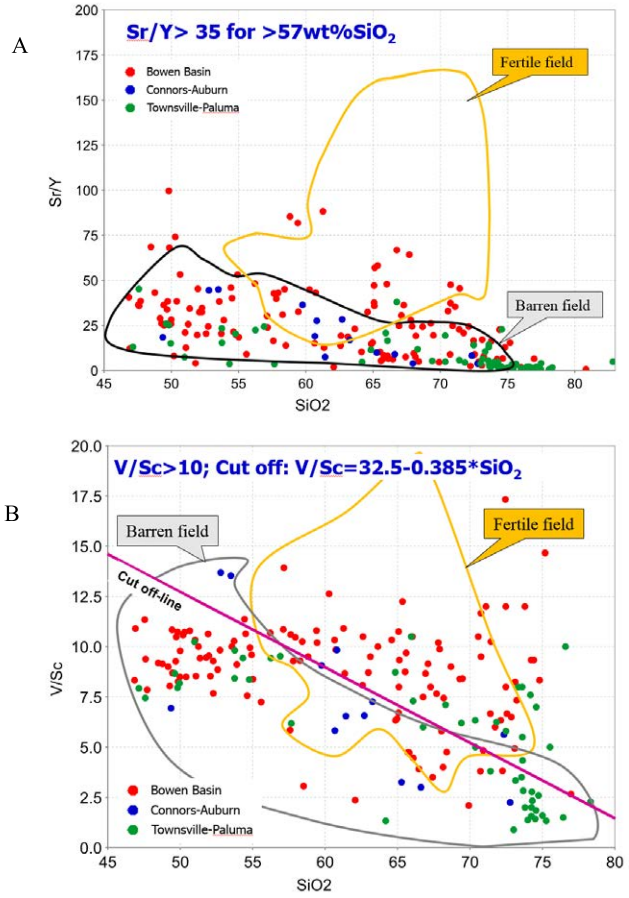


FIGURE 2. Magma fertility parameters based on whole-rock geochemical. A) Sr/Y vs. SiO_2 discrimination diagram (from Loucks. 2014). B) V/Sc vs. SiO_2 discrimination diagram (from Loucks, 2014).

PORPHYRY INDICATOR MINERALS (PIMs)

The chemical compositions of magmatic and hydrothermal minerals related to porphyry copper deposits can be distinctive relative to the same minerals in the surrounding rocks, and also differ from those related to other mineralization styles, and can be considered as PIMs (Cooke et al., 2017).

Zircon is a key mineral for analysis in porphyry environments, as it is the most robust high temperature geochronometer available for magmatic rocks as well as for the insights into magma petrogenesis that can provide. Additionally, zircon also survives intense hydrothermal alteration and weathering, and long-distance detrital transport. In this sense, Lu et al. (2013) proposed specific geochemical parameters that can be used as pathfinders for porphyry systems or fertility indicators. The best geochemical discriminator is zircon 10000(Eu/Eu*)/Y vs. (Ce/Nd)/Y. These parameters account for magmatic water content, oxidation state of magma and hornblende fractionation.*

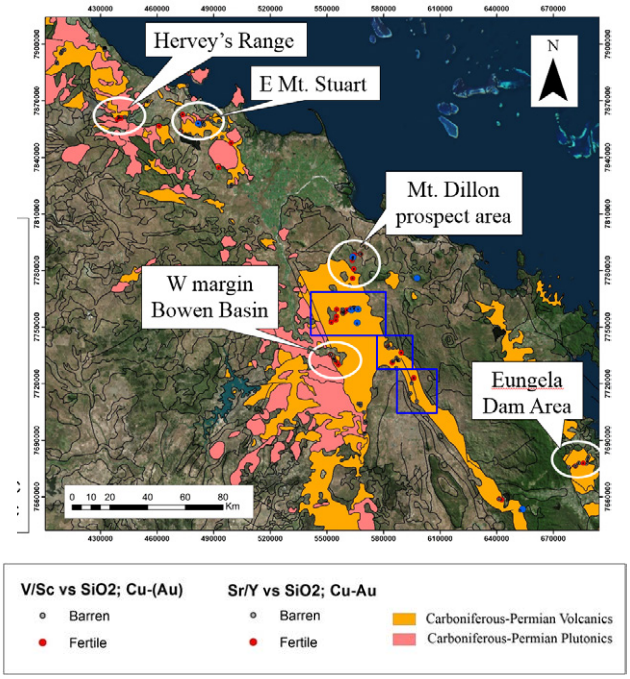


FIGURE 3. Simplified geologic map of the northern Bowen Basin showing the location of the newly delimited prospective zones for porphyry systems.

Over 400 zircons were analyzed after U-Pb LA-ICP-MS dating of 37 samples from volcanic and subvolcanic rocks of the Lizzie Creek Volcanic Group or equivalent formations. Trace element geochemistry parameters to discriminate between fertile and barren zircons are shown in Figure 4A. As observed, most of the analyzed zircon plot within the fertile field where the zircons related to porphyry systems usually plot. It indicates that the magmatic system that produced the studied volcanic suite had all the geochemical requirements (e.g., high magmatic water content, elevated oxidation state and early prolific hornblende fractionation) to potentially form porphyry systems. However, these geochemical features are a necessary, but not sufficient, condition for an igneous complex to produce major porphyry systems (Loucks, 2014).

Zircon is a sensitive indicator of magmatic oxidation state via its Ce and Eu anomalies. Therefore, Ce/Ce ratio (calculated as [Ce]/sqrt([La]*[Pr])) or the Ce/Nd ratio can be used as an indicator of the oxidation state of the magma that produced the studied zircon (Lu et al., 2016).*

Figure 4B shows the Ce/Ce average ratio of the 37 analyzed samples from the northern Bowen Basin volcanic and subvolcanic rocks. Results highlights that the rocks showing higher magmatic oxidating conditions are coincident with the zone that host most of the known deposits and mineral occurrences of the northern Bowen Basin. Rocks from this area have significantly higher magmatic oxidation conditions than the surrounding rocks.*

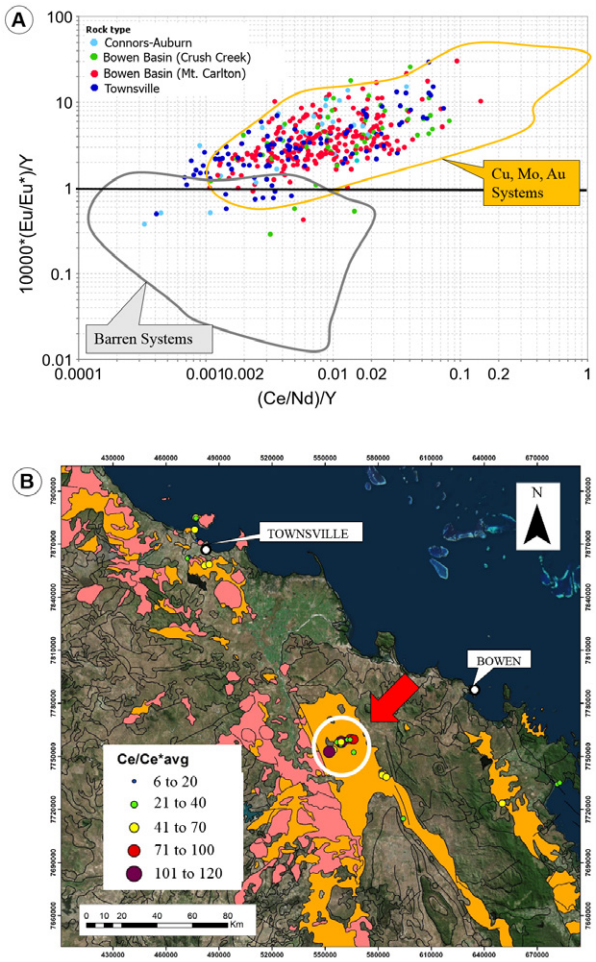


FIGURE 4. Zircon trace element geochemical characteristics. A: Fertility discriminator diagram for zircons related to porphyry systems (from Lu et al., 2016). B: Ce/Ce anomalies of the studied zircon as proxy for high magmatic oxidation state (from Lu et al., 2016).*

CONCLUSIONS

Au-Cu producing magmas (fertile) are characterized by high water content, elevated oxidation state and prolific fractionation of hornblende. Whole-rock (Sr/Y and V/Sc) and zircon trace element 10000(Eu/Eu*)/Y and (Ce/Nd)/Y geochemistry are in agreement, indicating these conditions for certain volcanic and subvolcanic rocks of the northern Bowen Basin.*

Combination of both geochemical methods helps to narrow down the exploration area to smaller and potentially more prospective areas, increasing the probability of success in further exploration programs. The igneous rocks from the newly identified areas have the ideal geochemical conditions for the generation of porphyry systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was performed during the corresponding author postdoctoral research stay at the James Cook University (Australia). The Geological Survey of Queensland and Evolution Mining provided financial support for this research.

REFERENCES

Cooke, D.R., Agnew, P., Hollings, P., Bakker, M., Chang, Z., Wilkinson, J.J., White, N.C., Zhang, L., Thompson, J., Gemmell, J.B., Fox, N., Chen, H. y Wilkinson, C.C. (2017): Porphyry Indicator Minerals (PIMs) and Porphyry Vectoring and Fertility Tools (PVFTS) – Indicators of Mineralization Styles and Recorders of Hypogene Geochemical Dispersion Halos. En: *Proceedings of Exploration 17: Sixth Decennial Conference on Mineral Exploration* (V. Tschirhart y M.D. Thomas, eds.), 457-470.

Corral, I., Chang, Z. y Sahlsröm F. (2017): The Capsize prospect, NE Queensland, Australia: Geology, geochronology and stable isotopes (S, O, H) geochemistry of a porphyry and associated lithocap. *Abstracts of the Society of Economic Geologists 2017 Conference.*

Donchak, P.J.T., Purdy, D.J., Withnall, I.W., Blake, P.R. y Jell, P.A. (2013): Chapter 5: New England orogen. En: *Geology of Queensland* (P.A. Jell, ed.). Geological Survey of Queensland, 305-427.

Korsch, R.J., Totterdell, J.M., Cathro, D.L. y Nicoll, M.G. (2009): Early Permian East Australian rift system. *Australian Journal of Earth Sciences,* 56: 381-400.

Loucks, R.R. (2014): Distinctive composition of copper-ore-forming arc magmas. *Australian Journal of Earth Sciences,* 61: 5-16.

Lu, Y-J, Loucks, R.R., Fiorentini, M., Campbell McCuaig, T., Evans, N.J., Yang, Z-M., Hou, Z-Q, Kirkland, C.L., Parra-Avila, L.A. y Kobussen, A. (2016): Zircon compositions as pathfinder for porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits. En: *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt* (J.P., Richards, ed.). Society of Economic Geologists Special Publication, 19: 329-347.

Malone, E.J., Corbett, D.W.P. y Jensen, A.R. (1964): *Geology of the Mount Coolon 1:250000 sheet area*, report no. 64, Bureau of Mineral Resources, Australia.

Richards, J. (2016): Clues to hidden copper deposits. *Nature Geoscience*, 9: 195-196.

Sahlström, F., Dirks, P., Chang, Z., Arribas, A., Corral, I., Obiri-Yeboah, M. y Hall, C. (2018): The Paleozoic Mount Carlton deposit, Bowen Basin, northeast Australia: Shallow high-sulfidation epithermal Au-Ag-Cu mineralization formed during rifting. *Economic Geology,* 113: 1733-1767.

Sillitoe, R.H. (2010): Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105: 3-41.

Proyecto GEO_FPI, cartografía de la Zona Surportuguesa (ZSP). Datos preliminares de un estudio geocronológico U-Pb.

GEO_FPI Project. South Portuguese Zone mapping (SPZ). Preliminary data of the geochronological U-Pb study.

A. Díez-Montes[1], J.X. Matos[2], P. Valverde-Vaquero[3], R. Solá[4], A. Beranoaguirre[3,5], L. Albardeiro[2], R. Salgueiro[4], I. Morais[2], P. Montero[6] y M.T. López[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Plaza de la Constitución, 1, 37001-Salamanca, España. al.diez@igme.es
2 Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Ap. 14, 7600-909 Aljustrel, Portugal.
joao.matos@lneg.pt, luis.albardeiro@lneg.pt, igor.morais@lneg.pt
3 IGME, C/ Ríos Rosas, 23, 28003-Madrid, España. p.valverde@igme.es, m.lopez@igme.es
4 LNEG, Alfragide, Ap. 7586 - 2610-999 Amadora, Portugal. rita.sola@lneg.pt, rute.salgueiro@lneg.pt
5 Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität, Altenhöferallee 1, 60438, Frankfurt am Main, Germany. aratz.beranoaguirre@ehu.eus
6 Universidad de Granada, IBERSIMS, 18002-Granada, España. pmontero@ugr.es

Palabras clave: Zona Surportuguesa, Faja Pirítica Ibérica, Estratigrafía, Geocronología, SHRIMP.

Resumen

La ZSP es la unidad geotectónica más al suroeste del Orógeno Varisco y se consideran los siguientes dominios: Pulo do Lobo (Frasniense inferior y Fameniense superior), Faja Pirítica Ibérica (Givetiense-Viseense superior), Grupo Flysch Baixo Alentejo (Viseense superior-Moscoviense superior) y Grupo Suroeste (Estruniense-Bashkiriense medio). En el proyecto GEO_FPI se ha prestado especial atención a la Faja Pirítica Ibérica, ya que es una de las provincias metalogenéticas más importantes del mundo, con depósitos de sulfuros masivos (VHMS) e importantes recursos de Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Sn, In, Se, Ge.

Se ha realizado un trabajo de campo en común en la región fronteriza de España y Portugal para permitir una mejor integración y correlación de los datos geológicos y cartográficos. Además, se han seleccionado 31 afloramientos donde se han recogido muestras para realizar un estudio de geocronología de U-Pb en circón. Los datos de edad obtenidos son importantes para restringir las estructuras geológicas de la Faja Pirítica Ibérica que albergan la mineralización masiva de sulfuros y, por otra parte, mejoran la visión geotectónica de toda la ZSP.

Este estudio forma parte del proyecto EU Interreg-VA Poctep/0052_GEO_FPI_5_E (Observatorio transfronterizo para la valorización geo-económica de la Faja Pirítica Ibérica), cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), EP-INTERREG VA España Portugal (POCTEP) (https://www.geo-fpi.eu).

Abstract

The SPZ is the south westernmost geotectonic unit of the Variscan Orogeny and the following domains are considered: Pulo do Lobo (early Frasnian and late-Famennian), Iberian Pyrite Belt (Givetian-late Visean), Baixo Alentejo Flysch Group (late Visean-late Moscovian) and Southwest Group (late Strunian-mid Bashkirian). Special work was performed in the Iberian Pyrite Belt considered one of the most important metallogenetic massive sulfides deposit provinces (VHMS) with significant Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Sn, In, Se, Ge, resources.

A common fieldwork has been carried out in the Spanish/Portuguese border region to allow a better integration and correlation of geological and mapping data. In addition, 31 outcrops have been selected where samples have been collected for a geochronology study of U-Pb in zircon. The age data obtained are important to restrict the geological structures of the Iberian Pyrite Belt that contain the massive sulphide mineralization. On the other hand, improve the geotectonic vision of the entire SPZ.

This study is supported by EU Interreg-VA Poctep/0052_GEO_FPI_5_E Project/ funded by European Regional Development Fund/FEDER (https://www.geo-fpi.eu).

Garnet-rich I-type intrusive rocks from Punta dels Farallons (Cap de Creus, Eastern Pyrenees): A case of reactive bulk assimilation?

Rocas intrusivas tipo-I ricas en granate de Punta dels Farallons (Cap de Creus, Pirineos Orientales): Un caso de asimilación reactiva completa?

Elena Druguet[1], Antonio Castro[2]

1 Dpt. Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona. elena.druguet@uab.cat
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT), CSIC-UGR, 18100 Armilla, Granada. antonio.castro@csic.es

Abstract: *The granodiorites, tonalites and intermediate rocks (I-type) of Punta dels Farallons, Cap de Creus, show high concentrations in almandine garnet near the contacts with pelitic migmatites. They form bands of several m in length that may appear discontinuous and mostly parallel to the contacts with the host migmatites. The relative abundance of garnet may reach >60% in bands of several cm thick. Garnet is rich in almandine ($Prp_{0.04}Alm_{0.83}Sps_{0.04}Grs_{0.09}$), with resorbed rims and showing a homogeneous composition with slight increase in Sps and decrease in Grs near the rims. The high concentration in garnet may represent the solid residue of a complex process of reactive bulk assimilation after migmatite xenoliths. The geochemical relations of the Grt-rich rocks are in support of this interpretation. Such a process implies high temperatures of intrusion of the granodiorite magmas.*

Keywords: *assimilation, Cap de Creus, garnet, granodiorite, migmatite*

Resumen: Cerca de los contactos con migmatitas pelíticas, las granodioritas, tonalitas y rocas intermedias asociadas (tipo-I) de la Punta dels Farallons, Cap de Creus, muestran altas concentraciones de granate almandínico en bandas de varios m de longitud, que pueden aparecer discontinuas, pero en general, paralelas a los contactos con las migmatitas pelíticas encajantes. La abundancia de Grt puede llegar a ser > 60% en algunas bandas de varios cm de espesor. El Grt es rico en almandino ($Prp_{0.04}Alm_{0.83}Sps_{0.04}Grs_{0.09}$), tiene los bordes reabsorbidos y presenta una composición homogénea con ligero incremento de Sps y descenso de Grs en los bordes. La concentración de granate puede representar el residuo sólido de un complejo proceso de asimilación reactiva (reactive bulk assimilation) sobre xenolitos migmatíticos. Las relaciones geoquímicas de las rocas ricas en granates apoyan esta interpretación. Dicho proceso implica altas temperaturas de intrusión para las rocas granodioríticas.

Palabras clave: asimilación, Cap de Creus, granate, granodiorita, migmatita

INTRODUCTION

Plutonic rocks of the northern Cap de Creus Variscan massif cover a wide range of compositions and textures. Granodiorites of I-type affinity are among the most abundant rocks. These, together with tonalites and quartz-diorites, define a K-rich calc-alkaline association that intruded at 299±4 Ma (Druguet et al., 2014) into a mid-crustal anatectic domain characterized by migmatised pelitic and semipelitic Neoproterozoic metasedimentary rocks (Druguet et al., 1995; Castiñeiras et al., 2008). Peak metamorphic conditions are estimated at 670°C and 4.7 kbar (Druguet, 2001), making this sector of the Variscan basement of special relevance to investigate the mid to deep crustal regions of plutono–metamorphic complexes. Of particular interest are the processes of magma—host rock interactions that may modify the original compositions of the intruding magmas; as magma—host interactions are expectedly favored in deep regions of the crust.

Here we report a particular case of garnet (Grt) concentrations in an I-type granodiorite at the vicinities of the contact with pelitic migmatites. The results of this study may help to understand the complex processes involved in crustal assimilation, a mechanism that is often referred to invoked in geochemical and isotopic modeling.

GEOLOGICAL SETTING

The Cap de Creus peninsula forms the most easterly outcrop of Variscan basement exposed along the Axial Zone of the Pyrenees (Fig. 1a). The rocks of the metasedimentary sequence are affected by a low-pressure Variscan metamorphism with increasing grade from the chlorite-muscovite zone in the south to the sillimanite zone and localised migmatite complexes in the north (Druguet, 2001).

Variscan magmatism in the area consists of two granodiorite plutons (Roses and Rodes) emplaced into low grade metasediments in the south; a pegmatite dyke swarm, which

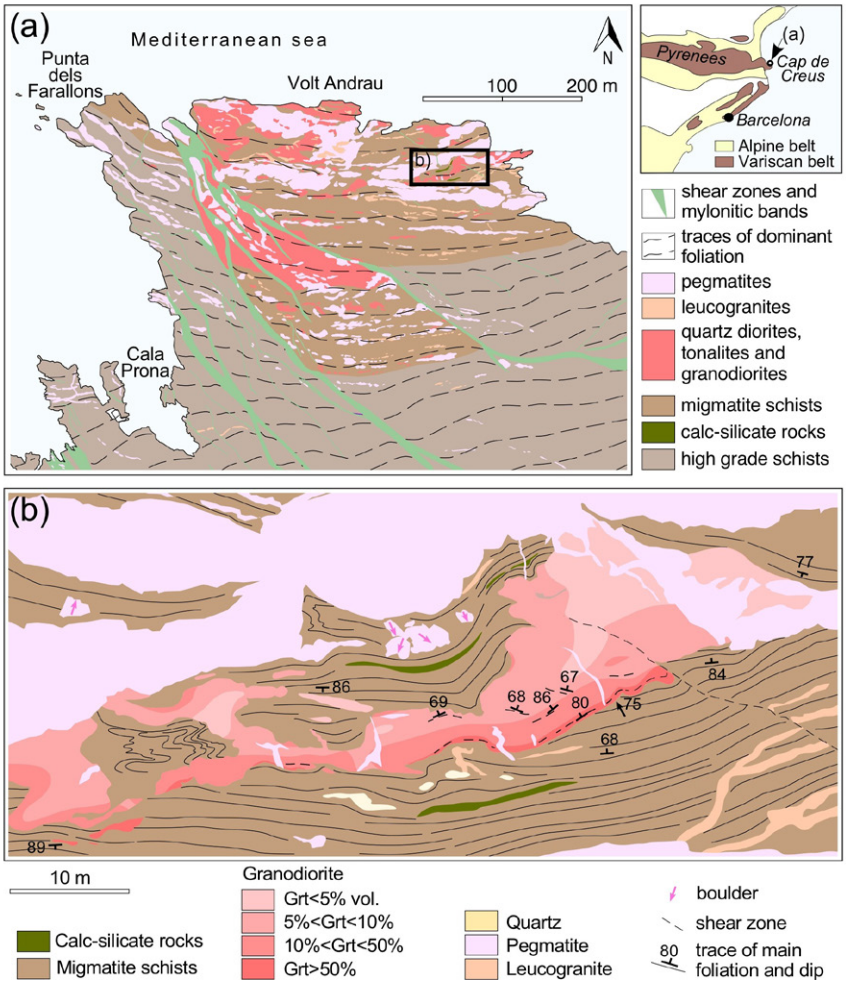


FIGURA 1. (a) Geological map of the Punta dels Farallons migmatite complex in the north of the Cap de Creus peninsula. (b) Detailed map of a granodiorite intrusion showing the Grt-rich bands at the contacts with the host migmatitic schists.

extends from the cordierite-andalusite zone northwards; and multiple small magmatic volumes restricted to the migmatite complexes in the north. Our study area is located in one of these complexes, the so called Punta dels Farallons migmatite complex (Fig. 1a). The Variscan structure of Cap de Creus is characterized by polyphase tectonics, with three main deformation phases. Peak metamorphism, local anatexis and emplacement of the magmatic rocks of the migmatite complexes took place syntectonically during the second phase under a transpressional tectonic regime (Druguet and Hutton, 1998).

FIELD RELATIONS AND PETROGRAPHY

At Punta dels Farallons migmatite complex, Bt-granodiorites and tonalites are characterized by containing metre scale bands of high garnet concentrations of up to >50 vol% (Fig. 1b). Bands are discontinuous and may appear as dismem-

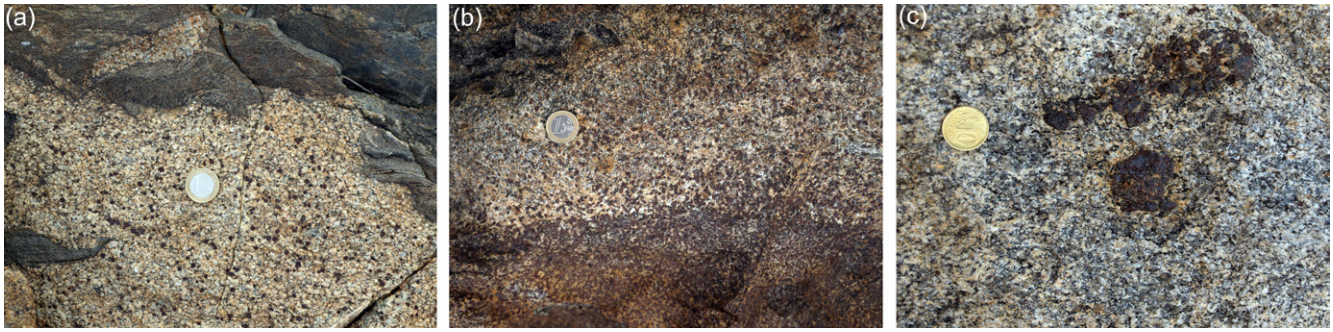


FIGURE 2. Detail field photographs of the garnet-rich granodiorite body shown in Fig. 1b. Garnet concentration is between 5% and 10% in (a), gradually increasing up to a very high concentration in (b) and forming clusters in a low garnet-content granodiorite in (c).

bered portions of granodiorite containing high Grt concentrations (Fig. 2). The limits of the Grt-rich zones and the "normal" granodiorite are only marked by the presence of Grt, without appreciable changes in the texture and mineralogy of the granodiorite matrix. The origin of these bands containing high Grt concentrations seems to be enigmatic.

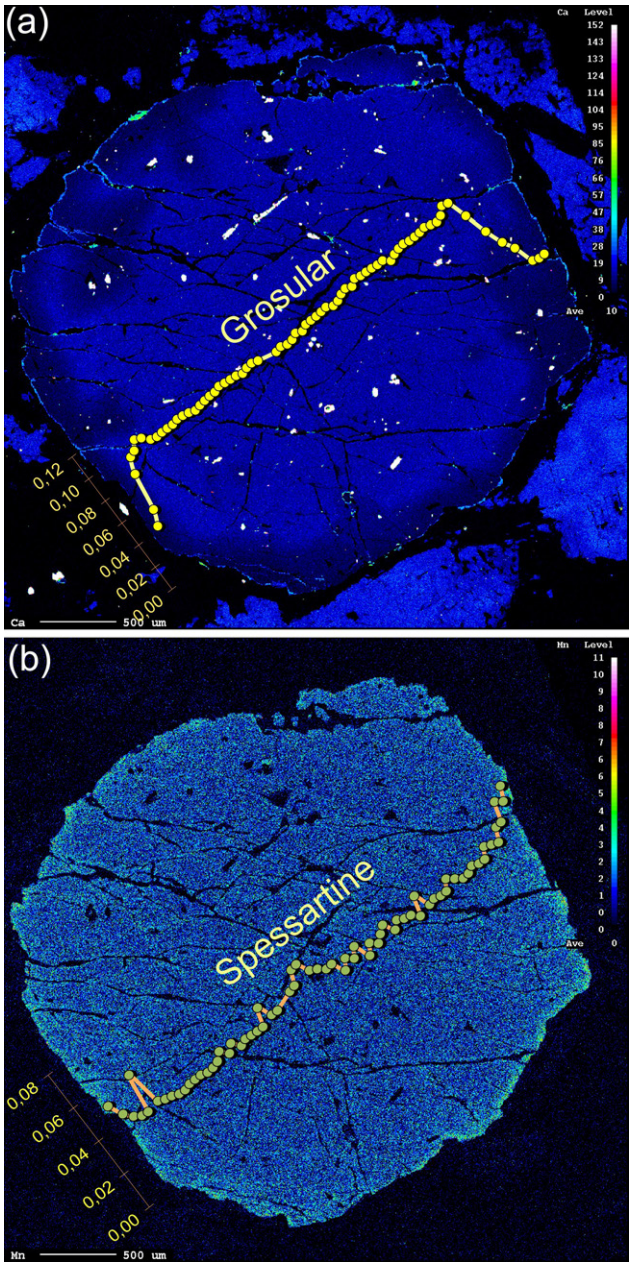


FIGURE 3. Composite of X-ray maps and profiles of a garnet crystal for Ca (a) and Mn (b).

Garnet has an almandine-rich composition (on average, X_{Alm}=83.4 mol%), very similar to the composition of Grt in the host migmatites and anatectic leucogranites. Microprobe analyses over a rim to rim section of a 3.5 mm diameter crystal reveal a nearly flat composition that only changes near the rim by increasing Mn and decreasing Ca (Fig. 3). Mn-rich bands follow diffusion lobes in the crystal in which, crystalline faces are absent. Resorption followed by diffusive re-equilibrium in a magmatic medium seem to be the causes of these rim relations. These features are indicative of disequilibrium. The implications are discussed below.

INTERPRETATION

In principle, the causes of garnet concentrations in magmatic systems can be varied. Two hypotheses are discussed here in the light of the observed relations: (1) gravity concentration of magmatic crystals formed in the granodiorite magma; and (2) remnants of reactive bulk assimilation (Beard et al., 2005). Textural and compositional relations are indicative of disequilibrium between Grt and the enclosing granodioritic matrix. Thus, a magmatic cumulate origin by itself can be ruled out for the origin of Grt concentrations in the intrusive rocks of the Punta dels Farallons. The Alm-rich composition of Grt is not compatible with the bulk system composition of the calc-alkaline intrusive rocks of Punta dels Farallons. A magmatic origin is unlikely.

Although they are not magmatic in origin, an extra concentration by gravity compaction cannot be discarded. That is, Grt did not crystallize from the diorite or granodiorite magmas, but they were concentrated by gravity after they were enclosed in the magma. Compaction of a Grt-rich magma system is compatible with the observed reactions at the edge of crystals resulting from dissolution and diffusive changes in contact with a granitic or granodioritic liquid. The high-density contrast between Grt and granodiorite magma, of the order of 1.1 kg/m^3, may have seriously favored compaction by a process of hindered settling (Bachmann and Bergantz, 2004). Alternatively, compaction may have proceed by intense flow gradient at the thermal-mechanical boundary layer (TMBL) created at the contact with the host migmatites (Castro, 2013), possibly enhanced by coeval intense transpressional deformation. Thus, if they are not magmatic and they are concentrated in a magma, where Grt crystals are coming from?

Garnet with similar compositions are present in the host migmatites. However, a selective entrapment of crystals from the partially molten host is unlikely. A complete digestion of the rest of the minerals of the migmatite must occur if assimilation of the host is the preferred hypothesis. Total digestion, however, can be achieved by a process called reactive bulk assimilation (Beard et al., 2005). Only a small melt fraction is required to disaggregate the crystalline components of the migmatite. Most of these minerals represent phases that are present, or will be present during cooling, in the intrusive magma (the granodiorite, tonalite or quartz diorite). These are Qz, Bt, Pl and Kfs (mineral abbreviation after Whitney and Evans, 2010). Only the peritectic phase Grt is exotic in the intrusive magma, being the diagnostic phase of the assimilation process. A similar mechanism is invoked to explain the presence of Crd in calc-alkaline, non-anatectic granites (Díaz-Alvarado et al., 2011).

In conclusion, a combination of migmatite assimilation and magmatic compaction is the responsible for the generation of the layered concentrations of Grt in the granodiorites at Punta dels Farallons in Cap de Creus. Due to the high

quality of the exposures and the interest of the processes of magma-host interactions described, the area can be considered as a natural laboratory for further and more detailed studies that we are undertaking in the area.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially funded with grants PGC2018-096534-B-I00 IBERCRUST and PGC2018-100914-B-I00, both from the Spanish Research Agency (AEI). Andrés Cuesta is acknowledged for comments and observations that helped improving the manuscript.

REFERENCES

Bachmann, O. y Bergantz, G.W. (2004): On the origin of crystal-poor rhyolites: Extracted from batholithic crystal mushes. *Journal of Petrology*, 45(8): 1565-1582.

Beard, J.S., Ragland, P.C. y Crawford, M.L. (2005): Reactive bulk assimilation: A model for crust-mantle mixing in silicic magmas. *Geology*, 33(8): 681-684.

Castiñeiras, P., Navidad, M., Liesa, M., Carreras, J. y Casas, J.M. (2008): U-Pb zircon ages (SHRIMP) for Cadomian and Early Ordovician magmatism in the Eastern Pyrenees: new insights into the pre-Variscan evolution of the northern Gondwana margin. *Tectonophysics*, 461: 228-239.

Castro, A. (2013): Tonalite-granodiorite suites as cotectic systems: A review of experimental studies with applications to granitoid petrogenesis. *Earth-Science Reviews*, 124: 68-95.

Díaz-Alvarado, J., Castro, A., Fernández, C. y Moreno-Ventas, I. (2011): Assessing bulk assimilation in cordierite-bearing granitoids from the central system batholith, Spain; experimental, geochemical and geochronological constraints. *Journal of Petrology*, 52(2): 223-256.

Druguet, E. (2001): Development of high thermal gradients by coeval transpression and magmatism during the Variscan orogeny: insights from the Cap de Creus (Eastern Pyrenees). *Tectonophysics*, 332: 275-293.

Druguet, E., Castro, A., Chichorro, M., Pereira, M.F. y Fernández, C. (2014): Zircon geochronology of intrusive rocks from Cap de Creus, Eastern Pyrenees. *Geological Magazine*, 151: 1095-1114.

Druguet, E., Enrique, P. y Galán, G. (1995): Tipología de granitoides y rocas asociadas del complejo migmatítico de la Punta dels Farallons (Cap de Creus, Pirineo oriental). *Geogaceta*, 18: 199-202.

Druguet, E. y Hutton, D.H.W. (1998): Syntectonic anatexis and magmatism in a mid-crustal transpressional shear zone: an example from the Hercynian rocks of the eastern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 20: 905-916.

Whitney, D.L. y Evans, B.W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist,* 95: 185-187.

Caracterización geoquímica e isotópica (Sr-Nd) del plutón granítico peralumínico de La Bazana (Macizo Ibérico meridional).

Geochemical and isotopic (Sr-Nd) characterization of the granitic peraluminous La Bazana Pluton (southern Iberian Massif).

J. Errandonea-Martin[1], F. Sarrionandia[2], S. García de Madinabeitia[1] y J.I. Gil Ibarguchi[1]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU).
jon.errandonea@ehu.eus; sonia.gdm@ehu.es; josei.gil@ehu.eus
2 Dpto. de Geología, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). fernando.sarrionandia@ehu.eus

Palabras clave: Geoquímica de roca total, isótopos de Sr y Nd, granito peralumínico, Macizo Ibérico.

Resumen

El plutón tardi-Varisco de La Bazana (*e.g.* Galadí-Enríquez *et al.*, 2003) está formado principalmente por monzogranitos biotíticos (SiO_2 = 67.37–71.84 wt%) de carácter magnesiano ($FeO^t/(FeO^t+MgO)$ = 0.68–0.74) y peralumínico (A/CNK = 1.04–1.27). Muestran valores de Fe+Mg+Ti (en milicationes) entre 41 y 69, con Mg# (Mg/[Fe+Mg]) en un rango de 0.39–0.46, y relaciones CaO/Na_2O que varían de 0.32 a 0.79. Los contenidos en Na_2O, K_2O y P_2O_5 aumentan con la diferenciación, así como las relaciones Rb/Ba y Rb/Sr. Por el contrario, el ratio K/Rb decrece en ese sentido, al igual que los contenidos en Zr, Y, Th, Hf, Cr, V y REE. La composición isotópica de los monzogranitos estudiados presenta relaciones $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ variables entre 0.7068 y 0.7126 (relaciones recalculadas a una edad representativa de 340 Ma), mientras que los valores de εNd_i, relativamente homogéneos, están comprendidos entre -8.4 y -8.8. La composición geoquímica e isotópica (Sr–Nd) de los monzogranitos estudiados contrasta con la de los plutones inversamente zonados, y de afinidad metalumínica, de la Antiforma de Olivenza–Monesterio (*e.g.* Cambeses *et al.*, 2019). Los resultados preliminares de este trabajo apuntan a un origen distinto al de los plutones citados para los monzogranitos de La Bazana, pudiendo resultar un ejemplo idóneo para el estudio del magmatismo Varisco en los estadios tardíos de la orogenia.

Abstract

The late-Variscan La Bazana pluton (e.g. Galadí-Enríquez et al., 2003) is constituted mainly by biotite-bearing monzogranites of magnesian ($FeO^t/(FeO^t+MgO)$ = 0.68–0.74) and peraluminous (A/CNK = 1.04–1.27) affinity. They display Fe+Mg+Ti (in millications) values of 41–69, with Mg# (Mg/[Fe+Mg]) in the range of 0.39–0.46, and CaO/Na_2O ratios that vary between 0.32 and 0.79. Na_2O, K_2O and P_2O_5 contents increase with differentiation, as well as Rb/Ba and Rb/Sr values. On the contrary, K/Rb decreases in that sense, like Zr, Y, Th, Hf, Cr, V, and REE contents. Isotopic compositions of studied monzogranites comprise variable $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ in the range of 0.7068–0.7126 (recalculated at a representative age of 340 Ma), and relatively homogeneous εNd_i values encompassed between -8.4 and -8.8. Geochemical and isotopic (Sr–Nd) composition of studied monzogranites contrasts with that of the inversely zoned and metaluminous plutons from the Olivenza–Monesterio Antiform (e.g. Cambeses et al., 2019). Preliminary results of this work point to a different origin to that of the cited plutons for the monzogranites from La Bazana, which could constitute an appropriate example to study the late-orogenic Variscan magmatism.

Referencias

Galadí-Enríquez, E., Galindo-Zaldívar, J., Simancas, F. y Expósito, I. (2003). *Tectonophysics* 361, 83-96.

Cambeses, A., Montero, P., Molina, J.F., Hyppolito, T. y Bea, F. (2019). *Lithos* 324-325, 661-683.

Variación composicional en los batolitos cordilleranos: ¿una consecuencia de la entrada de restitas?

Compositional variation in the Cordilleran batholiths: a consequence of restite entrainment?

M. García-Arias[1] y J.S. Puerto-León[1]

1 Dpto. Geociencias, Fac. de Ciencias, Univ. de Los Andes. 111711 Bogotá, Colombia. m.garcia@uniandes.edu.co, js.puerto11@uniandes.edu.co

Resumen:

Los granitos tipo I asociados a arcos continentales (batolitos cordilleranos) presentan una variabilidad composicional que se puede observar en diagramas de bivariación versus maficidad (FeOt + MgO). Esta variabilidad ha sido siempre explicada como consecuencia de la cristalización fraccionada de fundidos basálticos de origen mantélico. Sin embargo, nuevos paradigmas en la génesis de estos granitos apuntan a que el magma inicial puede tener composición intermedia, por lo que dicha variabilidad podría explicarse como consecuencia de la entrada de minerales restíticos en proporciones variables a partir de un magma emplazado en el límite corteza-manto. En este trabajo se ha modelado mediante pseudosecciones la fusión parcial de una fuente de composición intermedia a 1.0, 1.5 y 2.0 GPa, en el que el magma, conteniendo hasta un 40% en peso de restitas, se escapa cada vez que la roca se vuelve permeable. Los resultados indican que la variabilidad composicional queda mejor reproducida si los magmas se forman a 1.0 GPa y ~850ºC, y la fracción mineral co-segregada se compone mayoritariamente de minerales reactivos en lugar de peritécticos. Estos resultados tienen importantes implicaciones en cuanto a los procesos de generación de dichos magmas graníticos en el límite corteza-manto.

Palabras clave: Granitos tipo I, maficidad, variabilidad composicional, entrada de restitas, pseudosección.

Abstract:

I-type granites associated to continental margins (cordilleran batholiths) show a compositional variability that can be observed in bivariate diagrams versus maficity (FeOt + MgO). This variability has traditionally been explained as a consequence of fractional crystallization of basaltic melts of mantellic origin. However, new paradigms in the genesis of these granites point to an intermediate composition of the original magmas, which may imply that the compositional variability may be explained as a consequence of entrainment of variable amounts of restites to the melt from a magma emplaced at the crust-mantle boundary. In this work, the partial melting of a source of intermediate composition at 1.0, 1.5 and 2.0 GPa has been modelled using pseudosections, and the modelled magmas, containing up to 40 wt.% of restites, left the source every time it became permeable. The results indicate that the compositional variability is best reproduced when the magmas form at 1.0 GPa and ~850ºC, and the entrained mineral fraction consists mostly of reactive, non-peritectic minerals. These results have relevant implications regarding the processes of generations of these granitic magmas in the crust-mantle boundary.

Keywords: *I-type granites, maficity, compositional variability, restite entrainment, pseudosection.*

INTRODUCCIÓN

La génesis de los granitos tipo I ha sido siempre controvertida, ya que su geoquímica implica la contribución de materiales continentales y mantélicos pero no se tiene acceso a la zona de generación de los magmas. El modelo tradicional explicaba su generación como la fusión del manto litosférico de la placa superior, previamente hidratada por fluidos provenientes de la placa subducente, emplazamiento de estos magmas en la base de la corteza continental, cristalización fraccionada de los mismos hasta superar la barrera de densidad con la corteza y ascenso de los magmas evolucionados con asimilación de dicha corteza (*e.g.* Winter, 2001, cap. 17). Sin embargo, un nuevo paradigma de generación de estos granitos ha emergido en los últimos años, que implica que material basáltico de la placa subducente y sedimentos subducidos se desgajan de dicha placa en forma de plumas frías que sufren fusión por calentamiento y descompresión a medida que atraviesan la cuña mantélica de la placa superior. Estas plumas, debido a la mezcla de material basáltico y continental, tendrían una composición intermedia y no máfica, por lo que se relaminarían en la base de la corteza continental y ascenderían por la misma, sin

necesidad de una asimilación sustancial de material de la corteza (*e.g.* Castro, 2014).

Las rocas ígneas presentes en los batolitos cordilleranos, comúnmente referidas como granitos tipo I aunque engloban desde granitos a gabros, presentan una variabilidad composicional acorde con la variabilidad litológica, con maficidades (FeOt + MgO) que oscilan entre 0 y 20%, y con pendientes negativas para SiO_2, K_2O y A/CNK y positivas para Al_2O_3, CaO y TiO_2 (Fig. 1). Esta variabilidad ha sido explicada como consecuencia de cristalización fraccionada a lo largo de líneas cotécticas (*e.g.* Castro, 2013), pero otra explicación posible sería la entrada de restitas. Según este modelo, los magmas generados a partir de una roca de composición intermedia y que se segregan de la misma no consisten únicamente de fundido sino de fundido y minerales restíticos, principalmente peritécticos, en proporciones variables, y es la distinta proporción entre minerales y fundidos en el magma la causante de la variabilidad composicional observada (Clemens *et al.*, 2011). Este modelo ha sido aplicado con éxito en los granitos tipo S, que comparten con los granitos tipo I las mismas pendientes negativas y positivas para los mismos elementos con el incremento de la maficidad (García-Arias, 2018). Por esta razón, es posible que este mismo modelo pueda ser aplicado también a los granitos tipo I.

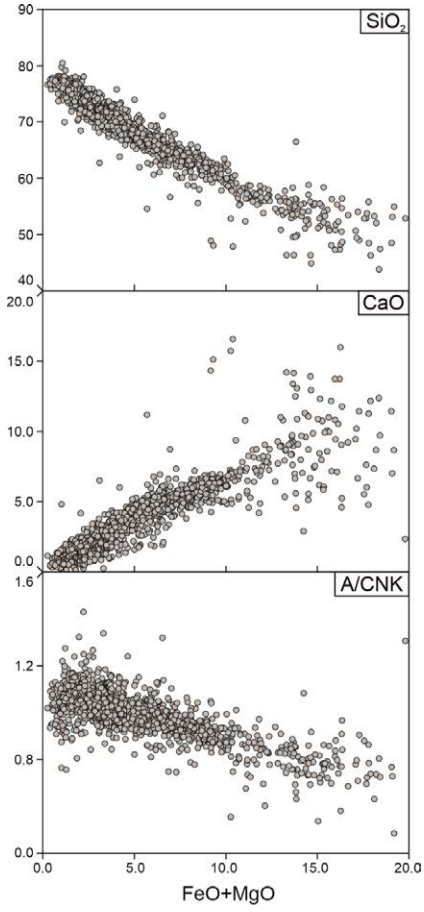


FIGURA 1. Variabilidad composicional de los granitos tipo I para SiO_2, CaO y A/CNK vs. maficidad (FeOt + MgO). Nótese la pendiente negativa para el SiO_2 y el A/CNK y la pendiente positiva para el CaO con el incremento de la maficidad.

En este trabajo se exponen los resultados de modelos termodinámicos isobáricos de la fusión parcial de una roca de composición intermedia a diferentes presiones, todas ellas compatibles con el límite corteza continental-manto litosférico. En estos modelos se ha reproducido la segregación de pulsos magmáticos con variable contenido de minerales residuales según el proceso de entrada de restitas. Finalmente, la composición de los magmas generados se ha comparado con la de una base de datos de análisis publicados de más de 1200 granitos tipo I compilada por M. García-Arias, para evaluar en qué condiciones P-T se produce la mayor similitud entre los magmas teóricos y los granitos, y si el proceso de entrada de restitas puede explicar satisfactoriamente la variabilidad composicional de los granitos.

METODOLOGÍA DE LOS CÁLCULOS TERMODINÁMICOS

Los modelos termodinámicos (pseudosecciones) realizados para este trabajo se han hecho con el software Perple_X (Connolly, 2009), las bases de datos termodinámicas de Holland y Powell (2011) y sucesivas actualizaciones, así como diversos modelos de actividad-solución, principalmente de Holland *et al.* (2018). La roca de partida, de composición intermedia, es la andesita de Le Maitre (1976), a la que se ha eliminado el MnO, el P_2O_5 y una cantidad de CaO correspondiente a la del P_2O_5 en el apatito. El contenido de H_2O se ha recalculado para cada presión estudiada para conseguir la mayor cantidad de minerales hidratados sin que exista una fase fluida libre. Las composiciones usadas en los modelos se muestran en la Tabla I.

Se ha modelado la fusión parcial de esta roca en perfiles isobáricos a 1.0, 1.5 y 2.0 GPa, presiones propias del límite corteza continental-manto litosférico para diferentes grosores de la corteza en arcos continentales. El rango de temperaturas estudiadas varió entre 650 °C (por debajo del sólidus) y 1150 °C. Cada vez que la cantidad de fundido alcanzó el 7% en peso de la roca se forzó la segregación de un 5%, dejando el 2% restante en la roca (valores del primer límite reológico a la segregación de fundido según Rosenberg y Handy, 2005). El sistema residual, cuya composición fue recalculada para descontar el fundido segregado, se siguió modelando hasta que se alcanzó un nuevo umbral de 7% de fundido. Este proceso se repitió varias veces hasta alcanzar la máxima temperatura estudiada.

Aunque en este proceso sólo se segregó fundido, se ha calculado la composición de magmas a partir de la mezcla de fundido y minerales estables a las temperaturas de segregación. La composición de estos magmas se ha calculado con mezclas desde 100% fundido y 0% minerales hasta 60% fundido y 40% minerales (mayores concentraciones de minerales harían el magma inmóvil y no se segregaría). La fracción mineral co-segregada (FMC) se ha calculado desde 100% minerales reactivos (los que se funden) y 0% peritécticos hasta 0% reactivos y 100% peritécticos, para evaluar todo el rango posible de composiciones. La cantidad y composición de todas estas fases se ha obtenido de los cálculos de Perple_X, y el cálculo de la composición de los magmas se ha realizado en hojas Excel.

	1.0 GPa	1.5 GPa	2.0 GPa
SiO_2	58.54	58.24	58.74
TiO_2	0.88	0.87	0.88
Al_2O_3	17.20	17.11	17.26
Fe_2O_3	1.73	1.72	1.73
FeO	5.50	5.47	5.52
MgO	3.36	3.35	3.38
CaO	6.61	6.57	6.63
Na_2O	3.52	3.50	3.53
K_2O	1.64	1.63	1.64
H_2O	1.03	1.55	0.69
Total	100.00	100.00	100.00

TABLA I. Composiciones de partida para los cálculos termodinámicos.

RESULTADOS

Los modelos predicen un total de diez pulsos magmáticos segregados a 1.0 GPa, cinco a 1.5 GPa y tres a 2.0 GPa. La maficidad de los magmas depende de una combinación de factores: presión, temperatura del pulso segregado, contenido de minerales residuales en el magma y proporción peritéctico/reactivo en la FMC. El incremento de la temperatura causa un incremento de la maficidad de todos los magmas posibles para un solo pulso. A temperatura constante y con unas pocas excepciones, la maficidad se incrementa con un mayor contenido de minerales co-segregados. A temperatura y contenido mineral constante, la maficidad se incrementa a mayor contenido de minerales reactivos a 1.5 y 2.0 GPa y a mayor contenido de minerales peritécticos a 1.0 GPa, si bien a esta última presión y a T > 900 ºC los magmas ricos en minerales reactivos son más félsicos que los fundidos puros.

La composición de los fundidos generados en todos los pulsos a las presiones estudiadas muestra que no todos los fundidos reproducen las composiciones de los granitos tipo I (Fig. 2). Esta falta de similitud descarta la posibilidad de que los granitos tipo I sean fundidos primitivos puros, e igualmente descarta que las tendencias composicionales observadas en los granitos sean únicamente debidas a las diferentes temperaturas y presiones de generación de fundidos puros. Por tanto, los granitos deben representar o bien fundidos evolucionados, o bien magmas conteniendo fundido y minerales residuales, como se propone aquí.

Con respecto a las tendencias composicionales producidas por el incremento de la FMC, los magmas generados a 1.0 GPa y T < 900 ºC y con proporciones de minerales reactivos y peritécticos aproximadamente similares en la FMC son los candidatos más probables. Estos magmas cumplen una doble condición: por un lado son los que mejor reproducen las tendencias observadas en los granitos, y por otro lado sus composiciones coinciden con las de los granitos (Fig. 3). A 1.5 y 2.0 GPa hay magmas a 1040 ºC y 1120 ºC, respectivamente, que cumplen igualmente ambas condiciones.

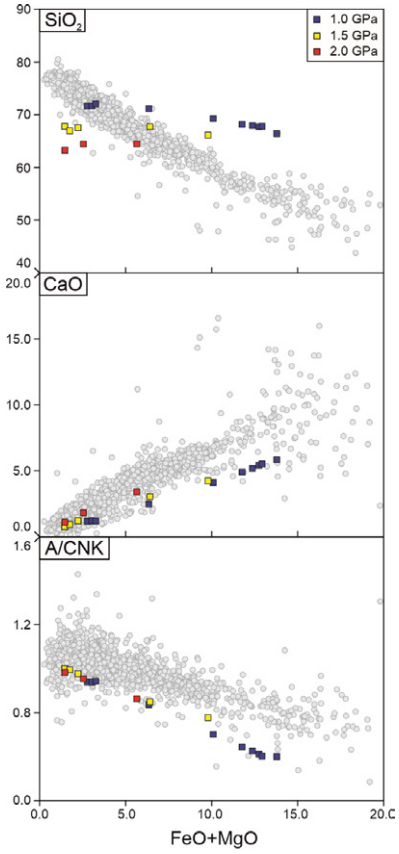


FIGURA 2. Comparación entre la composición de los fundidos calculados y los granitos tipo I para SiO_2, CaO y A/CNK vs. maficidad (FeOt + MgO). Nótese cómo muchos de los fundidos no reproducen las composiciones de los granitos.

DISCUSIÓN

Los modelos termodinámicos sobre la co-segregación de fundido y restitas a partir de una roca parcialmente fundida de composición intermedia han sido capaces de producir magmas que reproducen tanto la composición de los granitos tipo I como sus tendencias composicionales con el incremento de la maficidad. Los magmas teóricos que mejor reproducen estas tendencias abarcan una maficidad de entre 2.78 y 9.55 wt%, es decir, la maficidad de aproximadamente 62% de los granitos de la base de datos utilizada. Dado el grosor habitual de la corteza continental, los datos más relevantes son los producidos a 1.0 GPa.

Sin embargo, existe un conjunto de granitos cuyas composiciones no han podido ser reproducidas. Son los granitos con maficidad menor y mayor a la de los magmas calculados. De acuerdo al modelo de generación de granitos tipo I de Castro (2014) y otros autores de mezcla de sedimentos y corteza oceánica subducida, los granitos más félsicos podrían ser formados por fusión parcial de mezclas más ricas en sedimentos, y los “granitos” más máficos (en realidad, dioritas y gabros) a partir de mezclas más ricas en corteza oceánica. Es necesario realizar cálculos termodinámicos con diferentes composiciones de la roca fuente para analizar la influencia de la composición de la roca fuente en la composición de los granitos tipo I.

Aunque las conclusiones de estos modelos termodinámicos son prometedoras de cara a demostrar que la entrada de restitas puede causar la variabilidad composicional observada en los granitos tipo I, no puede descartarse la posibilidad de que parte de esta variabilidad, o por lo menos la composición de los granitos más félsicos y máficos, sea debida a procesos de cristalización fraccionada a la profundidad de emplazamiento.

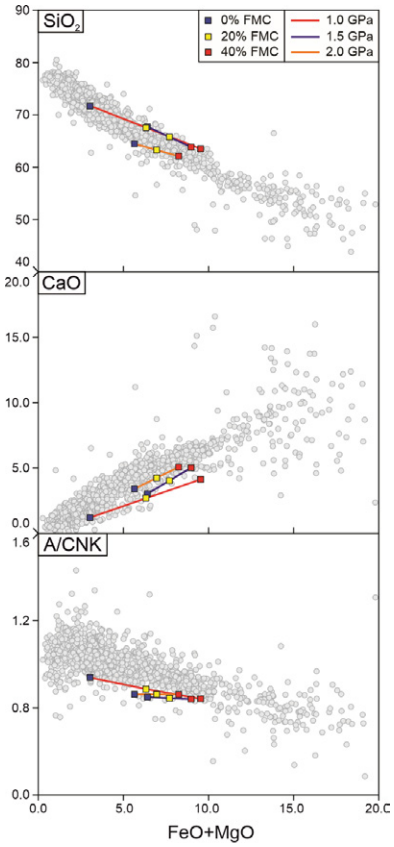


FIGURA 3. Comparación entre la composición de magmas calculados y los granitos tipo I para SiO_2, CaO y A/CNK vs. maficidad (FeOt + MgO). La proporción de minerales peritécticos y reactivos en la FMC es de 60:40. De los tres magmas calculados a 1.0 GPa, sólo el de 844 ºC es mostrado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con los Fondos de Ayuda a Profesores Asistentes (FAPA) de la Universidad de Los Andes, otorgados a M. García-Arias.

REFERENCIAS

Castro, A. (2013): Tonalite–granodiorite suites as cotectic systems: A review of experimental studies with applications to granitoid petrogenesis. *Earth-Science Reviews*, 124: 68-95.

Castro, A. (2014): The off-crust origin of granite batholiths. *Geoscience Frontiers*, 5: 63-75.

Connolly, J.A.D. (2009): The geodynamic equation of state: what and how. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*s, 10. DOI:10.1029/2009GC002540.

Clemens, J.D., Stevens, G. y Farina, F. (2011): The enigmatic sources of I-type granites: the peritectic connexion. *Lithos*, 126: 174-181.

García-Arias, M. (2018): Decoupled Ca and Fe + Mg content of S-type granites: An investigation on the factors that control the Ca budget of S-type granites. *Lithos*, 318-319: 30-46.

Holland, T.J.B. y Powell, R. (2011): An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids. *Journal of Metamorphic Geology,* 29: 333-383.

Holland, T.J.B., Green, E.C.R. y Powell, R. (2018): Melting of Peridotites through to Granites: A Simple Thermodynamic Model in the System KNCFMASHTOCr. *Journal of Petrology,* 59: 881-900.

Le Maitre, R.W. (1976): The chemical variability of some common igneous rocks. *Journal of Petrology*, 17: 589-598.

Rosenberg, C.L. y Handy, M.R. (2005): Experimental deformation of partially melted granite revisited: implications for the continental crust. *Journal of Metamorphic Geology*, 23: 19-28.

Winter, J.D. (2001): *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, New Jersey, 697 p.

Modelización termodinámica de la evolución magmática de diapiros trans-litosféricos.

Thermodynamic modelling of the magmatic evolution of trans-lithospheric diapirs.

M. García-Arias[1] y M. P. Silva[1]

1 Dpto. Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. 111711 Bogotá, Colombia m.garcia@uniandes.edu.co

Resumen: El modelo más reciente de magmatismo en arcos continentales consiste en subducción de la placa oceánica acompañada por una mezcla de basalto y sedimentos procedentes de la Melange en el canal de subducción, fusión de esta mezcla, ascenso del fundido a través del manto litosférico (los diapiros trans-litosféricos) y relaminación de estos diapiros en la base de la corteza. Desde estos diapiros relaminados, pueden ascender pulsos magmáticos (fundido ± material restítico) a través de la corteza para generar los granitoides cordilleranos. Se han llevado a cabo modelos termodinámicos de la evolución magmática de estos diapiros desde 500 ºC y 3.0 GPa hasta 900 ºC y 1.0 GPa, usando varias composiciones de roca simulando las proporciones variables de basalto y sedimento. La cantidad y composición del fundido a 900 ºC y 1.0 GPa es notablemente similar, independientemente de la composición de partida: los fundidos son silíceos (70.25-72.09 wt.%), metaluminosos (A/CNK: 0.89-0.90), moderadamente máficos (FeO_t+MgO: 4.10-4.53 wt.%) y ligeramente potásicos (K/Na: 1,08-1,38). La cantidad de fundido, de entre 21.6 y 24.8 vol.%, es suficientemente alta para formar una red interconectada, por lo que ese fundido puede segregarse del diapiro relaminado y ascender a través de la corteza continental, acompañado o no por minerales restíticos.

Palabras clave: granitoides cordilleranos, diapiros trans-litosféricos, evolución magmática, modelos termodinámicos.

Abstract: *The most recent model of continental arc magmatism comprises subduction of the oceanic slab accompanied by a mixing of sediments and basalts from the Melange in the subduction channel, melting of this mixture, ascension of the melted portion through the lithospheric mantle (the trans-lithospheric diapirs) and relamination of these diapirs to the base of the continental crust. Later on, melt and magma batches from these relaminated bodies ascend through the crust, producing the Cordilleran granitoids. A thermodynamic modelling of the magmatic evolution of the diapirs has been carried out, following a P-T path from 500 °C and 3.0 GPa to 900 °C and 1.0 GPa, and using several rock compositions resembling variable mixtures of basalt and sediments. The melt composition and amount at 900 °C and 1.0 GPa is fairly homogeneous irrespective of the initial bulk composition: melts are silicic (70.25-72.09 wt.%), metaluminous (A/CNK: 0.89-0.90), moderately mafic (FeO_t+MgO: 4.10-4.53 wt.%) and slightly potassic (K/Na: 1,08-1,38). The melt amount (21.6-24.8 vol.%) is high enough to form an interconnected network, thus being able to segregate from the relaminated diapirs and ascend through the continental crust, with or without entrained restitic minerals.*

Keywords: *Cordilleran granitoids, trans-lithospheric diapirs, magmatic evolution, thermodynamic modelling*

INTRODUCCIÓN

Los granitoides y rocas asociadas que afloran en arcos continentales (granitoides cordilleranos) son una contribución esencial en el aumento del volumen de corteza continental (Taylor y McLennan, 1985), y el estudio de su génesis es uno de los principales debates científicos en Geología. La composición de estos granitoides implica participación mantélica y continental, pero la imposibilidad de acceder al lugar de generación de este magmatismo impide distinguir la contribución mantélica (cuña mantélica, placa oceánica subducida, otros) de la cortical (corteza inferior, fluidos de la placa subducente, sedimentos subducidos, etc.). El modelo tradicional implica: 1) la fusión del manto litosférico de la placa superior tras su hidratación por fluidos provenientes de la placa subducente, 2) ascenso y acoplamiento (relaminación) de estos fundidos, basálticos, en la base de la corteza continental, 3) su cristalización fraccionada hasta superar la barrera de densidad con la corteza, 4) ascenso de los fundidos evolucionados y asimilación de dicha corteza (p.ej. Winter, 2001, cap. 17) (Fig. 1a). Un modelo más reciente implica: 1) la mezcla, en el canal de subducción, de material basáltico de la placa subducente y sedimentos de la melange, 2) su fusión parcial y separación de los fundidos -andesíticos- de la placa subducente, 3) los fundidos atraviesan la cuña del manto litosférico de la placa superior en forma de diapiros trans-litosféricos (con el consiguiente incremento de la tasa de fusión por calentamiento y descompresión), 4) relaminación de los fundidos en la base de la corteza continental y segregación de pulsos magmáticos (fundido ± material restítico), que generarían los batolitos cordilleranos y el vulcanismo asociado (p.ej. Castro, 2014) (Fig. 1b). La diferencia principal entre

ambos modelos es que, en el modelo tradicional, la composición del diapiro es basáltica y por tanto requiere asimilar material de la corteza continental de la placa superior para alcanzar la composición promedio de los batolitos cordilleranos. En cambio, en el modelo actual la composición del diapiro ya es intermedia y la contribución continental proviene de los sedimentos subducidos, sin necesidad de una asimilación sustancial de material de la corteza.

Los cálculos termodinámicos se han convertido en una potente herramienta para estudiar numerosos procesos petrológicos, como geotermobarometría, fertilidad de rocas fuente, composición del fundido y su segregación de la roca fuente, etc. Este avance se debe a que estos cálculos integran bases de datos termodinámicos internamente consistentes, con modelos de actividad-composición para soluciones sólidas o líquidas. Así, aquí se ha decidido utilizarlos para evaluar la viabilidad del nuevo modelo en la generación de magmatismo en arcos continentales. En esta contribución se estudiará la evolución de los diapiros trans-litosféricos desde su despegue de la placa subducente hasta su relaminación en la base de la corteza continental, particularmente la cantidad y composición química del fundido, con énfasis en la influencia que la composición inicial del diapiro (i.e. la proporción de basalto y sedimento) tiene sobre el fundido.

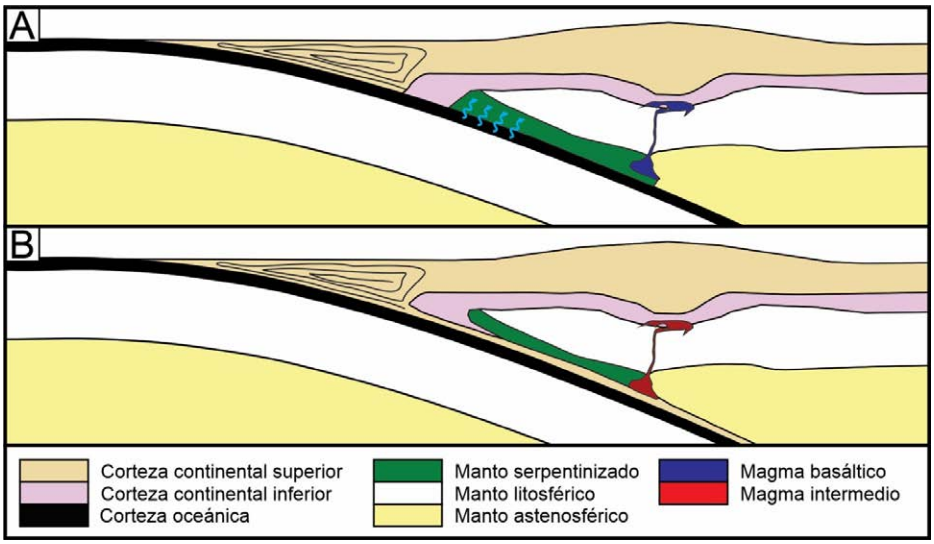


FIGURA 1. Modelo clásico (A) y modelo actual (B) de generación de magmatismo en arcos continentales. Ver texto principal para más información.

METODOLOGÍA

Para realizar los cálculos termodinámicos, se ha usado el software Perple_X (Connolly, 2009), las bases de datos termodinámicas de Holland y Powell (2011) y sucesivas actualizaciones, así como diversos modelos de actividad-solución, principalmente de Holland *et al.* (2018). El camino P-T elegido para modelar la evolución de los diapiros, tomado de modelos numéricos de Vogt *et al.* (2012), consiste en tres etapas: de 500 ºC y 3.0 GPa a 700 ºC y 2.7 GPa (formación del diapiro), de 700 ºC y 2.7 GPa a 900 ºC y 2.2 GPa (despegue del diapiro) y de 2.2 a 1.0 GPa a 900 ºC (ascenso isotérmico y relaminación del diapiro).

Para las composiciones de partida de los diapiros, se han usado varias composiciones promedio como representativas de las distintas mezclas: la andesita basáltica de Cameron *et al.* (1989) y la andesita y la dacita de Le Maitre (1976) para mezclas de basalto:sedimento de 75:25, 50:50 y 25:75 respectivamente, así como una versión modificada de la andesita para tener Mg# [Mg * 100 / (Mg+Fe), en moles] = 65 para estudiar la hibridación de un diapiro con el manto litosférico. Estas composiciones han sido ligeramente modificadas para los cálculos: se ha eliminado el MnO, el P_2O_5 y una cantidad de CaO correspondiente a la del P_2O_5 en el apatito, y la proporción Fe_2O_3/FeO se ha recalculado siguiendo el algoritmo de Kress y Carmichael (1991) para 700 ºC, 2.0 GPa y QFM + 1 (condiciones P-T promedio del camino del diapiro). Estas composiciones modificadas se muestran en la Tabla I.

	Andesita basáltica	Andesita	Dacita	Andesita Mg#65
SiO_2	54.18	58.52	65.80	59.21
TiO_2	1.64	0.88	0.59	0.89
Al_2O_3	16.46	17.19	16.10	17.40
Fe_2O_3	2.87	2.06	1.45	1.51
FeO	6.52	5.20	3.24	3.27
MgO	4.69	3.36	1.80	4.82
CaO	7.37	6.61	4.21	6.72
Na_2O	3.21	3.51	3.84	3.56
K_2O	1.83	1.64	2.20	1.66
H_2O	1.22	1.03	0.78	0.97

TABLA I. Composiciones de partida usadas en los cálculos termodinámicos.

RESULTADOS

La composición y cantidad del fundido cuando el diapiro se relamina a la corteza continental, a 900 ºC y 1.0 GPa, es notablemente similar independientemente de la composición inicial del diapiro (Tabla II y Fig. 2).

Todos los fundidos son ácidos (SiO_2 = 70.25 - 72.57 %, en base anhidra), moderadamente máficos (maficidad = TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MgO = 4.02 - 5.06 %), metaluminosos (A/CNK = 0.886 – 0.902) y potásicos (K/Na = 1.08 – 1.38), con una tendencia general a ser más ácidos, menos máficos y más potásicos cuanto más ácida sea la composición inicial del diapiro. La cantidad de fundido presente en el diapiro a las condiciones P-T de relaminación es superior al 20% en volumen (21.6 - 24.8 %). Las fases minerales presentes en el magma son plagioclasa + ortopiroxeno + clinopiroxeno + ilmenita ± cuarzo, si bien la cantidad de cuarzo aumenta y la de clinopiroxeno disminuye con el incremento de la acidez en la composición del diapiro (andesita basáltica: 0% cuarzo y 14.6% clinopiroxeno; dacita: 16.5% cuarzo, 0.5% clinopiroxeno). No existen diferencias composicionales destacables entre el fundido del diapiro andesítico y el del diapiro de andesita Mg#65 (Tabla II).

	Andesita basáltica	Andesita	Dacita	Andesita Mg#65
Cantidad (vol.%)	24.8	23.2	21.6	21.8
SiO_2	70.25	72.09	71.37	72.57
Maficidad	5.06	4.90	4.40	4.02
A/CNK	0.899	0.886	0.895	0.902
K/Na	1.09	1.08	1.38	1.12

TABLA II. Cantidad y composición de los fundidos a 900 ºC y 1.0 GPa..

DISCUSIÓN

La composición del fundido es granodiorítica a granítica en los cuatro casos investigados. Aunque se detecta una tendencia hacia composiciones más ácidas en el fundido cuanto más ácido es el diapiro, esa tendencia es mucho menos marcada que la variación en la composición propia de cada diapiro, concentrándose las diferencias en la cantidad de cuarzo y clinopiroxeno en cada uno de ellos. La composición de los fundidos cae dentro del rango de composiciones de los granitoides cordilleranos, si bien están ligeramente empobrecidos en Al_2O_3 y CaO y enriquecidos en K_2O, lo que causa valores bajos de A/CNK y altos de K/Na (Fig. 3). Co-segregación de plagioclasa junto con el fundido (i.e. arrastre de plagioclasas restíticas procedentes de la fuente) incrementaría el contenido de Al_2O_3 y de CaO, mejorando la similitud con los granitoides. La cristalización fraccionada de estos fundidos al nivel de emplazamiento crearía la variabilidad composicional y litológica observada en los granitoides.

La cantidad de fundido es bastante similar en los cuatro casos, con una ligera disminución en su cantidad cuanto más ácido es el fundido, reflejando la disminución en la cantidad de H_2O en la composición del diapiro. En todos los casos, su cantidad supera el primer límite reológico de segregación de fundido, por lo que este es capaz de segregarse del diapiro relaminado y ascender a través de la corteza continental. La cantidad es también suficientemente alta como para permitir la co-segregación de restitas con el fundido, por lo que es posible que el material restítico arrastrado también contribuya a la variabilidad composicional observada en los granitoides cordilleranos.

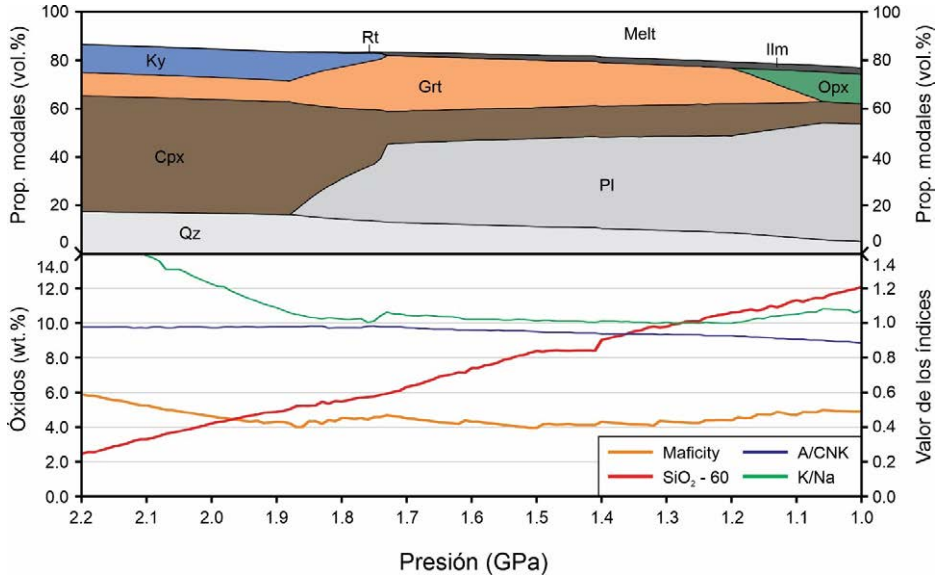


FIGURA 2. Fases presentes y su cantidad (panel superior) y composición del fundido (panel inferior) para la última etapa de la evolución del diapiro (de 2.2 a 1.0 GPa a 900 ºC) para el diapiro de composición inicial andesítica. Para ajustar el contenido de sílice a la gráfica, se ha restado un 60% del mismo: un valor de 12% de sílice en la gráfica representa en realidad 72%.

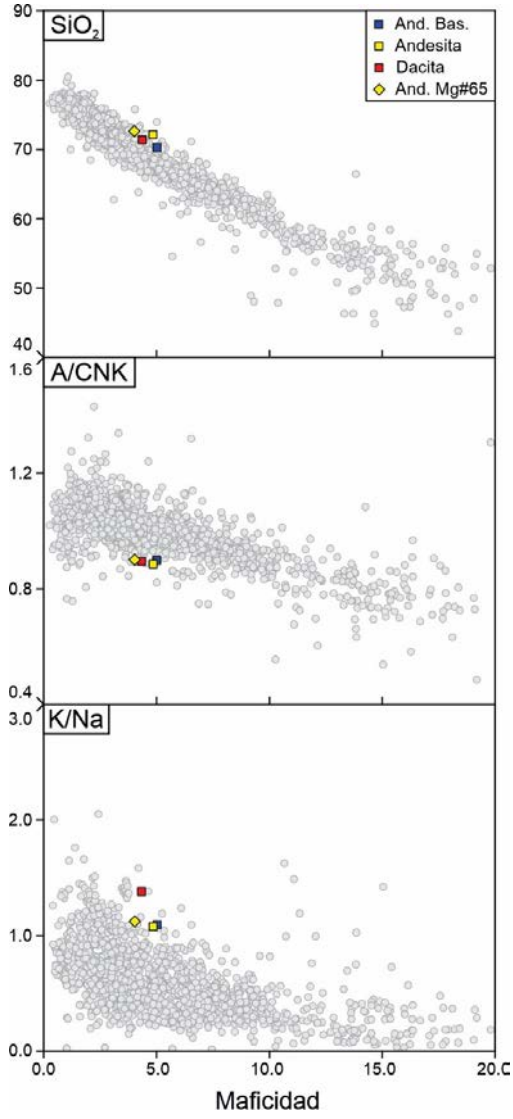


FIGURA 3. Comparación entre la composición de los fundidos y granitoides cordilleranos.

CONCLUSIONES

Modelos termodinámicos sobre la fusión parcial de diversas mezclas de basalto y sedimento en la placa subducente predicen fundidos cuya composición en las condiciones P-T de la base de la corteza continental se asemeja a la de granitoides cordilleranos. Estos resultados apoyan el modelo más reciente de magmatismo en arcos continentales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo muestra los resultados de la tesis de fin de grado de M.P. Silva. El trabajo ha sido financiado con el Fondo de Ayuda a Profesores Asistentes de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, código INV-2019-63-1701.

REFERENCIAS

Cameron, K.L., Nimz, G.J., Kuentz, D., Niemeyer, S. y Gunn, S. (1989): Southern Cordilleran basaltic andesite suite, southern Chihuahua, Mexico: A link between Tertiary continental arc and flood basalt magmatism in North America. *Journal of Geophysical Research*, 94: 7817-7840.

Castro, A. (2014): The off-crust origin of granite batholiths. *Geoscience Frontiers*, 5: 63-75.

Connolly, J.A.D. (2009): The geodynamic equation of state: what and how. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10. DOI:10.1029/2009GC002540.

Holland, T.J.B. y Powell, R. (2011): An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids. *Journal of Metamorphic Geology*, 29: 333-383.

Holland, T.J.B., Green, E.C.R. y Powell, R. (2018): Melting of Peridotites through to Granites: A Simple Thermodynamic Model in the System KNCFMASHTOCr. *Journal of Petrology*, 59: 881–900.

Kress, V.C. y Carmichael, I.S.E. (1991): The compressibility of silicate liquids containing Fe_2O_3 and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* 108: 82–92.

Le Maitre, R.W. (1976): The chemical variability of some common igneous rocks. *Journal of Petrology*, 17: 589-598.

Taylor, S.R. y McLennan, S.M. (1985): The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312 pp.

Vogt, K., Gerya, T.V. y Castro, A. (2012): Crustal growth at active continental margins: numerical modeling. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 192-193: 1-20.

Winter, J.D. (2001): *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, New Jersey, 697 pp.

Polimetamorfismo en las Zonas Internas béticas: implicaciones tectónicas.

Polymetamorphism in the betic Internal Zones: tectonic implications.

A. García-Casco[1,2], A. Sánchez-Navas[1,2], I.F. Blanco-Quintero[3] y A. Martín-Algarra[4,2]

1 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es, asnavas@ugr.es
2 Inst. Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es, asnavas@ugr.es
3 Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Alicante, Spain. if.blanco@ua.es
4 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agustin@ugr.es

Palabras clave: Metapelitas, granate, zonación química, polimetamorfismo, Cordilleras Béticas.

Resumen

La zonación química y las texturas de disolución y crecimiento de distintos tipos de granate coexistentes en una misma muestra, junto con dataciones de monacita y circón en metapelitas y gneises de la Unidad Alpujárride de Torrox (Zonas Internas béticas), permite identificar un metamorfismo pre-Alpino al que se le superpone una historia Alpina compleja. Núcleos de porfidoblastos de granate con X_{Sps} cercanos a 0.2 y bajos contenidos en Ca coexisten con núcleos muy ricos en Ca (X_{Grs} > 0.3). Los primeros muestran texturas quiastolíticas que resultan del crecimiento en condiciones estáticas durante un evento pre-Alpino de baja P y T intermedia (*ca.* 0.35 GPa y < 550 ºC). Los segundos apuntan a condiciones próximas a facies de esquistos azules (1.3 GPa y 500 ºC) relacionadas con un evento de subducción Alpino. Ambos tipos de núcleos aparecen disueltos y recrecidos por nuevas generaciones de granate con contenidos moderados de Ca y también afectados por otros eventos de disolución seguidos de recrecimientos con bajo Ca (X_{Grs} *ca.* 0.05) y valores de X_{Prp} máximos (*ca.* 0.15). Estos últimos recrecimientos se originaron durante un segundo evento metamórfico Alpino bajo rangos de T y P variables (500-620 °C y 0.8-11 GPa). Finalmente, las mismas muestras también contienen granates pequeños, tanto en la matriz como en el interior de estaurolita, granate, andalucita, plagioclasa y turmalina, con composiciones contrastadas y frecuentes texturas atolón que resultan del reemplazamiento de núcleos ricos en Ca y que corresponden a un evento enigmático. Por tanto, los ejemplos mostrados ilustran que no todas las fábricas y asociaciones metamórficas de las unidades Alpujárrides son de edad Alpina.

Abstract

Chemical zoning and textural features of different types of garnet coexisting within the same samples, together with monazite and zircon dating in metapelites and gneisses of the Alpujarride Torrox Unit (Betic Internal Zones), allow recognizing a pre-Alpine metamorphism overprinted by a complex Alpine evolution. Garnet porphyroblasts with Mn-rich cores (X_{Sps} close to 0.2) and low X_{Grs} content coexist with garnet porpyroblasts with high-Ca cores (X_{Grs} > 0.3). The former show chiastolitic textures as a result of static growth during a low-P/medium-T pre-Alpine event (ca. 0.35 GPa and < 550 ºC), while the later yield conditions close to blueschists-facies (1.3 GPa and 500 ºC) related to an Alpine subduction event. Both types of cores appear dissolved and overgrown by moderate-Ca domains that also show later dissolution features and newer overgrowths of Ca-poor domains (X_{Grs} ca. 0.05) with maximum X_{Prp} values (ca. 0.15). These youngest overgrowths correspond to a second Alpine metamorphic event under a range of P-T conditions (500-620 °C and 0.8-11 GPa). Finally, in the same samples also coexist small garnet grains, present either within the matrix or included in staurolite, garnet, andalusite, plagioclase and tourmaline. These small grains show contrasted compositions and common atoll textures developed upon replacement of Ca-rich cores, and correspond to an enigmatic event. Consequently, the examples here provided illustrate that not all fabrics and metamorphic assemblages of the Alpujárride units are of Alpine age.

Geoquímica de las pizarras ordovícicas encajantes del yacimiento de Zn-Pb-Cu-As(Au) de Pombriego (Sinclinal de Truchas).

Geochemistry of the Ordovician slates hosting the Pombriego Zn-Pb-Cu-As(Au) deposit (Truchas Syncline).

P. García de Arriba[1], L. González-Menéndez[2], A. Guedes[3], A. Castañón[1] y F. Gómez-Fernández[1]

1 Dpto. de Tecnología Minera, Topográfica y de Estructuras, Universidad de León. Avda/ Campus de Vegazana s/n, 24007, León. porfi.g13@gmail.com, amcasg@unileon.es, f.gomez@unileon.es

2 Instituto Geológico y Minero de España, Avda/ Real 1, Parque Científico, Edificio 1, 24006 León. l.gonzalez@igme.es

3 Dpto. Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território - Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo-Porto, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal. aguedes@fc.up.pt

Palabras clave: geoquímica, tierras raras (REE), pizarras ordovícicas, yacimientos minerales.

Resumen

Con objeto de investigar el encajante del yacimiento de Zn-Pb-Cu-As(Au) de Pombriego (Sinclinal de Truchas), se realizó un estudio geoquímico en pizarras de la Formación Luarca (Ordovícico Medio) y de las Capas de Transición (Ordovícico Medio-Inferior). Su composición muestra bajas relaciones de Fe_2O_3/K_2O, peraluminosidad (A/CNK = 2.5-4.5) e índices de alteración química moderados a altos (CIA = 72-81). Los elementos traza son similares a otras pizarras estándar (PAAS) aunque con mayor contenido en LREE y anomalías negativas en Sr y Ni. Los espectros de REE muestran fraccionamientos La/Yb = 15-17 y anomalías negativas de Eu moderadas. Las fuertes correlaciones entre Th-La, Y-Yb e Yb-Dy indican que la geoquímica de REE está controlada por la presencia de monacita + xenotima, no así por la de circón. Las relaciones Al_2O_3/TiO_2 y el contenido en Zr permiten diferenciar dos grupos que, aunque de similar procedencia (ratios Th/Sc equivalentes), muestran diferencias geoquímicas atribuibles en parte a la mayor o menor abundancia de circón. El grupo de mayor contenido en Zr y menor ratio Al_2O_3/TiO_2 corresponde a las Capas de Transición. Algunos contenidos anómalos de As observados se relacionan con fallas, asociadas al yacimiento metálico de Pombriego.

Este trabajo fue financiado por el Proyecto 0284_ESMIMET_3_E (INTERREG V-A Programa de Cooperación España-Portugal, 2014-20) y por el Proyecto LE167G18 (Junta de Castilla y León).

Abstract

This work studies the geochemistry of the country rocks that host a Zn-Pb-Cu-As(Au) ore from Pombriego (Truchas Syncline, NW Spain). These rocks are Middle and Middle/Lower Ordovician shales (Luarca Fm. and Capas de Transición Fm.). Its composition is peraluminous (A/CNK = 2.5-4.5), with low Fe_2O_3/K_2O and moderate to elevated CIA ratios (72-81). Trace element contents are similar to PAAS but with higher LREE and negative Sr and Ni anomalies. The REE patterns are quite fractionated (La/Yb = 15-17) and show moderate negative Eu anomalies. Strong correlations between Th-La, Y-Yb and Yb-Dy indicate a monazite + xenotime REE control and minor influence of zircon. Al_2O_3/TiO_2 ratios and Zr contents allow distinguish two groups that nevertheless have a similar source (similar Th/Sc ratios). The group with higher Zr and lower Al_2O_3/TiO_2 belongs to the Capas de Transición Fm. Some anomalous As contents observed are related to faults linked to the Pombriego ore deposit.

This work has been financed by 0284_ESMIMET_3_E (INTERREG V-A Programa de Cooperación España-Portugal, 2014-20) and LE167G18 (Junta de Castilla y León) proyects.

La edad del skarn de Cala: datación U-Pb mediante TIMS y LA-ICP-MS del granate cálcico.

The age of the Cala skarn: U-Pb dating by TIMS and LA-ICP-MS of Ca-rich garnet.

S. García de Madinabeitia[1], A. Beranoaguirre[2], F. Corfu[3] y J.I. Gil Ibarguchi[1]

1 Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, España. sonia.gdm@ehu.es, josei.gil@ehu.es
2 Institut für Geowissenschaften, Institut für Geowissenschaften, 60438 Frankfurt am Main, Germany. aratz.beranoaguirre@ehu.eus
3 Department of Geosciences and CEED, University of Oslo, Norway. fernando.corfu@geo.uio.no

Palabras clave: granate cálcico, mina de Cala, edad U-Pb, ID-TIMS, LA-ICP-MS.

Resumen

La mina de Cala contiene mineralizaciones de magnetita y sulfuros que se relacionan con la formación de un skarn cálcico y con el desarrollo de una cizalla extensional (Carriedo y Tornos, 2010). Mediante ID-TIMS y LA-ICP-MS se han analizado granates cálcicos del skarn para establecer su edad U-Pb y evaluar su viabilidad como patrón para dataciones por ablación láser. Los granates son anisótropos, más ricos en grosularia (~57 mol %) que en andradita (~41 mol %) y sin zonación composicional significativa. Cuatro fracciones de granate analizadas mediante ID-TIMS proporcionan una edad $^{206}Pb/^{207}Pb$ conjunta de 340 ± 2 Ma. Para la datación mediante LA-ICP-MS (UP213, iCAP Qc) se han realizado 39 spots en diferentes granates. Los resultados muestran cantidades discretas de Pb (<100 ppb) y significativas de U (≈10 ppm) definiendo una regresión próxima a la curva concordia Tera-Wasserburg cuya intersección inferior da una edad de 334.4 ± 0.6 Ma. La corrección matemática del Pb común utilizando la relación $^{207}Pb/^{206}Pb$=0.8451 de la mineralización da una edad concordia de 337.8 ± 0.4 Ma. Los resultados son coherentes con la edad de 338 ± 0.4 Ma (Zr U-Pb, TIMS; Carriedo y Tornos, 2010) del pórfido granodiorítico que dio lugar a la formación del skarn, confirman la viabilidad de la datación U-Pb de los granates cálcicos y el potencial como standard para dataciones LA-ICP-MS del granate de Cala.

Abstract

The Cala mine depicts mineralizations of magnetite and sulfides related to the formation of a calcic skarn and to the development of an extensional shear zone (Carriedo and Tornos, 2010). We have performed a study by ID-TIMS and LA-ICP-MS methods of Ca-rich garnets from the skarn to establish their U-Pb age, and evaluate the viability of this mineral as a standard for LA dating. Anysotropic garnets studied are richer in grossular (~57 mol %) than in andradite (~41 mol %) without significant compositional zoning. Four garnet fractions analysed by ID-TIMS yield a combined $^{206}Pb/^{207}Pb$ age of 340 ± 2 Ma. For the LA-ICP-MS study (UP213, iCAP Qc) we performed 39 spots on different garnets. The results show low Pb (<1 ppm) and significant U contents (≈10 ppm), defining a regression line in the Tera-Wasserburg diagram with a lower intersection at 334.4 ± 0.6 Ma. Using the raw material ratio of $^{207}Pb/^{206}Pb$=0.8451 for the correction of common Pb, a concordia age of 337.8 ± 0.4 Ma is obtained. The results agree with the age of 338 ± 0.4 Ma (Zr U-Pb, TIMS; Carriedo and Tornos, 2010) proposed for the intrusion of the granodiorite porphyry related to the skarns formation, support the validity of Ca-rich garnets for U-Pb age studies and the potential of the garnet of Cala as standard for LA-ICP-MS dating.

Referencias

Carriedo, J. y Tornos, F. (2010). En: *Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold and Related Deposits* (T.M. Porter, Ed.), v.4. Advances Understanding of IOCG Deposits; PGC Publishing, 441-460.

Datación U-Pb de vesuvianita mediante LA-ICP-MS: un ejemplo de los mármoles de Somosierra.

U-Pb dating of vesuvianite by LA-ICP-MS: an example from the marbles of Somosierra.

S. García de Madinabeitia[1], M.E. Sánchez Lorda[2] y J.I. Gil Ibarguchi[1]

1 Departamento de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, España. sonia.gdm@ehu.es, josei.gil@ehu.es
2 Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica-SGIker, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, España. mariaeugenia.sanchez@ehu.es

Palabras clave: vesuvianita, mármol, Somosierra, datación U-Pb.

Resumen

La vesuvianita es un mineral común en muchas rocas tipo skarn así como en metasedimentos carbonatados impuros. Se trata de un mineral que puede tener una concentración importante de U y por tanto ser susceptible de datación mediante el método U-Pb. Sin embargo, los contenidos elevados de Pb común hacen que este mineral no se haya utilizado prácticamente en geocronología. Los mármoles al N del puerto de Somosierra (canteras próximas a las cascadas de La Chorrera de los Litueros) contienen diversos minerales susceptibles de datación mediante el método U-Pb, de entre los que se seleccionaron para su análisis por ablación láser e ICP-MS (UP213, iCAP Qc) granate cálcico, circón y vesuvianita. El granate tiene U < 1 ppm, por lo que no se ha podido datar. Los circones son abundantes e idiomórficos pero muy pequeños (20-50 µm) y presentan zonas de núcleo y borde bien diferenciadas. 10 resultados con concordancia > 90 % dan edades $^{238}U/^{206}Pb$ entre 867 y 449 Ma con un máximo de 503 ± 23 Ma, interpretado con reservas como indicativo de la edad de los protolitos sedimentarios. Las vesuvianitas, con tamaños de varios mm y contenidos de 25 a 190 ppm de U se han revelado como los minerales más interesantes para la datación. A pesar de no existir un patrón con matriz similar para la corrección de la fraccionación, los contenidos en general altos y variables de Pb común (10-30 ppm) han permitido obtener una edad de 274 ± 1 Ma (intersección inferior con la concordia TW). Desde un punto de vista geológico esta edad está en línea con la de los granitoides variscos más jóvenes de la Sierra de Guadarrama y podría estar relacionada con la intrusión de diques de pegmatitas en el entorno de las canteras.

Abstract

Vesuvianite is a common mineral in skarn ore deposits and metamorphic rocks derived of impure carbonate sediments. This mineral may contain elevated amounts of U and, consequently, be of use for age determinations by U-Pb methods. Yet, the high contents of common Pb has prevented this practice and except for the study by Romer (1992) has not been used in geochronology. The marbles to the N of the Somosierra mountain pass (quarries near the La Chorrera de los Litueros water falls) contain several minerals of potential use in U-Pb age studies out of which we selected Ca-rich garnet, zircon and vesuvianite for the analysis by laser ablation-ICP-MS (UP213, ICAP QC). Garnets contain U < 1 ppm and could not be dated. Idiomorphic zircons are abundant but very small (20-50 µm) and display distinct core and rim areas. 10 results > 90 % concordant yielded $^{238}U/^{206}Pb$ ages between 867 and 449 Ma, with a maximum of 503 ± 23 Ma, interpreted with reservations as indicative of that of the sedimentary protoliths. Vesuvianites, several mm in size, have 25 to 190 ppm U being the most interesting mineral for the geochronological study. In spite of the absence of matrix-matched standards for the correction of the fractionation, relatively high and variable amounts of common lead (10-30 ppm) allow to obtain an age of 274 ± 1 Ma (TW concordia plot lower intercept). From a geological point of view this age is in line with that of the youngest Variscan granites of the Guadarrama Range and could be related to the intrusion of pegmatite dykes in the quarry area.

Xenolitos peridotíticos y piroxeníticos del volcán El Palo (Campo Volcánico de Calatrava, España).

Peridotite and pyroxenite xenoliths from the El Palo volcano (Calatrava Volcanic Field, Spain).

J. García Serrano[1], C. Villaseca [1,2] y C. Pérez-Soba [1]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid. jgserrano@ucm.es, granito@ucm.es, pesoa@ucm.es
2 Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), Doctor Severo Ochoa, 7, 28040 Madrid

Resumen: El centro volcánico de El Palo contiene varios tipos de xenolitos ultramáficos (peridotitas y piroxenitas) que registran diversos procesos ocurridos en el manto litosférico. Estos enclaves están equilibrados a temperaturas altas (1072–1127ºC) y presiones muy variadas (7.3–13.8 kbar), dependiendo del tipo de enclave muestreado. El conjunto de xenolitos equilibrados a mayor profundidad son peridotíticos. Consisten en dos grupos de lherzolitas y una werhlita, que, en este orden, muestran gradualmente más enriquecimiento en Fe-Ti y patrones más fraccionados de REE normalizados al condrito. Los enclaves clinopiroxeníticos representarían acumulados fraccionados de magmas basálticos alcalinos a distintos niveles del manto y equilibrados en el límite con la corteza. La websterita, con mayor contenido en Al_2O_3 y menor en Cr_2O_3, está equilibrada a mayor profundidad que las clinopiroxenitas y su origen podría estar relacionado con magmas más subalcalinos.

Palabras clave: lherzolita, wehrlita, piroxenita, metasomatismo alcalino, Campo Volcánico de Calatrava.

Abstract: *The El Palo volcano contains several groups of ultramafic (peridotite and pyroxenite) xenoliths that record enrichment processes within the lithospheric mantle. These mantle xenoliths are equilibrated at high temperatures (1072–1127ºC), though the pressures are very varied (7.3-13.8 kbar) depending on the xenolith type sampled. Xenoliths equilibrated at greater depth are mostly peridotites. They comprise two lherzolite groups and one werhlite sample, gradually more enriched in Fe-Ti and correlated with more fractionated chondrite-normalized REE patterns. Clinoyroxenites represent cumulates fractionated from alkaline basaltic magmas at shallower mantle depths and equilibrated near the crust-mantle boundary. The websterite is equilibrated at a greater depth than clinopyroxenites and its origin may be related to subalkaline melts.*

Keywords: *lherzolite, wehrlite, pyroxenite, alkaline metasomatism, Calatrava Volcanic Field.*

INTRODUCCIÓN

Los xenolitos peridotíticos que aparecen en algunos centros volcánicos alcalinos de intraplaca aportan información muy valiosa acerca de la composición del manto litosférico y astenosférico. En este trabajo se describe un conjunto variado de enclaves mantélicos (lherzolitas, wehrlitas, websteritas y clinopiroxenitas) muestreados en el cono de escorias de El Palo (EP), perteneciente al Campo Volcánico de Calatrava (CVC).

El CVC está situado en una zona intracontinental perteneciente a la provincia ígnea anorogénica Cenozoica circum Mediterranea. Este campo volcánico, que engloba unos 300 centros volcánicos en un área de unos 5000 km^2, se desarrolló en dos etapas magmáticas (Ancochea, 1982). La primera etapa fue un pequeño evento ultrapotásico (7.4 ± 1 Ma), que generó solo el volcán de Morrón de Villamayor, donde se estudiaron xenolitos mantélicos en García Serrano *et al.* (2021). La segunda etapa está asociada a un evento alcalino sódico (3.7 - 0.7 Ma) y engloba al resto de centros volcánicos. Los xenolitos peridotíticos de algunos de ellos han sido anteriormente estudiados, como El Aprisco y Cerro Pelado en Villaseca *et al.* (2010).

El centro volcánico EP consiste en un cono de escorias parcialmente erosionado y antiguamente explotado para áridos. El volcán EP está formado por piroclastos de nefelinita olivínica porfídica, con fenocristales de olivino y clinopiroxeno que resaltan en una matriz vítrea oscura.

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

Los enclaves muestreados presentan un tamaño variable (3-12 cm) y formas redondeadas. Se han muestreado doce xenolitos que incluyen siete lherzolitas, una wehrlita, tres clinopiroxenitas, y una websterita (Fig. 1). La mayor parte de los xenolitos muestran textura protogranular en la que el ortopiroxeno es el mineral de mayor tamaño (1–6 mm). La wehrlita presenta una textura equigranular de grano fino. Alguna clinopiroxenita muestra estructuras de orientación mineral marcadas por alineaciones de clinopiroxenos o bandeado de olivino.

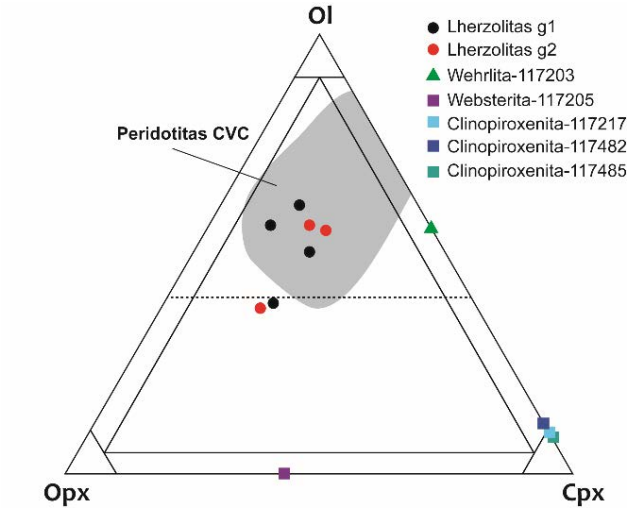


FIGURA 1. Diagrama de composición modal de los xenolitos ultramáficos del volcán EP. El campo gris representa xenolitos de otros centros volcánicos del CVC (Villaseca *et al.*, 2010; García Serrano *et al.*, 2021).

Los minerales principales de las lherzolitas son olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno y espinela intersticial, proyectándose, casi en su totalidad, en el campo de otros enclaves peridotíticos del CVC (Fig. 1). Los xenolitos de clinopiroxenita se caracterizan por la fuerte alteración (iddingsítica) del olivino y por la ocasional presencia de flogopita intersticial accesoria. El enclave de websterita no tiene olivino y destaca por presentar piroxenos ricos en exsoluciones lamelares, en contraste con el resto de xenolitos, sin exsoluciones en piroxenos. Tanto las lherzolitas como la wehrlita muestran mayor contenido en espinela (1.6–4.5 vol%) que la websterita (1.4 vol%), y en las clinopiroxenitas sólo aparece ilmenita como mineral opaco principal. En las lherzolitas las espinelas tienen formas más variadas, con forma de gota a intersticiales, alargadas, mientras en la websterita todas presentan forma de gota rodeada por microcristales de sulfuros (< 1 µm). Todos los xenolitos, excepto las lherzolitas g1 (más abajo definidas), muestran clinopiroxeno (y espinela) de textura cribosa junto a cristales neoformados (idiomorfos) de olivino, clinopiroxeno y espinela, a veces englobados en vidrio intersticial. Estas texturas suelen indicar fenómenos de reacción con el magma que los transporta hasta la superficie (*e.g.*, García Serrano *et al.*, 2021).

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Roca total

Se ha realizado el análisis químico (elementos mayores y trazas) de ocho xenolitos del centro volcánico EP. En función de su composición, las lherzolitas estudiadas se han clasificado en dos grupos: g1 y g2. Como se observa en la figura 2, cada uno de los grupos composicionales distinguidos presenta espectros de tierras raras normalizados al condrito con pautas diferentes. Las lherzolitas g1 muestran un patrón más plano, con menor contenido en el grupo de las tierras raras ligeras (LREE) y mayor en el de las tierras raras pesadas (HREE) que las lherzolitas g2, que en cambio presentan un perfil más fraccionado (Fig. 2). La wehrlita tiene una tendencia más fraccionada, con valores en Lu inferiores al del propio condrito, dando un perfil algo subparalelo al de las piroxenitas (Fig. 2). Además, la wehrlita presenta un mayor contenido en CaO, Na_2O, TiO_2 y FeO_t que las lherzolitas.

Las clinopiroxenitas y la websterita tienen patrones paralelos entre sí, fraccionándose hacia las HREE, con un ligero perfil convexo hacia arriba entre el Ce y el Eu (Fig. 2). Las piroxenitas tienen un mayor contenido en SiO_2, Al_2O_3, CaO, Na_2O y TiO_2 que las lherzolitas y wehrlita, mientras que el contenido en FeO_t es inferior.

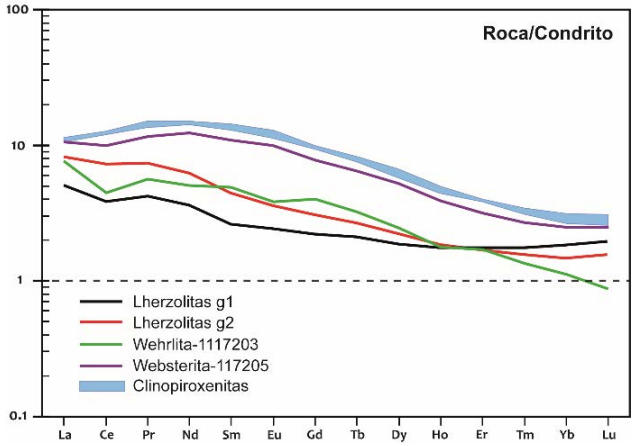


FIGURA 2. Perfiles de tierras raras normalizados al condrito de los diferentes xenolitos ultramáficos del centro volcánico EP. Los valores utilizados para las lherzolitas son promedios. Los valores del condrito están tomados de Sun y McDonough (1989).

Química mineral

El olivino presenta un número de Mg [#Mg = 100*MgO / (MgO + FeO) en moles] mayor en las lherzolitas g1 (89.2–90.7) que en las lherzolitas g2 (87.3 –90.4), siendo sus valores mayores que los de la wehrlita (86.9–87.5 %) y las clinopiroxenitas (85.0–87.9). Esta tendencia muestra una correlación positiva con el contenido en NiO. El #Mg del ortopiroxeno es similar en ambos grupos de lherzolitas (88.8–94.2), siendo mayor que el de la websterita (87.2–90.1), que a su vez tiene mayor contenido en Al_2O_3 y menor en Cr_2O_3 que el de las lherzolitas.

El clinopiroxeno también muestra una disminución del #Mg desde las lherzolitas g1 (88.1–91.1) hasta las clinopiroxenitas (84.6–88.7), pasando por las lherzolitas g2 (87.7–89.7), la wehrlita (86.2–88.6) y la websterita (85.8–89.1). Esta disminución en MgO también se puede apreciar en el contenido de SiO_2 y Na_2O, junto con un aumento en TiO_2 (Fig. 3). Por otro lado, el clinopiroxeno de la websterita destaca por su mayor cantidad en Al_2O_3 (Fig. 3) y menor en Cr_2O_3 (como en el ortopiroxeno) respecto a los otros xenolitos. La espinela de la websterita muestra el menor

#Cr [100*Cr_2O_3 / (Cr_2O_3 + Al_2O_3) en moles], no sólo de los enclaves de EP, sino del conjunto de xenolitos peridotíticos estudiados en el CVC (*e.g.*,Villaseca *et al.*, 2010; García Serrano *et al.*, 2021). Las espinelas de las lherzolitas g1 tienen un #Cr y contenido en TiO_2 inferior al de las lherzolitas g2 y, sobre todo, al de la espinela de la wehrlita, donde aparece sólo de forma reaccional.

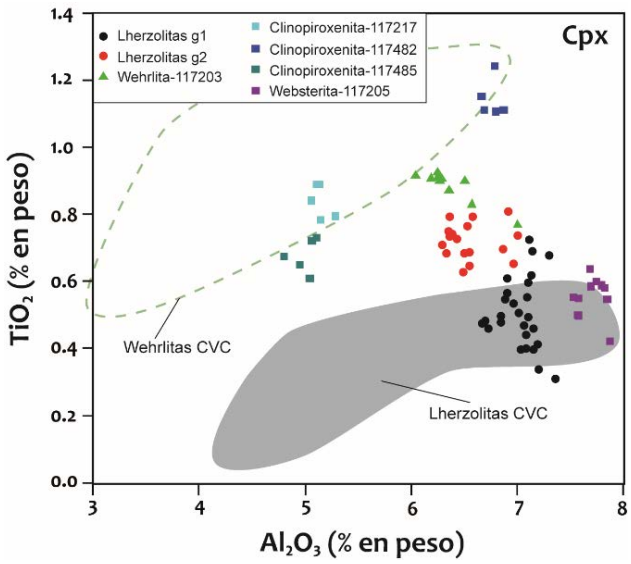


FIGURA 3. Diagrama de Al_2O_3 vs. TiO_2 del clinopiroxeno en xenolitos ultramáficos del volcán EP, comparado con otras lherzolitas y wehrlitas del CVC (García Serrano *et al.*, 2021; Villaseca *et al.*, 2010).

Geotermobarometría

Las temperaturas de los enclaves peridotíticos EP han sido calculadas mediante el geotermómetro de Brey y Köhler (1990), basado en la composición de los dos piroxenos en equilibrio. En el caso de las clinopiroxenitas y la wehrlita, al no tener ortopiroxeno, la temperatura ha sido estimada extrapolando la pauta P-T definida por el resto de xenolitos EP. Las temperaturas calculadas están en un rango de 1072–1127 ºC, similares a otros enclaves lherzolíticos con temperaturas elevadas del CVC (Fig. 4).

La ausencia de granate en los xenolitos indica que su extracción debe haber ocurrido a una profundidad menor a los 70 km (<20 kbar). Las presiones obtenidas con el geobarómetro de Nimis y Ulmer (1998) marcan diferencias notables entre los xenolitos EP (7.3–13.8 kbar), siendo las clinopiroxenitas y la wehrlita los xenolitos de menor profundidad en comparación con las lherzolitas y websterita (Fig. 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Hay varios factores que apuntan a una interacción del manto litosférico con un agente metasomático en los enclaves estudiados: i) el aumento gradual en las LREE desde las lherzolitas g1 (posible protolito de manto), pasando por las lherzolitas g2 hasta la wehrlita; ii) los patrones de REE están cada vez más fraccionados, con menor contenido en HREE, lo que coincide con el aumento en FeO y TiO_2, como en las wehrlitas del volcán del Cerro Pelado (Villaseca *et al.*, 2010; ver también ese aumento en Ti–[Fe, no mostrado] en la química del clinopiroxeno, Fig. 3). Dependiendo de la intensidad de percolación del agente metasomático, la reacción con el manto sería menor (lherzolitas g1) o mayor (wehrlita) (Ionov *et al.*, 2005), lo que texturalmente se refleja en la mayor abundancia de texturas de reacción (clinopiroxeno y espinela cribosos) en las peridotitas más enriquecidas en LREE. Wehrlitas ricas en Fe-Ti han sido interpretadas como resultado de la interacción con fundidos carbonatíticos o alcalinos silicatados (Ionov *et al.*, 2005). Sin embargo, el marcado enriquecimiento en Ti-Fe de la wehrlita EP descartaría la interacción con fundidos carbonatíticos (Villaseca *et al.*, 2010). Las lherzolitas g1 habrían sido localmente metasomatizadas por fundidos alcalinos subsaturados en sílice dando lugar a composiciones wehrlíticas, que explicarían la disolución del ortopiroxeno mantélico y el enriquecimiento en elementos trazas incompatibles.

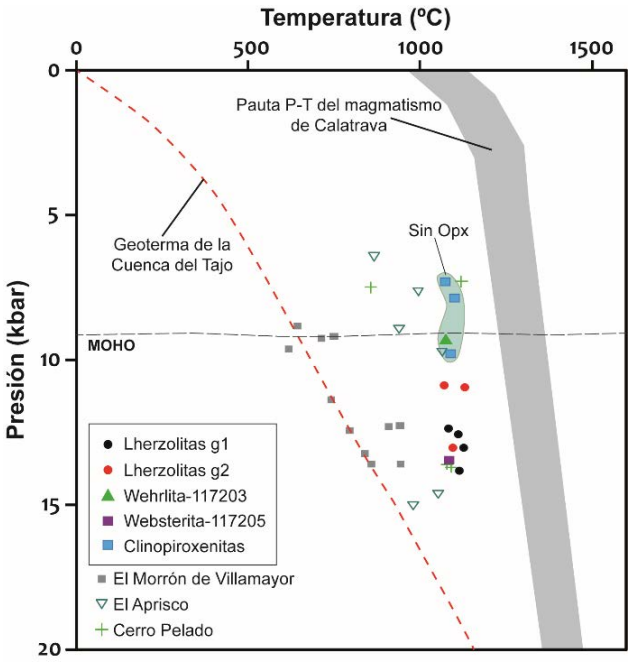


FIGURA 4. Diagrama de temperatura vs. presión de los xenolitos EP. La temperatura de las clinopiroxenitas y wehrlita ha sido estimada. Se incluyen datos geotermobarométricos de xenolitos peridotíticos de Morrón de Villamayor (García Serrano *et al.*, 2021), El Aprisco y Cerro Pelado (Villaseca *et al.*, 2010). La geoterma de la Cuenca del Tajo ha sido sacada de García Serrano *et al.* (2021). Opx, ortopiroxeno.

El origen de las piroxenitas es controvertido (*e.g.*, Zhao *et al.*, 2021): (i) por metasomatismo via reacciones fundido-peridotita, (ii) como remanentes de cortezas subducidas o delaminadas (granulitas) o (iii) como el producto de magmatismo máfico acumulado en el límite corteza-manto. Las clinopiroxenitas EP carecen de ortopiroxeno y espinela, y el olivino es muy poco abundante. Además, tanto el clinopiroxeno como el subordinado olivino tienen valores bajos de #Mg y Cr_2O_3, muy alejados de composiciones minerales típicas de piroxenitas de reacción fundido-peridotita (*e.g.*, Zhao *et al.*, 2021). La estimación de equilibrio en el límite corteza-manto de estas clinopiroxenitas y la presencia de

piroxenitas similares en la corteza inferior del centro de España (Villaseca *et al.*, 2007) parecen indicar un origen por acumulación de magmas máficos en el Moho, en épocas indeterminadas. No obstante, la ausencia de anomalías negativas de Eu y el mayor grado de fraccionamiento de HREE de los tipos EP, las diferencia de las granulitas del centro peninsular. Aún así, el enorme parecido en el quimismo de REE de las clinopiroxenitas EP y otros tipos fraccionados de magmas alcalinos similares a los de Calatrava (Villaseca *et al.*, 2020), parece el modelo genético más plausible en nuestro caso. La ausencia de texturas ígneas podría explicarse por una mayor antigüedad del magmatismo alcalino que el del fundido que los transportó.

La websterita estudiada también sugiere un largo reequilibrio en profundidad por la presencia de abundantes texturas de exsolución en los dos piroxenos. Sus máficos con altos contenidos en Al_2O_3 (y bajos en Cr_2O_3 y TiO_2) parecen indicar una derivación por interacciones de manto con magmatismos tal vez subalcalinos. Se necesitan más datos químicos para precisar mejor su origen.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alfredo Fernández su asesoramiento en la microsonda del Centro Nacional de Microscopía Electrónica (UCM). Este trabajo se incluye dentro del proyecto CGL2016-78796 del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y del grupo UCM 9104492.

REFERENCIAS

Ancochea, E. (1982): Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central. PhD Thesis, Complutense University, Madrid. 675 p.

Brey, G.P. y Köhler, T. (1990): Geothermobarometry in four-phase lherzolites; II, New thermobarometers, and practical assesment of existing thermobarometers. *Journal of Petrology,* 31: 1353-1378.

García Serrano, J., Villaseca, C. y Pérez-Soba, C. (2021): Depleted lherzolite xenoliths from the leucititic Morrón de Villamayor volcano (Calatrava volcanic field, Spain). *Lithos*, 380-381: 105830, 18p.

Ionov, D.A., Chanefo, I. y Bodinier, J.L. (2005): Origin of Fe-rich lherzolites and wehrlites from Tok, SE Siberia by reactive melt percolation I refractory mantle peridotites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150: 335-353.

Nimis, P. y Ulmer, P. (1998): Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 1: an expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 133: 122-135.

Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. En: *Magmatism in ocean basins* (A.D. Saunders y M.J. Norry, eds.). Geological Society of London Special Publications, 42: 313-345.

Villaseca, C., Orejana, D., Paterson, B.A., Billstrom, K. y Pérez-Soba, C. (2007): Metaluminous pyroxene-bearing granulite xenoliths from the lower continental crust in central Spain: their role in the genesis of Hercynian I-type granites. *European Journal of Mineralogy*, 19: 463-477.

Villaseca, C., Ancochea, E., Orejana, D. y Jeffries, T.E. (2010): Composition and evolution of lithospheric mantle in central Spain: inferences from peridotite xenoliths from the Cenozoic Calatrava volcanic field. En: *Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle* (M. Coltorti, H. Downes, M. Grégoire y S.Y. O'Reilly, eds.). Geological Society, London, Special Publications, 337: 125-151.

Villaseca, C., García Serrano, J. y Orejana, D. (2020): Pyroxenites and megacrysts from alkaline melts of the Calatrava Volcanic Field (Central Spain): inferences from trace element geochemistry and Sr-Nd isotope composition. *Frontiers in Earth Science*, 8: 132, 21p.

Zhao, X., Wang, H., Li, Z., Evans, N.J., Ying, J., Yang, Y. y Zhang, H. (2021): Nature and evolution of lithospheric mantle beneath the western North China Craton: Constraints from peridotite and pyroxenite xenoliths in the Sanyitang basalts. *Lithos*, 384-385: 105987, 15p.

Petrología de los ortogneises félsicos incluidos en granitos variscos postectónicos. Península de O Grove, Galicia, España.

Petrology of felsic orthogneisses hosted in postectonic variscan granites. O Grove Peninsula, Galicia, Spain.

L. González-Menéndez[1], A. Cuesta[2], G. Gallastegui[3], P. González Cuadra[1] y L.R. Rodríguez Fernández[4]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de León, 24006 León, España. l.gonzalez@igme.es, p.gonzalez@igme.es
2 Departamento de Geología, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo, España. acuesta@geol.uniovi.es
3 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Oviedo, 33005 Oviedo, España. g.gallastegui@igme.es
4 Instituto Geológico y Minero de España, Río Rosas 23, 28003 Madrid, España. lr.rodriguez@igme.es

Resumen: Ortogneises félsicos y metasedimentos aparecen como xenolitos en granitos variscos postectónicos de tipo I (O Grove, Galicia, NO de España). En el basamento encajante afloran ortogneises glandulares de edad Cambro-Ordovícico. En este trabajo se estudian las relaciones de campo, petrografía y geoquímica de los ortogneises xenolíticos incluidos en el plutón de Caldas de Reis y se comparan con los ortogneises glandulares del basamento. La mayoría de los ortogneises xenolíticos están orientados en paralelo al bandeado magmático del granito huésped. Este dato junto con el tamaño de estos cuerpos (≥ 1-10 m) indican que el granito intruyó como sills en un basamento de ortogneises ± metasedimentos. Su mineralogía consiste en cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. Su composición es granítica, metaluminosa, elevada en calcio, con bajos contenidos en tierras raras pesadas y espectros bastante fraccionados. Esta geoquímica contrasta con la de los ortogneises glandulares que son peraluminosos, menos cálcicos, con mayor contenido de tierras raras pesadas y espectros menos fraccionados. Se considera por lo tanto un origen diferente. Los ortogneises xenolíticos procederían de bajos grados de fusión parcial y granate residual en un protolito ígneo y/o grauváquico. Esto explicaría su naturaleza félsica, el fraccionamiento de tierras raras y su composición metaluminosa.

Palabras clave: ortogneises, ortogneises glandulares, granitos, geoquímica, varisco.

Abstract: *Felsic orthogneisses and metasediments outcrop inside late variscan I-type granites from NW Iberia (O Grove, western Galicia, Spain). Felsic augen-gneisses of Cambro-Ordovician age also occur forming part of the basement rocks. We studied field relations, petrography and geochemistry of the xenolithic orthogneisses included in the Caldas de Reis pluton and compare them with the basement augen-gneisses. Most of the xenolithic orthogneisses are parallel to magmatic structure of the host granite. This and the xenolith size (≥ 1-10 m) indicate that the granite intruded as sills through an outcropping basement of orthogneisses ± metasediments. Its mineralogy consists of quartz, plagioclase, K-feldspar and biotite. The composition is granitic metaluminous, with relatively high CaO contents, low HREE and fractionated REE patterns. This contrasts with the chemistry of the augen-gneisses being peraluminous, less calcic, with higher HREE and less fractionated. A different origin is therefore considered. The xenolithic orthogneisses could come from an igneous/greywacke source and low melting degrees. This would account for its metaluminous composition, felsic nature and the REE fractionation.*

Keywords: *orthogneisses, augen-gneisses, granites, geochemistry, variscan.*

INTRODUCCIÓN

Los granitos postectónicos variscos del NO de la Península Ibérica (Zona Centroibérica/Zona de Galicia-Trás-os-Montes) son predominantemente de tipología I y algunos muestran un importante y variado contenido en xenolitos y enclaves: esquistos, migmatitas, paragneises, ortogneises félsicos/máficos y rocas ígneas (granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas).

El tamaño de estos fragmentos llega a ser de decenas o centenares de metros y en muchos casos muestran estructuras concordantes entre sí. Esto indica que los xenolitos representan zonas de roca encajante por donde los granitos intruyeron como láminas o sills. Uno de estos granitos con mayor "carga" de fragmentos es el plutón de Caldas de Reis (Cuesta, 1991). En sus excepcionales afloramientos costeros (Fig. 1), en todo el entorno de la Ría de Arousa (Pontevedra, Galicia), se pueden encontrar diversas localidades con numerosos xenolitos y enclaves (González-Menéndez *et al.*, 2012).

Este trabajo se centra en el estudio de los xenolitos de ortogneises graníticos incluidos en el plutón de Caldas de Reis (Península de O Grove, Pontevedra) en los afloramientos de la reserva natural del Con Negro, al NO de San Vicente do Mar (Fig. 2). Además de investigar su petrografía, mineralogía y geoquímica, se pone de manifiesto

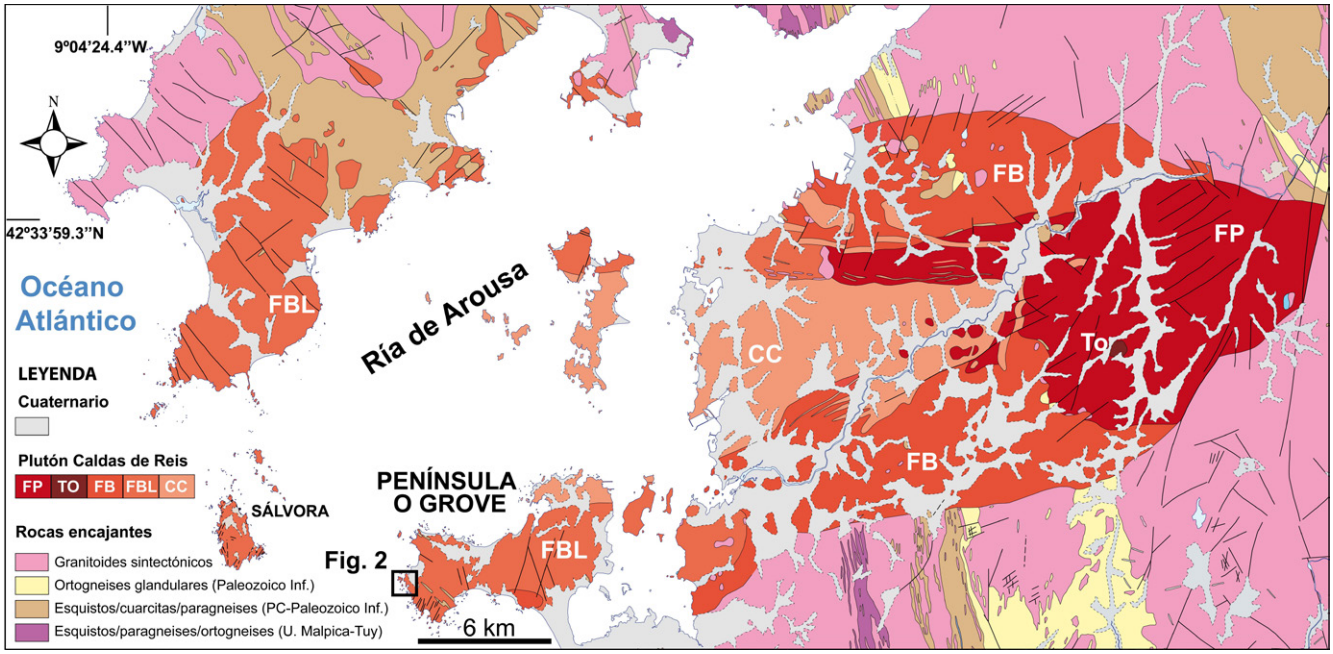


FIGURA 1. Mapa geológico del plutón de Caldas de Reis con la localización del área estudiada (Fig. 2). FP: Facies porfídica. TO: Tonalita. FB: Facies de borde. FBL: Facies de borde leucócrata. CC: Conjunto central. Plutón de Caldas de Reis simplificado de Cuesta (1991) y encajante simplificado de Díez Montes *et al.* (2010). En color amarillo se muestran los afloramientos de ortogneises glandulares que forman parte del basamento encajante del Plutón de Caldas de Reis.

su diferencia con los ortogneises glandulares, de tipo "Ollo de Sapo", Cambro-Ordovícicos (≈ 479 Ma; Talavera *et al.*, 2008), que afloran en zonas algo más orientales y que forman parte del basamento, posiblemente perteneciente a la Zona Centroibérica.

RELACIONES DE CAMPO Y PETROGRAFÍA

La reserva natural del Con Negro está formada por granitos biotíticos de la facies externa leucócrata del pluton de Caldas de Reis (FBL, Cuesta, 1991). Estos granitos muestran una mineralogía de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. La moscovita puede aparecer como fase menos abundante y secundaria. Como fases accesorias destacan granate, turmalina, apatito, ilmenita, circón, xenotima y allanita. Es notable la presencia de bandeados magmáticos con orientaciones E-O y buzamientos subverticales (Fig. 2). Estos bandeados están formados por schlieren de biotita que en ocasiones se conectan con xenolitos de esquistos migmatizados y disgregados en el granito.

Los xenolitos de ortogneises félsicos tienen dimensiones de decenas de metros y una orientación concordante entre sí y con la orientación de los bandeados magmáticos: disposición E-O/NO-SE y buzamientos subverticales (Fig. 2). Pueden presentar indicios de migmatización y, en los contactos con el granito, desarrollan en ocasiones zonas leucocráticas, cuarzo-feldespáticas, de 2-10 cm de espesor. Están formados por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. Algunos cristales de biotita aparecen rodeados por coronas de plagioclasa. Como fases accesorias pueden aparecer circón, monacita y apatito.

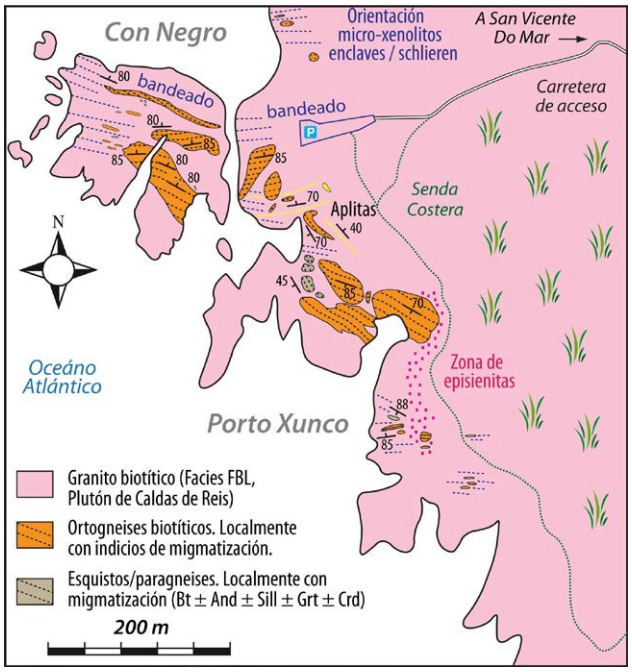


FIGURA 2. Mapa geológico y leyenda de la reserva natural del Con Negro (Porto Xunco, Península de O Grove, Pontevedra, Galicia). And: andalucita; Bt: biotita; Crd: cordierita; Grt: granate; Sill: Sillimanita.

Los ortogneises glandulares que forman parte del basamento, afloran hacia el este, en diversas localidades de las Rías de Arousa y Pontevedra (Vilar, Campelo). Su mineralogía consiste en cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, moscovita y sillimanita (fibrolita). Como minerales

accesorios aparecen apatito, circón, monacita e ilmenita. Las "glándulas" están formadas por porfidoblastos de feldespato potásico ± cuarzo. Es destacable la existencia de procesos de migmatización frecuentes, con presencia de segregados leucocráticos graníticos y acumulaciones de biotitas a modo de melanosomes.

Referencia: Elementos	Ortogneises Xenolíticos		Ortogneises Glandulares	
Wt.%	Valores medios (n=3)	Std	Valores medios (n=4)	Std
SiO_2	73.40	3.10	72.85	0.58
TiO_2	0.11	0.01	0.18	0.03
Al_2O_3	12.93	1.62	13.67	0.25
FeOt	1.75	0.44	2.05	0.46
MgO	0.13	0.06	0.32	0.08
CaO	0.96	0.42	0.55	0.13
Na_2O	4.27	0.39	3.38	0.41
K_2O	5.01	2.50	5.21	0.43
P_2O5	0.17	0.22	0.22	0.12
ISA	0.90	0.039	1.12	0.067
A/NK	1.04	0.043	1.22	0.053
(ppm)	Valores medios (n=3)	Std	Valores medios (n=4)	Std
Sr	70	22.63	50.82	14.24
Zr	73.56	31.50	96.22	15.15
Y	13	0.36	31.25	8.52
Th	5.83	4.74	10.54	3.25
La	24.86	13.51	21.25	3.88
Ce	46.23	24.52	43.97	8.13
Pr	5.09	2.59	5.02	0.87
Nd	19.18	9.38	19.40	3.24
Sm	3.78	1.06	4.8	0.48
Eu	0.60	0.12	0.54	0.11
Gd	3.41	0.56	5.09	0.42
Tb	0.51	0.02	0.97	0.09
Dy	2.68	0.04	5.82	0.85
Ho	0.49	0.06	1.12	0.31
Er	1.43	0.27	3.31	1.24
Tm	0.2	0.04	0.46	0.19
Yb	1.39	0.23	2.93	1.28
Lu	0.19	0.66	0.39	0.16

TABLA 1. Valores medios de los ortogneises xenolíticos y glandulares de la zona de estudio. ISA: índice de saturación en aluminio (Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O, en proporciones molares). A/NK: Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) en proporciones molares.

GEOQUÍMICA Y COMPARACIÓN CON LOS ORTOGNEISES GLANDULARES

Los ortogneises incluidos en el granito de Caldas de Reis (ortogneises xenolíticos), muestran características geoquímicas, en valores medios, distintas respecto a los situados más al este y fuera del granito (ortogneises glandulares de Vilar y Campelo) (Tabla 1).

Los ortogneises xenolíticos tienen unos rangos de variación geoquímica elevados (p. ej. SiO_2 = 70.2-76.4 wt.%). Son metaluminosos (ISA = 0.908), con relaciones de FeOt/(FeOt+MgO) = 0.92, relativamente félsicos (MgO = 0.13 wt.%, TiO_2 = 0.11 wt.%), ricos en CaO (0.96 wt.%), en Na2O (4.27 wt.%) y con bajas relaciones de A/NK (0.99-1.07). En el diagrama A-B modificado por Villaseca *et al.* (1998) se clasifican como granitos metaluminosos, moderadamente alcalinos y de tipología I (Fig. 3). En cuanto a los elementos traza, destacan sobre todo los bajos contenidos de tierras raras pesadas (10.33 ppm) e Y (13 ppm). El Zr (73.56 ppm) y el Th (5.83 ppm) muestran concentraciones relativamente bajas mientras que el Sr es algo más abundante (70 ppm). También es notable la elevada relación La/Yb normalizada (11.50; Boynton, 1984) que evidencia un importante fraccionamiento consecuencia del menor contenido en tierras raras pesadas (Fig. 4).

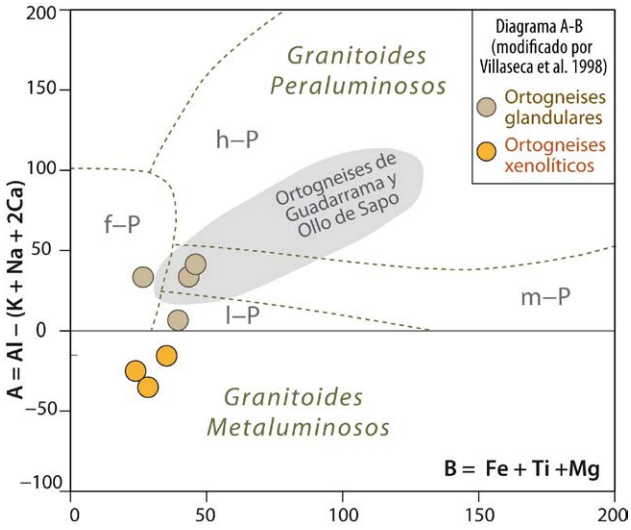


FIGURA 3. Diagrama A-B modificado por Villaseca *et al.* (1998). Los ortogneises de los xenolitos en el plutón de Caldas de Reis son de composición metaluminosa y de tipología I. Los ortogneises glandulares del basamento (Vilar, Campelo) son levemente peraluminosos y de tipología I/S. El campo de ortogneises glandulares y "Ollo de Sapo" está basado en datos de Villaseca y Ubanell (2005) y Díez Montes (2007).

Los ortogneises glandulares presentan una geoquímica con escasa varianza (p. ej. SiO_2 = 72.5-73.6 wt%). Son peraluminosos (ISA = 1.11), con relaciones de FeOt/(FeOt+MgO) = 0.86, algo menos félsicos (MgO = 0.36 wt.%, TiO_2 = 0.19 wt.%), con menos CaO (0.56 wt.%), Na_2O (3.46 wt.%) y relaciones de A/NK relativamente elevadas (1.21-1.27). En el diagrama A-B modificado por Villaseca *et al.* (1998) se clasifican como granitos peraluminosos de tipología intermedia entre I/S y similares en parte a los ortogneises tipo "Ollo de Sapo" de otras localidades de la Zona Centroibérica (Fig. 3). Las tierras raras pesadas (22 ppm) y el Y (35 ppm) muestran mayores concentraciones. El Zr es algo más

abundante en valores medios (103.66 ppm) así como el Th (12.13 ppm). El Sr, por el contrario, tiene escasa concentración (47.30 ppm). La relación La/Yb normalizada (4.34; Boynton, 1984) es moderada a baja, lo que indica un menor fraccionamiento de tierras raras (Fig. 4).

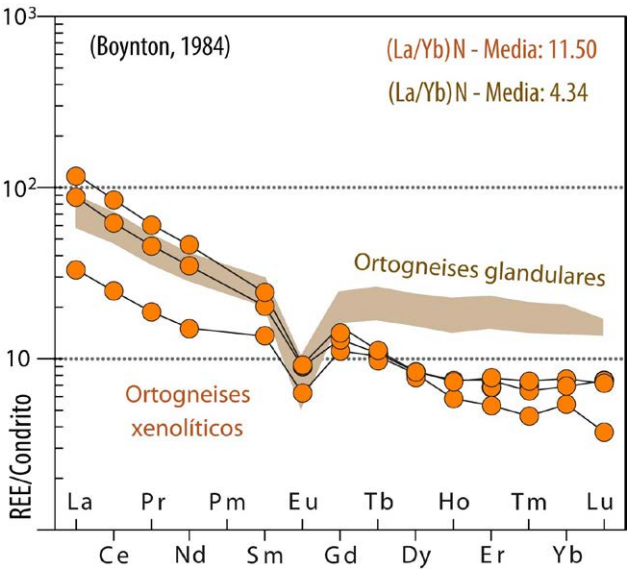


FIGURA 4. Diagrama normalizado de tierras raras (REE) según los valores de Boynton (1984).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las diferencias geoquímicas de los ortogneises xenolíticos respecto a los glandulares indican un protolito distinto, de composición más grauváquica y quizás ígnea, que explicaría sus bajos valores del índice de saturación en aluminio junto con los relativamente elevados contenidos en CaO y Na_2O para su composición félsica. Este tipo de protolito, algo más refractario que una roca micácea o esquistosa, generaría menor grado de fusión parcial para un determinado aporte de calor. Esto, junto con la presencia de granate residual, podría explicar los patrones bastante fraccionados en tierras raras que se observan. En comparación, el protolito de los ortogneises glandulares, fue metasedimentario, de carácter mixto pelítico-grauváquico (Villaseca *et al.*, 2016; Montero *et al.*, 2017) sobre el cual se pudieron dar mayores tasas de fusión parcial y sin producción de granate residual.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto: Plan Cartográfico (2707) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

REFERENCIAS

Boynton, W.V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. En: *Rare earth element geochemistry* (P. Henderson, ed.), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam: 63-114.

Cuesta, A. (1991): P*etrología granítica del plutón de Caldas de Reis (Pontevedra, España). Estructura, mineralogía, geoquímica y petrogénesis.* Serie Nova Terra, Ediciós O Castro, 5: 363 p.

Díez Montes, A. (2007): *La Geología del dominio "Ollo de Sapo" en las comarcas de Sanabria y Terra do Bolo*. Serie Nova Terra, Ediciós O Castro, 34: 506 p.

Díez Montes, A., González Menéndez, L., Martínez Catalán, J.R. y Gallastegui, G. (2010): Mapa Geológico Digital Continuo escala 1: 50.000 Galicia Trás-os-Montes. En: GEODE. *Mapa Geológico Digital continuo de España [en línea]*. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME. (J. Navas, ed.). Disponible en: http://cuarzo.igme.es/sigeco.default.htm y http://cuarzo.igme.es/geoveo2/default.htm

González-Menéndez, L., Cuesta, A., Gallastegui, G., Rodríguez-Fernández, A., Rodríguez, A. y Toyos, J.M. (2012): New Geological Map of the Granitic and Metamorphic basement in the National Park of the Galician Atlantic Islands (NW Spain). *GeoTemas*, 13: 878-881.

Montero, P., Talavera, C. y Bea F. (2017): Geochemical, isotopic, and zircon (U-Pb, O, Hf isotopes) evidence for the magmatic sources of the volcano-plutonic Ollo de Sapo Formation, Central Iberia. *Geologica Acta*, 15: 245-260.

Talavera, C., Bea, F., Montero, P. y Whitehosue, M. (2008): A revised Ordovician age for the Sisargas orthogneis, Galicia (Spain). Zircon U-Pb ion microprobe and LA-ICP-MS dating. *Geologica Acta*, 6(4): 313-317.

Villaseca, C., Barbero, L. y Herreros, V. (1998): A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences*, 89: 113-119.

Villaseca, C. y Ubanell, A.G. (2005): El macizo granítico de La Cebollera (Pico de Las Tres Provincias, Somosierra, Sistema Central Español). Nuevos datos sobre el metamorfismo Hercínico del sector de Somosierra. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18(1-2): 113-129.

Villaseca, C., Merino Martínez, E. Orejana, D., Andersen, T. y Belousova, E. (2016): Zircon Hf signatures from granitic orthogneisses of the Spanish Central System: Significance and sources of the Cambro-Ordovician magmatism in the Iberian Variscan Belt. *Gondwana Research*, 34: 60-83.

Los primeros pulsos del magmatismo Varisco del NO de Iberia (Galicia, España). Datos preliminares de nuevas edades U-Pb SHRIMP y CA-ID-TIMS en granodioritas precoces.

The first Variscan magmatic pulses from NW Iberia (Galicia, Spain). Preliminary data from new U-Pb SHRIMP and CA-ID-TIMS ages in early granodiorites.

L. González Menéndez[1], G. Gallastegui[1], A. Cuesta[2], P. Montero[3], P. Valverde-Vaquero[1], A. Rubio-Ordóñez[2] y F. Bea[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Avda. Real 1, Parque Científico, 24006 León. l.gonzalez@igme.es. Matemático Pedrayes 25, 33005 Oviedo. g.gallastegui@igme.es. La Calera 1, 28760 Tres Cantos-Madrid. p.valverde@igme.es
2 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo. Jesús Arias de Velasco, 33005 Oviedo. acuesta@geol.uniovi.es, arubio@geol.uniovi.es
3 Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva, 18002 Granada. pmontero@ugr.es, fbea@ugr.es

Palabras clave: magmatismo varisco, pulsos magmáticos, granodioritas precoces, geocronología.

Resumen

Las rocas graníticas variscas del NO peninsular han sido agrupadas en diferentes pulsos entre los cuales las granodioritas precoces sintectónicas constituyen el primero. Muestran diversidad composicional, aunque predominan los términos calcoalcalinos de tipo I, y asociaciones con rocas máficas. Su edad fue inicialmente establecida en 349-350 Ma (Rb-Sr en roca total y U-Pb por TIMS en circones discordantes; Gallastegui, 2005). Posteriormente, dataciones U-Pb en circones por ID-TIMS arrojaron edades concordantes de 318-323 Ma (Rodríguez *et al*., 2007). Sin embargo, recientes dataciones por LA-ICP-MS en circones han vuelto a edades más antiguas (337-347 Ma; Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2018). Para solucionar estas discrepancias se realizaron dataciones SHRIMP y CA-ID-TIMS en circones de granodioritas donde se habían obtenido edades contradictorias (Baio-Vigo, Avión, Chantada-Taboada). Los resultados por ambos métodos son concordantes y coincidentes situando su intrusión en un intervalo entre 315-326 Ma. Las relaciones de campo de interacción con granitos sintectónicos de tipo S datados en 318-320 Ma, apoyan estas edades de intrusión de las granodioritas precoces.

Abstract

Variscan granitoids from NW Iberia are grouped in pulses among which the early granodiorites are the focus of this report. Its geochemistry is mainly calc-alkaline and I-type. Relationships with mafic rocks are common. Its age was initially established in 349-350 Ma (whole-rock Rb-Sr and discordant zircon U-Pb TIMS; Gallastegui 2005). Afterwards, U-Pb zircon dating by ID-TIMS gave younger concordant ages (318-323 Ma; Rodríguez et al., 2007). More recent zircon dating by LA-ICP-MS returned to older ages (337-347 Ma; Gutiérrez-Alonso et al., 2018). In order to solve these discrepancies we have made SHRIMP and CA-ID-TIMS zircon dating in granodiorites where contradictory ages had been obtained. Our results show concordant 315-326 Ma ages, coincident with the younger phases for this magmatism. Field relations with syntectonic S-type granites (318-320 Ma) support these younger ages.

Referencias

Gallastegui, G. (2005). *Serie Nova Terra 26*. Laboratorio Xeoloxico de Laxe. Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, Edicios Do Castro, 414 p.

Gutiérrez-Alonso, G., Fernández-Suárez, J., López-Carmona, A. y Gärtner, A. (2018). *Lithosphere* 10(2), 194-216.

Rodríguez, J., Gil Ibarguchi, J.I. y Paquette, J. (2007). En: *Livro de Resumos/Abstract Book*. XV Semana-VI Congreso Ibérico de Geoquímica, Vila Real, Portugal, 146-149.

Granitoides Neoproterozoicos asociados al complejo ofiolítico de Bou-Azzer (Anti-Atlas, Marruecos): Nuevas dataciones SHRIMP, geoquímica e isotopos Sr-Nd.

The Neoproterozoic granitoids associated with the ophiolitic Complex of Bou-Azzer (Anti-Atlas, Morocco): New SHRIMP dating, geochemistry and Sr-Nd isotopes.

M. Ikenne[1], M. Souhassou[2], B. Cousens[3], P. Montero[4], E.H. Beraaouz[1], F. Bea[4], F. Haissen[5], A.H. Karfal[6], S. Ilmen[6], S. Belkacim[1], A. Toummite[7], F. Askour[1], L. Maacha[6] y M. Zouhair[6]

1 LAGAGE, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc. m.ikenne@uiz.ac.ma, beraaouz@gmail.com, s.belkacim@uiz.ac.ma, askkour.fatihastu@gmail.com
2 Faculté polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr , Agadir, Maroc. m.souhassou@uiz.ac.ma
3 Ottawa-Carleton Geoscience Centre, Department of Earth Sciences Carleton University, Canada. BrianCousens@cunet.carleton.ca
4 Department of Mineralogy and Petrology, University of Granada, Granada, Spain. pilar_montero@me.com, fbea@ugr.es
5 Département de Géologie, Université Hassan II de Casablanca, Morocco. faouziya.haissen@gmail.com
6 MANAGEM Group, Twin Center, Tour A, BP 5199, Casablanca. Morocco a.karfal@managemgroup.com, s.ilmen@managemgroup.com, l.maacha@managemgroup.com, m.zouhair@managemgroup.com
7 Faculté des Sciences et techniques – Errachidia. atoummite@gmail.com

Palabras clave: Bou-Azzer, Neoproterozoico, granitoides, SHRIMP U-Pb, isótopos Sr-Nd.

Resumen

Varios granitos sin-tectónicos intruyen el complejo ofiolítico Neoproterozoico de Bou Azzer que son principalmente las cuarzodioritas de Ousdrate, de Ait Hmane, de Bou Azzer, de Bou Izbane, de Ait Abdellah y la granodiorita pos-tectónica de Bleida. Nuevas dataciones (SHRIMP, U-Pb en zircones) confirman la presencia en Bou Azzer de un episodio sin-tectónico entre 640 y 660 Ma y permiten relacionar la granodiorita pos-tectónica de Bleida (559±4 Ma) con la LIP del complejo pos-colisional volcano-plutónico del Grupo de Ouarzazate. Nuevos datos geoquímicos confirman el carácter calco-alcalino rico en K de estas rocas y la afinidad adakítica anteriormente propuesta, mientras que nuevos datos de isotopos de Sr-Nd indican el origen juvenil de este magmatismo. El contexto geodinámico de la petrogénesis y el emplazamiento de estos granitoides puede ser discutido, utilizando estos nuevos datos, dentro del marco de los modelos recientes, propuestos para los eventos panafricanos de la parte central del Anti-Atlas.

Abstract

Various syntectonic granitoid bodies intrude the Neoproterozoic ophiolitic complex of Bou Azzer, namely, the quartzdiorites of Ousdrate; Ait Hmane; Bou Azzer; Bou Izbane, Ait Abdellah and the post-tectonic granodiorite of Bleida. New SHRIMP U-Pb data on zircons confirm the presence of a syntectonic magmatic episode in Bou-Azzer inlier between 640 and 660 Ma, while the Bleida post-tectonic granodiorite (559±4 Ma) can be related to the LIP of the post-collisional volcano-plutonic complex of the Ouarzazate Group. New geochemical data confirm the high-K calc-alkaline features and the adakitic affinity previously proposed while new Sr and Nd isotopic data indicate the juvenile origin of this magmatism. The geodynamic context of the genesis and emplacement of these granitoids can be discussed using this new data in the frame of models recently proposed for the Panafrican events the Central part of Anti-Atlas.

Las rocas ultrapotásicas plutónicas del NO de Vitigudino (Salamanca): caracterización y relación con las series shoshoníticas del Centro-Oeste Español.

Ultrapotassic plutonic rocks from NW Vitigudino (Salamanca): characterization and relationship with shoshonitic series from Central Western Spain.

F. J. López-Moro[1], M. Iglesias Aguirre[1], M. López-Plaza[1], A. Castro[2] y J. I. García de los Ríos Cobo[3]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Univ. de Salamanca 37008 Salamanca. fjlopez@usal.es; geologiazamora@gmail.com; milplaz@usal.es
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT), Consejo Sup. de Invest. Científicas-Univ. de Granada (CSIC-UGR) antonio.castro@csic.es
3 SIEMCALSA, Avda. Rodrigo Zamorano, 6, Parque Tecnológico de Boecillo, Valladolid, España.

Resumen: Se dan a conocer las rocas ultrapotásicas del NO de Vitigudino (Salamanca) desde un punto de vista mineralógico y geoquímico de elementos mayoritarios. Se distinguen dos subtipos o facies de rocas: a) facies piroxénica, con predominio de piroxeno y biotita sobre anfíbol, y b) facies anfibólica, con proporciones inversas. Dada la variable relación de plagioclasa a feldespato alcalino, en la facies anfibólica abundan las melanomonzonitas, mientras que en la piroxénica son predominantes las melanosienitas y melanosienitas de feldespato alcalino. Es resaltable en ambos subtipos la abundancia de apatito, allanita, titanita y epidota, justificando la riqueza en fósforo (hasta casi el 3 %), además de la previsible riqueza en tierras raras. Se compara la composición mineralógica y geoquímica de las rocas ultrapotásicas con vaugneritas y rocas monzoníticas asociadas espacialmente. El carácter potásico aumenta desde las vaugneritas y monzonitas hasta las ultrapotásicas anfibólicas y las piroxénicas, sugiriendo que el enriquecimiento en K es primario al ir unido a un aumento en el número de magnesio.

Palabras clave: ultrapotásicas, mineralogía, clasificación, geoquímica, shoshonitas.

Abstract: *The ultrapotassic rocks from the NW of Vitigudino (Salamanca) are revealed attending to mineralogical and geochemical (major elements) criteria. Two subtypes or facies of rocks are distinguished: a) pyroxenic facies, with predominance of pyroxene and biotite over amphibole, and b) amphibolic facies, with inverse proportions. The variability in plagioclase relative to alkali feldspar ratio leads to an abundance of melanomonzonites in the amphibole facies, while alkali feldspar melanosienites and melanosienites are predominant in the pyroxenic facies. It is remarkable in both subtypes the abundance of apatite, allanite, titanite and epidote, justifying the markedly rich phosphorus contents (up to ca. 3 %), besides the expected richness in REE. The mineralogical and geochemical composition of the ultrapotassic rocks is compared with that of the spatially associated monzonitic and vaugneritic series. The potassic character increases from vaugnerites and monzonites up to ultrapotassic rocks, strongly suggesting the K-enrichment is primary as it is coupled to an increase of the magnesium/iron ratio.*

Keywords: *ultrapotassics, mineralogy, classification, geochemistry, shoshonites.*

INTRODUCCIÓN

El estudio de las rocas plutónicas ultrapotásicas tiene gran interés debido a las siguientes razones: a) son muy escasas, especialmente en el Macizo Ibérico; b) contienen abundantes minerales accesorios, como apatito, allanita, titanita y epidota, justificándose así sus elevados contenidos en tierras raras, y d) su origen, como es ampliamente aceptado, se relaciona con un manto anormalmente enriquecido, al igual que las rocas lamproíticas que existen en la Región Volcánica Neógena del SE español.

Además del centro-oeste de España, existen otras áreas con pequeños afloramientos puntuales en el noroeste, por ejemplo, en Finisterre (Gil Ibarguchi, 1982). Son afloramientos comparables a los del Macizo de Bohemia (Holub, 1997). En concreto, los del NO de Vitigudino (Salamanca), estudiados en este trabajo, son pequeños cuerpos relacionados en el espacio con las series vaugneríticas y monzoníticas del Centro-Oeste Español, conformando una vasta región de rocas ricas en potasio, tanto shoshoníticas como ultrapotásicas. Todos estos pequeños cuerpos tienden a bordear los macizos anatécticos, como el del Domo del Tormes, o a formar parte de batolitos como el de Sayago (Fig. 1).

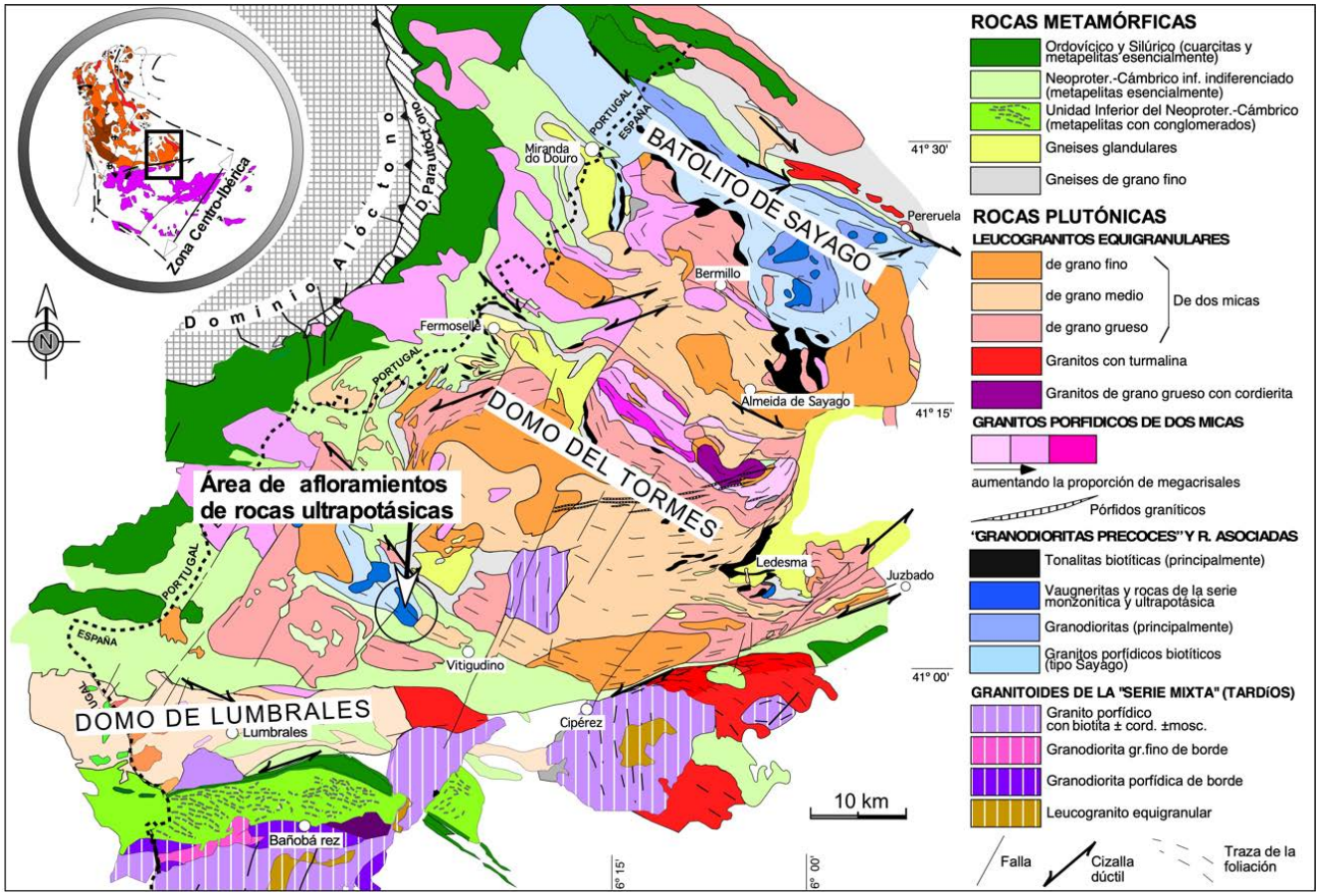


FIGURA 1. Ubicación de los afloramientos de rocas ultrapotásicas en el centro-oeste español (síntesis cartográfica de López-Moro, 2000).

TIPOS DE ROCAS, MINERALOGÍA Y CLASIFICACION MODAL

En las rocas ultrapotásicas del NO de Vitigudino se distinguen dos tipos de facies (Fig. 2): a) facies piroxénica, con predominio de piroxeno (24-32 % en vol.), que desarrolla, a veces, textura ocelar (Figs. 2 A y B), y biotita (22-33 % en vol.) sobre anfíbol (1,7-8,5 %); y b) facies anfibólica, con anfíbol generalmente predominante (12-44 %) sobre el piroxeno (0,12-9,0 %), con un rango de biotita de 0,23 a 29%. Dada la variabilidad en la relación de plagioclasa a feldespato alcalino, en la facies anfibólica abundan las melanomonzonitas, mientras que en la piroxénica son predominantes las melanosienitas y melanosienitas de feldespato alcalino (Fig. 3 A). Es resaltable en ambos subtipos la abundancia de apatito (1-8 %), con frecuencia de hábito acicular (Fig. 2 D), así como de allanita (hasta 1,1 %), titanita (hasta 2,7 %) y epidota (hasta 1,4 %). Hay que hacer notar la variable presencia de mica blanca secundaria (hasta 6,4 %).

Desde un punto de vista químico-mineralógico, la composición de las biotitas de las rocas ultrapotásicas varía desde flogopitas a biotitas magnésicas. Mayoritariamente, se proyectan en el campo calcoalcalino de Nachit *et al.* (1985), aunque más magnésicas que las de las vaugneritas y rocas monzoníticas (Fig. 4). El piroxeno es cálcico, del tipo diópsido ($En_{48-46}Fs_{5-10}Wo_{45-48}$, para las piroxénicas y $En_{41-42}Fs_{10-12}Wo_{45-47}$, para las anfibólicas). El anfíbol varía de magnesio-hornblenda a actinolita. Respecto del feldespato alcalino, es notable su riqueza en Ba (BaO: hasta casi el 3 % en peso), mientras que la plagioclasa es de dos tipos: una albítica (4-3% An), típica de las piroxénicas, y otra más rica en anortita típica de las anfibólicas (42-20% An). El apatito es siempre fluor-apatito, mientras que la allanita es rica en Ce.

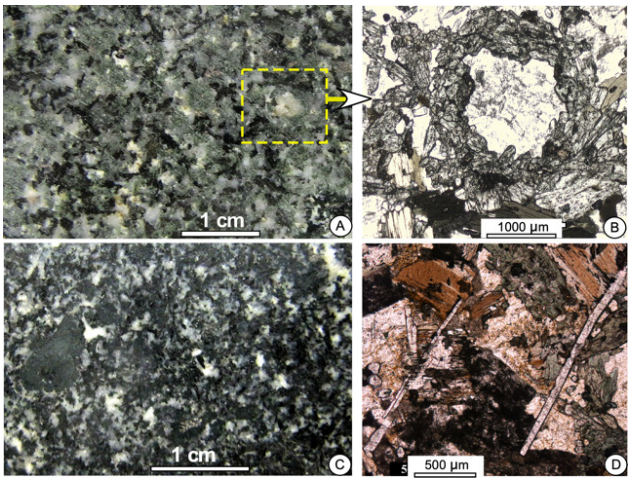


FIGURA 2. Aspecto de muestra de mano y al microscopio petrográfico de la facies piroxénica (A, B) y facies anfibólica (C, D).

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

A partir de los análisis de elementos mayoritarios (Tabla I) se desprenden las siguientes características: a) Las rocas piroxénicas son todas básicas, mientras que seis de las diez anfibólicas analizadas son intermedias. b) Son todas meta-aluminosas; si bien, el índice ACNK discrimina las piroxénicas con un rango de 0,33 a 0,43, con respecto a las anfibólicas, de 0,49 a0,81. c) Con arreglo a los criterios de Foley *et al.* (1987) son todas ultrapotásicas, excepto dos de las anfibólicas, cumpliéndose para el resto las condiciones de K_2O/Na_2O >2, K_2O>3 % y MgO>3 %. d) Es resaltable el alto contenido en CaO, especialmente en las piroxénicas (CaO: 10,7-12,8 %), en coherencia con la abundancia de diopsido. e) Igualmente, es destacable la abundancia en fósforo en las piroxénicas (P_2O_5 hasta casi 3 %).

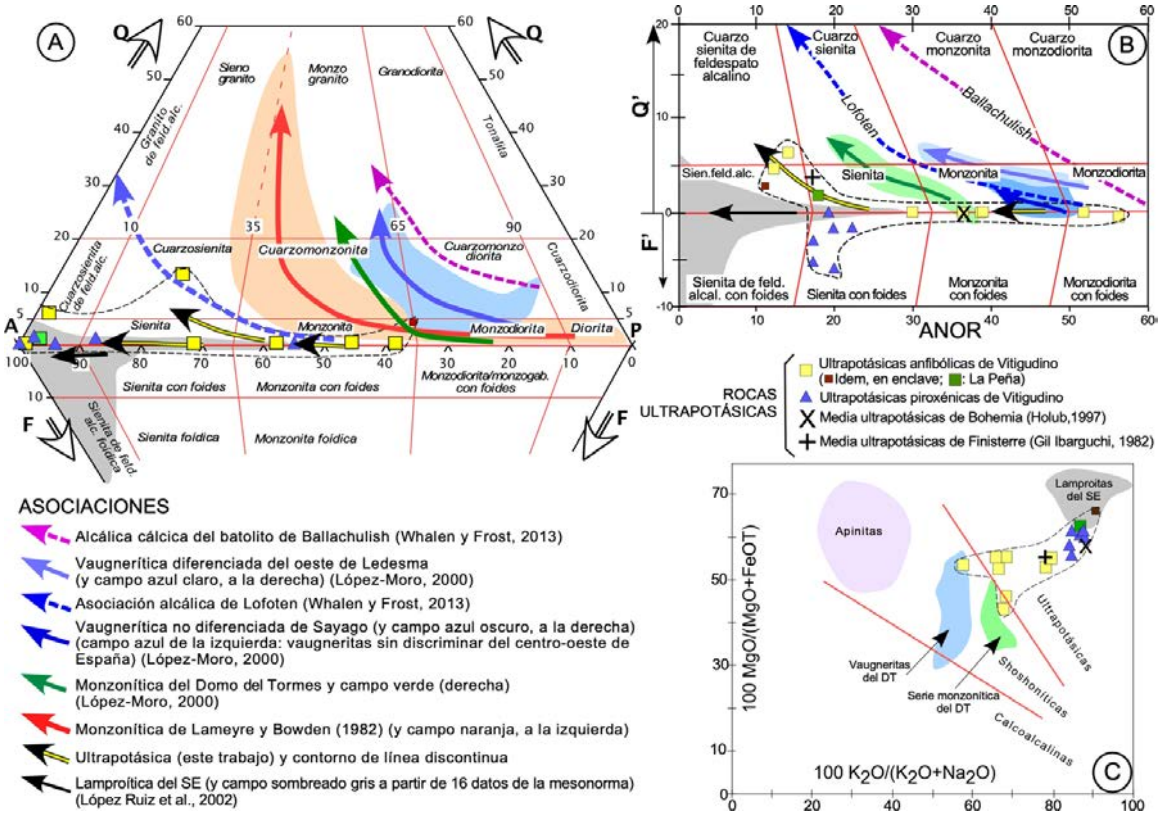


FIGURA 3. A) Representación modal en el diagrama QAP y su relación con otras asociaciones ígneas. B) Representación en el diagrama Q'-ANOR de Streckeisen y Le Maitre (1979); y C) diagrama 100MgO / (MgO+FeO_T) versus 100K_2O / (K_2O + Na_2O) (appinitas, según Sabatier, 1991). DT: Domo del Tormes.

DISCUSION: COMPARACIÓN CON LAS ROCAS SHOSHONÍTICAS ASOCIADAS

El diagrama normativo Q'-ANOR (Fig. 3 B) revela que gran parte de las rocas piroxénicas son subsaturadas. También revela una cierta discrepancia con respecto a las evoluciones en el QAP, produciéndose un desvío hacia el polo sienítico en las asociaciones biotíticas, debido al componente ortósico sobre-estimado en la norma CIPW. El carácter potásico aumenta desde las asociaciones shoshoníticas de vaugneritas y monzonitas, pasando por las ultrapotásicas anfibólicas hasta las piroxénicas de Vitigudino, las menos diferenciadas, sugiriendo que el enriquecimiento en K es primario al ir unido a un aumento en el número de Mg (MgO/MgO+FeO molar), hasta solaparse parcialmente con las lamproítas del SE español (Fig. 3 C).

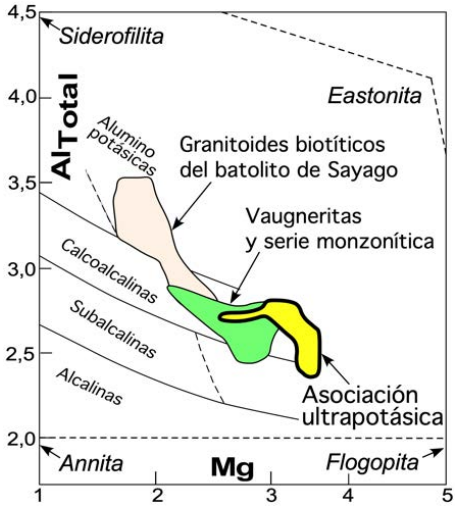


FIGURA 4. Diagrama de Nachit *et al.* (1985) para biotitas

Muestra	108	108B	007	008	008B	011	005	014	006	009	010	012	013	017	018	019
	Facies piroxénicas						Facies anfibólicas									
SiO_2	48,51	47,20	48,80	45,60	49,20	49,30	53,56	55,89	56,10	52,10	56,40	51,30	51,00	50,60	45,60	53,00
TiO_2	1,93	1,38	1,37	1,37	1,40	1,22	1,51	0,29	1,06	0,78	0,87	0,74	0,89	0,84	1,42	0,90
Al_2O_3	11,11	10,80	11,05	10,25	12,20	11,55	12,08	10,22	12,20	17,40	12,70	15,25	16,20	15,65	18,55	17,45
Fe_2O_3(T)	6,69	6,76	6,80	7,16	7,42	6,72	6,33	6,47	5,56	6,27	4,97	6,75	7,60	6,94	6,34	6,61
MnO	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14	0,10	0,12	0,10	0,12	0,09	0,11	0,12	0,11	0,09	0,11
MgO	9,26	9,52	9,55	9,42	8,26	8,21	9,46	11,24	6,10	4,80	5,01	7,49	7,81	6,90	6,99	4,46
CaO	12,13	12,70	12,80	12,75	10,85	10,70	6,31	6,90	8,17	5,84	6,99	6,91	7,98	6,96	9,29	6,11
Na_2O	0,92	0,87	1,00	0,80	1,15	1,18	1,00	0,68	1,73	2,90	1,86	2,38	2,57	2,37	1,85	2,66
K_2O	5,99	5,78	5,52	5,82	6,36	6,26	6,70	6,72	6,74	6,27	6,70	4,63	3,51	4,77	4,01	5,63
P_2O_5	2,63	2,20	2,30	2,94	2,02	1,51	1,10	0,31	1,52	1,39	1,51	0,48	0,56	0,90	0,99	0,83
LOI	1,01	1,44	1,33	1,24	1,47	1,56	1,78	1,49	0,93	1,23	0,86	1,49	1,47	1,19	2,93	0,52
Total	100,3	98,8	100,6	97,5	100,5	98,4	99,9	100,3	100,2	99,1	98,0	97,5	99,7	97,2	98,1	98,3
Parámetros																
K_2O/Na_2O	6,51	6,64	5,52	7,28	5,53	5,31	6,70	9,88	3,90	2,16	3,60	1,95	1,37	2,01	2,17	2,12
Mg#	60,60	61,02	60,95	59,39	55,30	57,59	62,42	65,88	54,94	45,97	52,84	55,22	53,32	52,49	55,06	42,85
Índ. ACNK	0,37	0,35	0,36	0,33	0,43	0,41	0,59	0,49	0,49	0,78	0,55	0,71	0,72	0,72	0,76	0,81
Q'/F`	0,00	-5,78	-1,38	-5,10	-1,60	-2,83	1,64	2,66	4,55	0,00	6,17	0,00	0,00	0,00	-0,61	0,00
ANOR	19,35	19,91	22,29	17,29	19,91	17,28	17,98	11,16	12,36	30,08	14,13	38,67	51,81	38,94	56,25	36,40

TABLA I. Análisis químicos de elementos mayores y parámetros geoquímicos. Todas las muestras son del NO de Vitigudino (Salamanca), excepto la muestra 005, que es de La Peña (Salamanca). La muestra 014 es un enclave anfibólico. Los análisis fueron realizados en los laboratorios ACTLABS, Canadá. Parámetros mediante la norma CIPW: F'= 100*(Ne+Leu)/(Ne+Leu+Ab+Or+An); Q': 100*Qtz /(Qtz+Ab+Or+An); ANOR:100*An/(An+Or). Mg#=MgO/MgO+FeOT molar.

AGRADECIMIENTOS

Los análisis químico-mineralógicos se hicieron mediante el proyecto CGL2013- 48408-C3-1-P (LITHOS) (MINECO). La empresa SIEMCALSA asumió el coste de los análisis químicos de roca total.

REFERENCIAS

Foley, S., Venturelli, G., Green, D. H., y Toscani, L. (1987): The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth-Science Reviews*, 24: 81-134.

Gil Ibarguchi, J.I. (1982): Metamorfismo y plutonismo en la región de Muxia-Finisterre (NO de España). *Corpus Gallici-ae,* 2. Academia de Ciencias Gallega, Laboratorio geológico de Laxe, Fundación "Pedro Barrie de la Maza", 215 p.

Holub, F. V. (1997): Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite series in the Bohemian Massif: petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation. *J Geol Sci Econ Geol Mineral*, 31: 5-26.

Lameyre, J. y Bowden, P. (1982): Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *J Volcanol Geoth Res*, 14: 169-186.

López-Moro, F. J. (2000): *Las rocas plutónicas calcoalcalinas y shoshoníticas del Domo Varisco del Tormes (Centro-Oeste Español). Estudio mineralógico, geoquímico y petrogenético*. Tesis Doctoral, Univ. de Salamanca, 441 p.

López Ruiz, J., Cebriá, J.M. y Doblas, M. (2002). Cenozoic volcanism I: the Iberian Peninsula. En: *The Geology of Spain* (W Gibbons y T. Moreno, eds.), Geol Soc London, 417-680.

Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M. y Carron, J.P. (1985): Composition chimique des biotites et typologie magmatiques des Granitoides. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301: 813- 817.

Sabatier, H. (1991): Vaugnerites, special lamprophyre-derived mafic enclaves in some Hercynian granites from Western and Central Europe. En: *Enclaves and Granite Petrology* (J. Didier y B. Barbarin, eds.). Elseviers, Amsterdam, 13: 63-81.

Streckeisen, A.L. y Le Maitre, R.W. (1979): A Chemical Approximation to the Modal QAPF Classification of the Igneous Rocks. *Neues Jahrb Miner Abh*, 136: 169-206.

Whalen, J.B. y Frost, C. (2013): The Q-ANOR diagram: a tool for the petrogenetic and tectonomagmatic characterization of granite suite. *Conference: South-Central Section, Geol. Soc. Amer, At Austin, Texas.*

Los granates del magmatismo Cisuraliense en la Cordillera Ibérica: Origen, evolución y convergencia composicional a escala de cadena.

The garnet of the cisuralian magmatism in the Iberian Chain: Origin, evolution and compositional convergence at chain scale.

U. Majarena[1], C. Galé[1], M. Lago[1] y A. Gil[1]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra – IUCA, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna nº12. 50009, Zaragoza, España.
urbezmajarena@hotmail.com, carlos.gale@gmail.com, mlago@unizar.es, agil@unizar.es

Resumen: En este trabajo se comparan y estudian petrográfica y composicionalmente granates de los sectores más representativos del magmatismo cisuraliense en la Cordillera Ibérica a partir de 37 muestras de láminas delgado-pulidas y 788 análisis químicos de microsonda electrónica. Todos los granates son ricos en Alm (50-88%) y muestran la misma evolución composicional y características petrográficas independientemente de su procedencia. Este hecho apunta hacia su coetaneidad y cogenetismo a escala de cadena y a lo largo de su evolución composicional. Los datos composicionales y petrográficos permiten distinguir: 1) granates metamórficos, alotriomorfos, más pobres en Ca y Mg y más ricos en Fe que los ígneos, con una zonación composicional influenciada por posibles procesos de difusión, 2) granates ígneos, subidiomorfos y de aspecto límpido, que muestran un proceso de cristalización fraccionada y 3) granates con núcleos de tipo 1 y coronas de tipo 2 que alcanzan grandes tamaños y reflejan la cristalización ígnea sobre núcleos metamórficos. Los datos obtenidos permiten discriminar con claridad el origen de un granate a partir de su composición en el contexto de la Cordillera Ibérica, lo cual puede ser de especial aplicabilidad para el estudio del área fuente de rocas sedimentarias.

Palabras clave: Cordillera Ibérica, Magmatismo cisuraliense, Pérmico Inferior, clasificación de granates, xenolitos metamórficos.

Abstract: *In this work garnets from the most representative outcrops of the Cisuralian magmatism in the Iberian Chain are studied. All garnets are rich in Alm (50-88%) and show the same compositional evolution and petrographic characteristics regardless of their origin. These features point towards a common origin of the garnets along the Iberian Chain. The compositional and petrographic data allow us to distinguish: 1) metamorphic, allotriomorph garnets, with lower Ca and Mg and higher Fe values than the igneous ones and a compositional zoning influenced by possible diffusion processes, 2) igneous, subidiomorph garnets of clear appearance, which show a fractional crystallization process and 3) crystals that reach large sizes, show a type 1 core and type 2 rim and reflect igneous crystallization over a metamorphic core. These results allow to identify the origin of a garnet in base to its composition within the geological context of the Iberian Chain, which could be of special applicability for the study of the source area of garnet-bearing sedimentary rocks.*

Keywords: *Iberian Chain, Cisuralian Magmatism, Lower Permian, Garnet classification, metamorphic xenoliths.*

INTRODUCCIÓN

Durante el Cisuraliense tuvo lugar un intenso magmatismo calcoalcalino a lo largo de todo el orógeno varisco (Wilson *et al.*, 2004). En la Cordillera Ibérica, localizada en el extremo SW de las zonas asturoccidental-leonesa y cantábrica del Macizo Ibérico (Álvaro *et al.*, 2018), este magmatismo tuvo una intensa y breve (294-283 Ma) actividad que generó cientos de afloramientos ígneos (Lago *et al.*, 2005), en su mayor parte, de reducida extensión (<1km^2). El magmatismo aflora en distintas áreas dispersas a lo largo de toda la Cordillera (Fig. 1) y muestra una amplia variedad de modalidades de emplazamiento, con predominio de las intrusiones subvolcánicas (sills y diques), frente a más escasas manifestaciones volcánicas (flujos piroclásticos) y un único plutón (microgabro). A su amplia distribución y variabilidad de emplazamiento se une su gran diversidad composicional en elementos mayores que comprende desde composiciones riolíticas hasta basálticas (Lago *et al.*, 2005 y referencias que contiene).

A pesar de estas diferencias, las rocas de todos los afloramientos muestran una similar relación en la concentración de los elementos traza, una similar asociación mineral, una afinidad calco-alcalina y un mismo rango temporal (Lago *et al.*, 2005). Estos rasgos aportan unidad a los distintos afloramientos y sugieren un carácter cogenético para los mismos a escala de cadena.

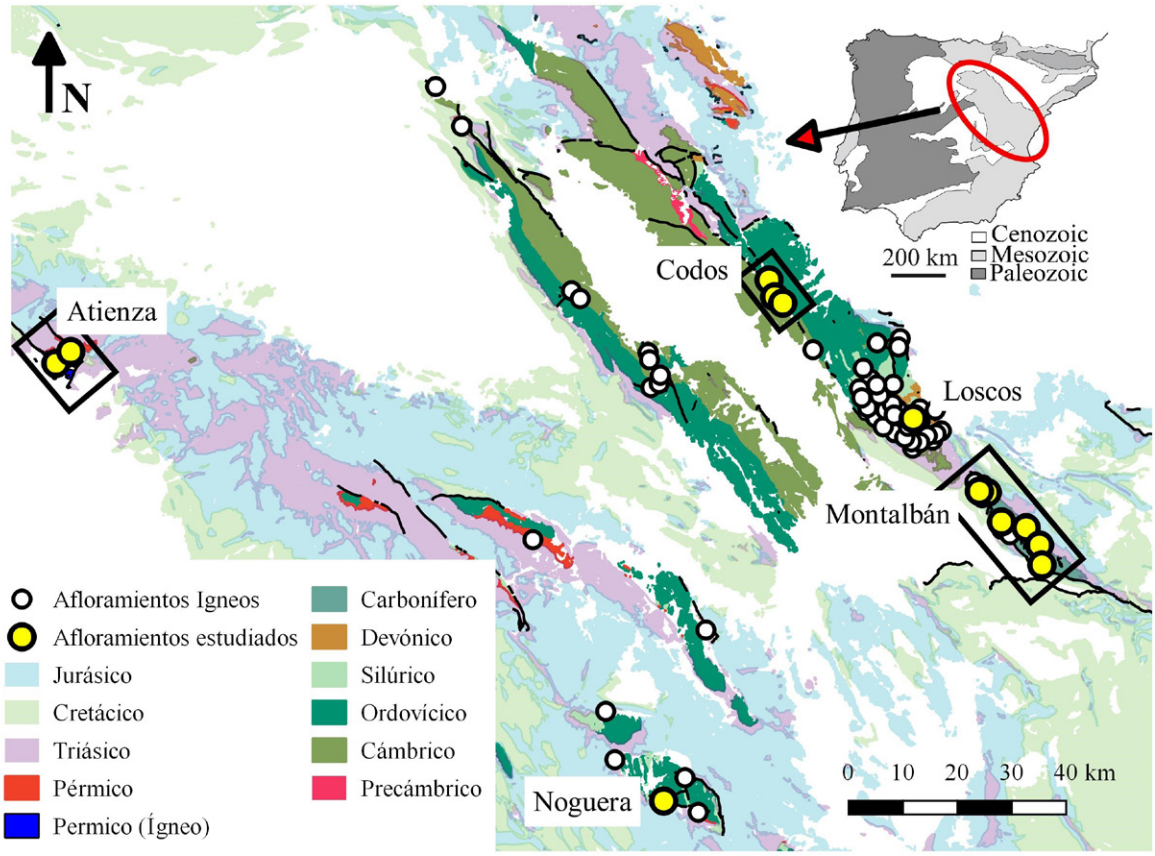


FIGURA 1. Localización de los afloramientos del magmatismo Cisuraliense de la Cordillera Ibérica y de las muestras estudiadas.

El granate, pese a ser un mineral accesorio en este magmatismo (<1% en volumen), es posiblemente el que mayor carácter distintivo le aporta. Está presente en numerosos afloramientos a lo largo de los distintos sectores magmáticos y dominios estructurales de la Cordillera Ibérica (Fig. 1). Forma parte tanto de rocas ígneas (dacitas, andesitas y un gabro) como de los enclaves metamórficos de grado medio-alto que se encuentran presentes en todas ellas y presenta un marcado zonado petrográfico y composicional.

La amplia representación del granate en este magmatismo, su presencia tanto en rocas ígneas como en xenolitos y su composición, despiertan el interés de su estudio centrado en los siguientes objetivos: 1) determinar su origen y evolución para cada afloramiento y a escala de cadena y 2) elaborar una caracterización composicional de los distintos cristales y zonados que permita discriminar el origen y características de la roca huésped en función de la composición química del granate.

Para la consecución de estos objetivos se ha llevado a cabo un exhaustivo estudio petrográfico y composicional de los granates presentes en los afloramientos más representativos de la Cordillera Ibérica (Fig. 1) y sus respectivas rocas huésped.

MUESTRAS Y METODOLOGÍA

Para este estudio se han recopilado la mayor parte de los análisis químicos de granates de la Cordillera Ibérica realizados por el grupo de investigación de petrología ígnea de la Universidad de Zaragoza desde el año 1997 hasta la actualidad (en su mayor parte inéditos) y sus correspondientes muestras de mano y láminas delgadas. En total se han estudiado un total de 37 muestras y 788 análisis químicos de microsonda electrónica.

Las muestras corresponden a afloramientos de 5 sectores emblemáticos del magmatismo pérmico de la Cordillera Ibérica (Fig. 1): 1) el sill y el depósito piroclástico de Atienza, ambos de composición andesítica (Majarena *et al.*, 2015); 2) el sill de Noguera de Albarracín, también andesítico; 3) varios diques dacíticos y el depósito de grauvacas de Codos; 4) el microgabro de Loscos y 5) numerosos sills y diques dacíticos del Anticlinal de Montalbán.

En cada sector se han estudiado entre 5 y 10 muestras y realizado entre 62 y 281 análisis químicos en los granates. En todos los sectores han sido analizados granates correspondientes a xenocristales aislados dentro de rocas ígneas y a cristales componentes de xenolitos, excepto en el afloramiento de Loscos, donde no han podido analizarse cristales de xenolitos.

Todas las muestras ígneas, con excepción de las de Loscos, corresponden a pórfidos con una matriz microcristalina constituida mayoritariamente por Qz y Pl (abreviaturas minerales de este trabajo según Whitney y Evans, 2010). Las dacitas presentan fenocristales de Bt, Kfs y Qz. Las andesitas contienen, además de los minerales anteriores, Amp y, en el caso de Atienza, también Opx. El gabro de Loscos está formado por fenocristales de Opx, Cpx, Amp, Bt y Pl.

Los xenolitos estudiados corresponden mayoritariamente a gneises en facies anfibolitas superiores, con una importante tasa de fusión y que presentan como minerales (además de Grt) Sil, Bt, Pl, Kfs, Spl, Crn, And, Crd y Ap. Este tipo de xenolitos se encuentra presente en los afloramientos de Atienza, Noguera y Montalbán. En el sector de Montalbán se han analizado, además, cristales correspondientes a tres xenolitos de esquisto formados por bandas alternantes de Qz con arcillas y micas (Bt y Ms) y un xenolito de granitoide muy alterado. En el sector de Codos se han analizado también granates de una grauvaca formada por cantos de cuarcita y pizarra, y cristales de Qz, Pl, Kfs, Bt además de los de Grt.

RESULTADOS

Los granates estudiados se agrupan en composiciones próximas al Alm con proporciones en este mineral que varían entre el 50% y el 88 %. No obstante, presentan notables variaciones en los principales cationes (Fe, Mg, Mn y Ca) tanto dentro de cada cristal como entre diferentes cristales. En este trabajo hemos podido distinguir 7 grandes grupos composicionales que han sido numerados desde el -4 hasta el 3, utilizando números negativos para aquellos relacionados con xenolitos, y positivos para los relacionados más directamente con el magmatismo. En la tabla 1 y figura 2 se expresan los valores composicionales característicos de cada grupo composicional y su procedencia.

Los cristales con composiciones comprendidas entre los grupos -3 y 1, muestran muy frecuentemente un claro zonado composicional con transiciones desde el centro hacia el borde del cristal, hacia zonas composicionales nominalmente más altas (ej. -3 a -2), pero nunca desde las zonas composicionales de números altos hacia las de números más bajos (ej. -2 a -3).

Los grupos composicionales -3,-2 y -1 corresponden preferentemente a granates de xenolitos o núcleos de xenocristales ígneos. De forma contraria, las composiciones 1 y 2 se encuentran mayoritariamente en xenocristales, bordes de xenocristales y en bordes de cristales localizados preferentemente en las zonas de xenolitos más expuestas al fundido ígneo (bordes y fracturas). Petrográficamente, los granates o zonas de granates con composiciones -3,-2 y -1 suelen ser más alotriomorfos y tener bordes más irregulares, aspecto menos límpido y mayor número de fracturas, que los granates o zonas de granates 1 y 2, que muestran características contrarias.

Tipo	Nº análisis	Litología	Cristal	Procedecia	CaO	MgO	FeO_t	MnO
-4	5	Granitoide	e	MO	< 0,5	0,5-1	29-30	12,5-13
-3	54	esquisto	e	MO	2-7,5	1,5-5,5	22,5-35	0,5-10,5
		gneis	e+n	AT/NO/MO				
		xenocristal	n	AT/LO				
-2	343	gneis	e+n	AT/NO/MO	1-4	2,5-6,5	28,5-37	< 5
		xenocristal	n	AT/NO/CO/LO				
-1	68	gneis	b	AT/NO/CO/MO	1-2,5	5,5-8	28-34	< 2
		xenocristal	n	NO				
1	51	gneis	b+l	AT	0,5-7	5-11	23,5-31	< 1,5
		xenocristal	b	NO/CO/LO				
2	208	gneis	b+l	AT	4,5-7,5	3-7,5	25-30,5	< 3
		xenocristal	b	AT/NO/CO/LO/MO				
3	54	grauvaca	e	CO	6,5-9,5	1,5-3,5	26,5-29	2,5-4

TABLA I. Síntesis de características de los granates estudiados. Composición en % en peso. Abreviaturas: e: cristal completo, n: núcleo de cristal, b: borde de cristal, l: próximo al borde del xenolito, MO: Montalbán, AT: Atienza, NO: Noguera, LO: Loscos, CO: Codos.

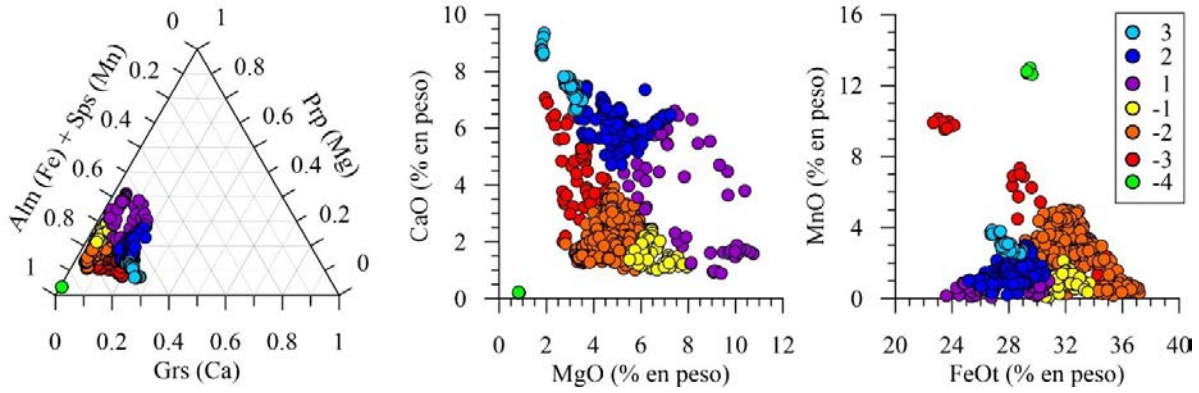


FIGURA 2. Diagramas de clasificación y discriminación composicional de los granates analizados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las zonas composicionales definidas para los análisis de granate realizados se encuentran representadas en su práctica totalidad en los 5 sectores estudiados. Siguiendo un orden cronológico esperable de cristalización, desde el centro hasta el borde de los cristales, destaca la evolución temporal progresiva desde la zona composicional -3 hasta la 2.

A lo largo de esta evolución se puede observar claramente una pérdida en CaO y MnO y un aumento en MgO en el paso desde la zona -3 a la zona -2 y de ésta a la -1 (Fig. 2). La evolución composicional contraria se hace patente en el paso desde la zona 1 a la 2 y de ésta a la 3 (Fig. 2). Esta característica sugiere un cambio en las condiciones de cristalización en el paso entre las zonas -1 y 1, que explique la zonación inversa observada entre las zonas -3 a -1 y las zonas 1 a 3.

Los grupos composicionales -3, -2 y -1 corresponden de forma mayoritaria a cristales de xenolitos y núcleos de xenocristales, y secundariamente a xenocristales completos con las características petrográficas propias de los granates de los enclaves metamórficos. Por el contrario, las zonas 1 y 2 están representadas de forma mayoritaria en xenocristales y bordes de xenocristales aislados, y en los bordes de los cristales de los xenolitos, especialmente en los que mayor contacto muestran desde un punto de vista petrográfico, con la roca ígnea. Éste hecho parece indicar que las composiciones -3, -2 y -1 corresponden principalmente a la cristalización en condiciones metamórficas mientras que las composiciones 1 y 2 posiblemente cristalizaron en condiciones ígneas.

El zonado en condiciones metamórficas (composiciones -3, -2 y -1) evoluciona hacia las composiciones de tipo 1. Por otra parte, el zonado composicional por metamorfismo es un proceso difícil de conservar, poco frecuente y que requiere cambios bruscos en las condiciones P-T. Este hecho sugiere que posiblemente el zonado observado se deba a un proceso de difusión entre el granate metamórfico y el fundido ígneo.

En función de la evolución composicional observada en estos granates podemos deducir una historia de cristalización caracterizada por: A) Generación de granates de tipos -3 y -2 por metamorfismo. B) Entrada de los xenolitos metamórficos en la cámara magmática arrancados por el fundido y produciendo la cristalización de las zonas composición -1 y la generación de la zona -1 por difusión. C) Cristalización fraccionada hacia la composición de tipo 2.

Esta evolución composicional ha sido definida para todos los granates estudiados en los distintos puntos de la Cordillera Ibérica. Este hecho sugiere un carácter cogenético para los granates y la presencia de similares procesos ígneos, metamórficos y geodinámicos a lo largo del proceso de cristalización, a escala de Cordillera.

La mayor parte de los xenolitos estudiados, corresponden a gneises en facies anfibolitas de alto grado, que sugieren una procedencia de corteza inferior y sitúan, en este nivel cortical, la profundidad mínima para el origen del fundido que los ha incorporado.

La composición del enclave granítico (-4) resulta más próxima a la del grupo -3 que a la de las restantes, encontrándose alejada de las composiciones ígneas. Dicho resultado es acorde con el carácter composicional cortical de los fundidos graníticos. Por el contrario, la composición de la grauvaca (3), se encuentra en práctica continuidad con la zona 2, sugiriendo un origen ígneo y evolucionado de los granates que la integran. Los diagramas aquí propuestos suponen una interesante fuente de información para la discriminación del origen de los granates sedimentarios procedentes de la erosión de rocas ígneas y metamórficas, al menos para el área de Cordillera Ibérica.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el grupo de investigación Geotransfer-E32_17R del Gobierno de Aragón y las subvenciones destinadas a la contratación de personal investigador predoctoral en formación para el período 2017-2021, cofinanciadas con el Programa Operativo FSE Aragón 2014-2020.

REFERENCIAS

Álvaro, J.J., Bauluz, B., Gil-Imaz, A. y Ubide, T. (2018): 40Ar/39Ar chronological constraints on syn- and post-Variscan biotite porphyroblasts from the Iberian Chains, Ne Spain. *Journal of Iberian Geology*, 44(4): 655-670.

Lago, M., Gil, A., Arranz, E., Galé, C., y Pocoví, A. (2005). Magmatism in the intracratonic Central Iberian basins during the Permian: Palaeoenvironmental consequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229(1-2): 83-103.

Majarena, U., Gil, A., Lago, M. y Galé, C. (2015). El magmatismo pérmico del sector de Atienza (extremo W de la Cordillera Ibérica): nuevos datos petro-estructurales para su interpretación genética. *Geogaceta*, 58:63-66.

Whitney, D. L y Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist,* 95(1): 185-187.

Wilson, M, Neumann E.R., Davies, G.R., Timmerman M.J., Heeremans, M., y Larsen, B.T. (2004). Permo-Carboniferous Magmatism and Rifting in Europe. Geological Society, London, Special Publications, 223, 498 p.

Origen y significado de las “pizarras moradas” de la Faja Pirítica Ibérica.

Origin and meaning of the “purple shales” of the Iberian Pyrite Belt.

P. Martagón[1], C. Moreno[1], R. Sáez[1] y G.R. Almodóvar[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva 21017 Huelva. paola.estevez270@alu.uhu.es, carmor@uhu.es, saez@uhu.es, almodovar@uhu.es

Palabras clave: Pizarras moradas, Faja Pirítica Ibérica, oxidación, nivel guía.

Resumen

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) es una provincia metalogenética de primera clase a nivel mundial, con inmensas acumulaciones de sulfuros masivos. A pesar de su importancia, todavía existen lagunas de conocimiento en determinados aspectos de su Geología, incluso de su registro estratigráfico, especialmente en aquellas litologías sin relación aparente con los sulfuros.

Las “pizarras moradas” constituyen el único nivel de referencia (nivel guía) en la cartografía geológica regional, ya que aflora de manera prácticamente continua en toda la región. Se han estudiado tres secciones de “pizarras moradas” localizadas en la parte occidental, central y oriental de la FPI española. Los datos estratigráficos, geoquímicos, mineralógicos y petrográficos obtenidos indican que no forman un nivel homogéneo ni a escala regional, ni a escala local. Las “pizarras moradas” están formadas por litofacies de naturaleza volcánica y sedimentaria con frecuentes cambios laterales y verticales de facies. El color rojo/morado que las caracteriza se debe a un proceso de oxidación postsedimentario que afectó a los depósitos con diferente intensidad. La oxidación no estuvo acompañada de enriquecimiento en Fe y no implicó cambios significativos en la geoquímica de los depósitos, puesto que el Fe^{3+}, responsable de la coloración morada, procedía de la propia roca sin que hubiese una fuente externa. Este proceso oxidativo se enmarca en el evento global de oxidación Carbonífero-Pérmico que, en la FPI, estuvo controlado por la paleogeografía de la cuenca, a su vez, responsable de la distribución y naturaleza de los depósitos.

Keywords: *Purple shales, Iberian Pyrite Belt, oxidation, guide horizon*

Abstract

The Iberian Pyritic Belt (IPB) is a world-class metallogenic province with huge accumulations of massive sulphide deposits. Despite this importance, some geological features, even related to the stratigraphic record, are still poorly known. This applies specifically to rocks non related to the sulphides.

The “purple shales” constitute the only cartographic guide level at regional scale, because it outcrops almost continuously throughout the entire region. Three sections of “purple shales” have been studied on the western, central and eastern parts of the Spanish IPB. Stratigraphic, geochemical, mineralogical and petrographic data indicate that they do not conform a homogeneous level neither at regional nor at local scale. The “purple shales” are composed of lithofacies of volcanic and sedimentary rocks showing frequent lateral and vertical facies changes. The distinctive purple/red colour was caused by a post-sedimentary oxidation process that unevenly affected these rocks. The oxidation was not accompanied by Fe enrichment nor involved significant changes in the geochemistry of the deposits. This occurred because the Fe^{3+} responsible for the purple colouring came directly from the rock, with no external source. This oxidative process forms part of the global Carboniferous-Permian oxidation event that, in the IPB, was controlled by the basin palaeogeography in turn responsible for the distribution and nature of the deposits.

Agradecimientos/Acknowledgment: Este trabajo es una contribución al Proyecto: CGL2016-79204-R.

Procesos metamórficos e hidrotermales Variscos en rocas carbonáticas del Cámbrico inferior (Montes de Toledo, Zona Centroibérica, España).

Variscan metamorphism and hydrothermalism recorded in lower Cambrian carbonates (Toledo Mountains, Central Iberian Zone, Spain).

S. Menéndez[1], L. González-Menéndez[2], M. Rodríguez-Martínez[3] y F.J. Rubio Pascual[4]

1 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, Spain. s.menendez@igme.es
2 Unidad de León, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Avda Real 1, 24006 León, Spain. l.gonzalez@igme.es
3 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/José Antonio Nováis, 12, 28040 Madrid, Spain. martarm@geo.ucm.es
4 Área de Cartografía Geocientífica, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. f.rubio@igme.es

Resumen: Las rocas carbonáticas del Cámbrico inferior de la Zona Centroibérica (Formación Calizas de Los Navalucillos) presentan en la localidad de Urda (Toledo) asociaciones minerales que pueden estar producidas por procesos metamórficos variscos. La textura y mineralogía observadas consisten en dominios siliciclásticos de cuarzo + sericita ± micrita en contacto con nódulos carbonáticos con bioclastos de arqueociatos. Los bordes de estos nódulos contienen biotita magnesiana ± clorita-clinocloro ± óxidos y sulfuros de hierro ± feldespato potásico. Fuera de los bordes y en la matriz siliciclástica suelen aparecer biotita magnesiana ± moscovita ± feldespato potásico ± clorita-clinocloro ± titanita ± plagioclasa cálcica y sulfuros de hierro. La modelización P-T-XCO_2 indica condiciones de baja presión, temperaturas de 310-355 ºC y composición del fluido de 0.05-0.55 XCO_2 para producir las paragénesis minerales observadas. En base a estos datos se consideran dos hipótesis: 1) Un metamorfismo regional varisco que afectó a rocas compuestas por cuarzo + sericita + calcita/dolomita. 2) Un metamorfismo de contacto asociado al emplazamiento tardivarisco de un plutón granítico, que generó de forma puntual calor y fluidos hidrotermales de H_2O ± CO_2. Estos fluidos serían en parte magmáticos-graníticos (>H_2O) y en parte metamórficos (>CO_2) procedentes de los metasedimentos de contacto.

Palabras clave: Calizas de Los Navalucillos, rocas carbonáticas, metamorfismo, hidrotermalismo, biotita.

Abstract: *The early Cambrian carbonate rocks of the Central Iberian Zone (Navalucillos Limestone Formation) show in Urda location (Toledo) a mineral paragenesis probably linked to Variscan metamorphic processes. The textures consist in quartz + sericite ± micrite domains that include calcite nodules with archaeocyathan bioclasts and silicate rims of Mg-biotite ± clinochlore ± iron-oxides and sulfides ± K-feldspar. Outside the rims, the silicate phases are Mg-biotite ± muscovite ± K-feldspar ± chlorite-clinochlore ± titanite ± calcic-plagioclase, and iron sulfides. P-T-XCO_2 modeling indicates low pressure conditions of metamorphism, low to moderate XCO_2 fluid (≈ 0.1-0.5) and a T range of ≈ 300-355 ºC. Two hypothesis are considered: 1) Regional metamorphism of a quartz + sericite + calcite/dolomite assemblage. 2) Infiltration of the carbonate rocks by H_2O ± CO_2 external fluids, magmatic/metamorphic derived. This consists in hydrothermal inputs from a local source (granite intrusions) and from dehydration of contact sediments. The high variability of the isotopic $\delta^{18}O$ values in the carbonates supports this hypothesis.*

Keywords: *Navalucillos Limestones, carbonate rocks, metamorphism, hydrothermalism, biotite.*

INTRODUCCIÓN

En el Macizo Varisco Ibérico (España y Portugal) tuvo lugar deformación, metamorfismo y magmatismo durante gran parte del periodo Carbonífero. En las partes internas de este orógeno (Zona Centroibérica) se registraron estos procesos de manera desigual. En bastantes zonas el metamorfismo regional fue de bajo o muy bajo grado. Superpuesto a este metamorfismo, intrusiones graníticas generaron aureolas térmicas de mayor grado (facies esquistos verdes - anfibolitas) y carácter más local.

En el sureste de la Zona Centroibérica, en la localidad de Urda y sus alrededores, aflora una sucesión de rocas carbonáticas, con diversas intercalaciones siliciclásticas, perteneciente a la Fm. Calizas de Los Navalucillos de edad Cámbrico, Serie 2, Piso 3 (última tabla cronoestratigráfica internacional de la IUGS) (Fig. 1). Se trata de calizas ± dolomías impuras junto con niveles pizarrosos/arenosos. Todo este conjunto de litologías se encuentra afectado por la deformación Varisca y presenta un metamorfismo cuya característica más destacable es la blastesis de biotita. Aun así, en esta localidad se registra una asociación de fauna de arqueociatos que destaca por su buena preservación (Menéndez *et al.*, 2010).

En este trabajo se estudia el metamorfismo que afectó a estas rocas carbonáticas para averiguar si se trató de un

evento regional o pudo estar relacionado con intrusiones ígneas graníticas e hidrotermalismo asociado. Para ello, se investigó el posible efecto térmico en diversas formaciones de la zona de estudio mediante trabajo de campo y petrografía. Posteriormente se realizó una modelización numérica para averiguar las condiciones de P-T-XCO_2 necesarias para reproducir la mineralogía observada. Los datos disponibles y su interpretación parecen ser más favorables a procesos de metamorfismo de contacto.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En la zona de estudio afloran diversas unidades litoestratigráficas del Paleozoico inferior (Cámbrico-Ordovícico; Fig. 1). La estructura del conjunto está formada por un anticlinal en forma de domo con un eje de dirección aproximada OSO-ENE y en cuyo núcleo afloran las rocas carbonáticas impuras de la Fm. Calizas de Los Navalucillos (localidad de Urda). Esta misma formación aflora también más hacia el Este, (Consuegra) donde muestra una dirección aproximada NO-SE (Fig. 1). Sobre las Calizas de los Navalucillos, el resto de la sucesión paleozoica corresponde principalmente a rocas siliciclásticas con diverso grado de metamorfismo. Respecto a las rocas ígneas graníticas, no se han identificado en este entorno, ni siquiera en las zonas más orientales donde se describen pequeños afloramientos del granito biotítico de Madridejos (Ramírez Merino, 2000). Por tanto, el contacto de este granito con las rocas del Paleozoico inferior debe estar más desplazado hacia el Este y oculto bajo la cobertera de materiales terciarios.

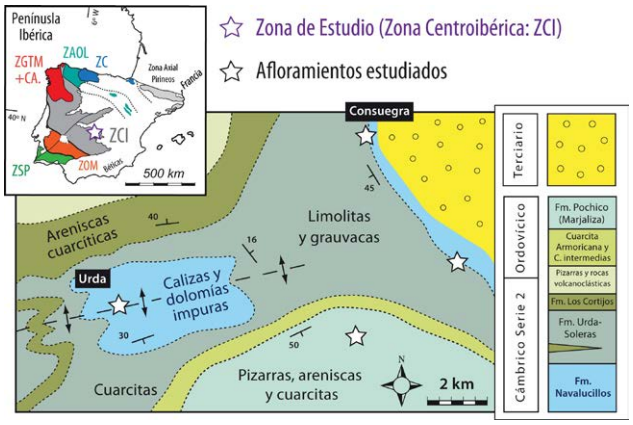


FIGURA 1. Mapa geológico con las principales unidades litoestratigráficas que afloran en la zona. Simplificado y modificado de Ramírez Merino (2000). Las diferentes localidades de estudio y muestreo están señaladas en el mapa (estrellas).

PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS CARBONÁTICAS / SILICICLÁSTICAS

Las rocas carbonáticas y niveles siliciclásticos de la Fm. Calizas de Los Navalucillos que afloran en la localidad de Urda presentan algunas singularidades. Se trata de limolitas y lutitas masivas con nódulos carbonáticos intercalados (litofacies B1 y B3 en Menéndez *et al.*, 2010). Los nódulos carbonáticos, de tamaño decimétrico a centímetrico, aparecen parcial o totalmente rodeados de matriz siliciclástica (pelítica ± micrítica).

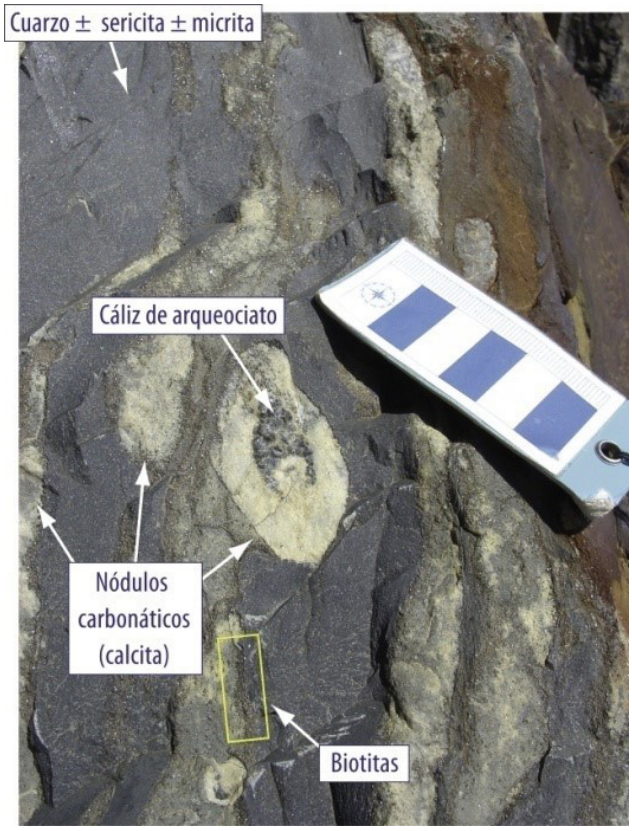


FIGURA 2. Matriz siliciclástica ± micrítica y nódulos carbonáticos esparíticos en los afloramientos de la Fm. Calizas de Los Navalucillos en Urda. A simple vista se pueden identificar restos de cálices de arqueociatos y blastos de biotita.

Las partes carbonáticas y en algunos casos las siliciclásticas suelen tener abundantes blastos de biotitas subhedrales, muchas con hábito poiquiloblástico y sin orientaciones preferentes (Figs. 2 y 3). En los dominios de matriz siliciclástica, las biotitas pueden alcanzar tamaños próximos a los 100 µm. En los dominios de nódulos carbonáticos, especialmente en los bordes, las biotitas alcanzan tamaños próximos a 1 mm (Fig. 3). Las biotitas observadas no presentan en general inclusiones de óxidos de hierro o apatito aunque sí contienen algunos halos pleocroicos rodeando a minerales accesorios ricos en uranio (circón y/o monacita). El crecimiento y desarrollo de estas biotitas se interpreta por metamorfismo/metasomatismo.

Las asociaciones minerales observadas, tanto en la matriz como en los nódulos carbonáticos, consisten en:

a) Matriz siliciclástica: cuarzo + sericita ± calcita. Otras fases que aparecen en la matriz, aunque de forma más heterogénea son: biotita rica en magnesio ± moscovita ± feldespato potásico ± clorita (clinocloro) ± titanita ± plagioclasa cálcica y sulfuros de hierro.

b) Nódulos carbonáticos: calcita ± dolomita ± biotita y bioclastos de arqueociatos. Los bordes de estos nódulos contienen diversos silicatos y óxidos: biotita rica en magnesio ± clorita (clinocloro) ± sulfuros y óxidos de hierro ± feldespato potásico (Fig. 3).

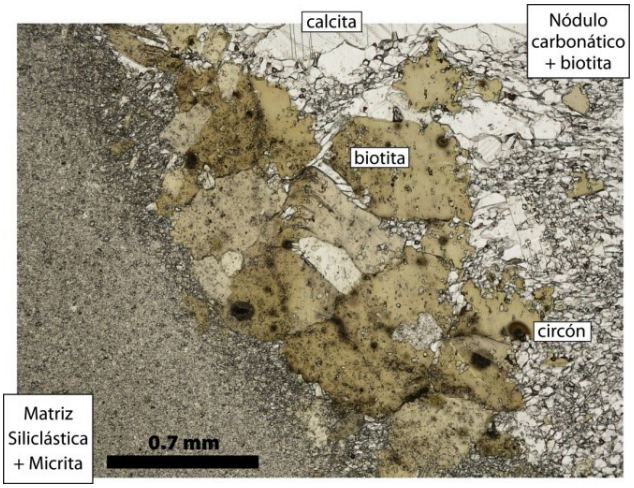


FIGURA 3. Fotomicrografía de la zona de contacto entre un nódulo carbonático y la matriz siliciclástica ± micrítica. Algunas de las biotitas muestran hábito poiquiloblástico y contienen inclusiones de circón.

Las rocas carbonáticas de la Fm. Calizas de Los Navalucillos situadas más al Este (Fig. 1: Consuegra) muestran importantes recristalizaciones, pero una blastesis de minerales metamórficos muy escasa: ± biotita rica en Mg ± moscovita.

Las pizarras del Ordovícico de la Formación Pochico al S-SE de la localidad de Urda (Fig. 1) no presentan minerales índice que indiquen que han llegado a la anquizona.

MODELIZACIÓN P-T-XCO₂

Con objeto de intentar reproducir la asociación mineral observada, en especial la blastesis de biotitas, se ha realizado un modelo termodinámico de temperatura-composición de fluido (H_2O-CO_2) para una presión de 1 kbar (≈ 3.3 km). La composición de roca total sobre la que se realizaron los cálculos es una estimación aproximada de la interfase matriz siliciclástica-nódulo carbonático (Si:70, Ca:85 atom. mol prop. ± cantidades menores de Al, Mg, Fe y K; Fig. 4).

La pseudosección T-X_{CO2} calculada (Fig. 4) muestra que la asociación mineral teórica coincide con la observada (calcita + cuarzo + biotita + clorita ± moscovita ± feldespato potásico) para unas condiciones de baja presión (1 kbar), contenido moderado a bajo en CO_2 del fluido (XCO_2 ≈ 0.05-0.55) y temperaturas comprendidas entre 310-355 ºC aproximadamente. A mayores temperaturas o mayor contenido de CO_2 en el fluido, la clorita no sería estable. Con menor proporción de CO_2 en el fluido, otras fases estarían en la asociación estable: zoisita/clinozoisita, anfíbol. Además, el campo de estabilidad de la clorita sería muy reducido. Es posible que en este intervalo de XCO_2 la temperatura haya podido ser ligeramente mayor de 355 ºC y mantenerse la clorita de forma metaestable debido a la cinética de las reacciones.

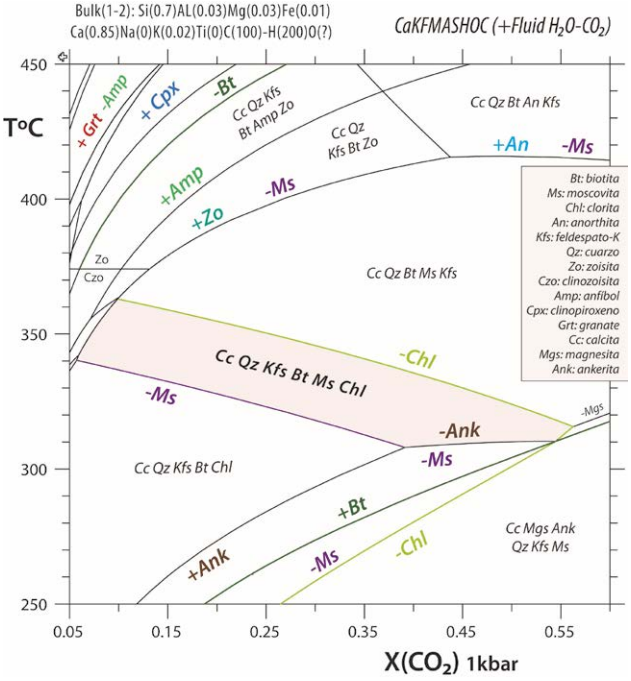


FIGURA 4. Pseudosección T-XCO_2 para una presión de 1 kbar y composición estimada: nódulo carbonático + matriz siliciclástica (Bulk 1-2). Se utilizó el software Theriak-Domino (De Capitani y Petrakakis, 2010) junto con la base de datos ds.55 de Holland y Powell (1998). El campo en gris corresponde a la asociación mineral teórica más coincidente con la observada.

METAMORFISMO: ¿REGIONAL O DE CONTACTO?

La asociación mineralógica observada en las rocas carbonáticas de la Fm. Calizas de Los Navalucillos en Urda se debe explicar mediante un incremento de la temperatura y una producción de fluidos de H_2O-CO_2. Se pueden plantear dos hipótesis diferentes:

1) Un metamorfismo regional de grado bajo afectando a una asociación mixta de rocas siliciclásticas + carbonáticas. El incremento de temperatura produciría deshidratación de fluidos procedentes de las arcillas en las rocas siliciclásticas/carbonáticas y estos fluidos de H_2O-CO_2 favorecerían la blastesis de biotita y el desarrollo de la asociación mineral observada. El problema con esta hipótesis es que un metamorfismo regional debería ser efectivo en toda la zona y en especial en las litologías pizarrosas. Sin embargo, fuera de algunas localidades puntuales (especialmente Urda), no se aprecian efectos importantes de metamorfismo.

2) Un hidrotermalismo asociado a intrusiones ígneas graníticas puede transferir calor, fluidos (H_2O > CO_2) y componentes químicos (Si, K) que favorezcan la blastesis de biotitas en los materiales estudiados: rocas carbonáticas y siliciclásticas. Los magmas graníticos predominan en

todo el cinturón Varisco y, hacia el Este de la zona de estudio (Este de Consuegra), se emplaza el granito biotítico de Madridejos. Su situación parece demasiado alejada de Urda como para causar algún efecto (Bergamín y González Casado, 1986). Tan solo podría llegar a afectar a las rocas carbonáticas en la zona de Consuegra donde se observan recristalizaciones y escasas blastesis. En Urda sería necesario suponer una intrusión granítica local y no aflorante que causaría el metamorfismo observado, elevando la temperatura e introduciendo fluidos hidrotermales.

En general, los fundidos graníticos y sus fluidos hidrotermales derivados son ricos en H_2O con respecto al CO_2, máxime en condiciones de baja presión (King y White, 2003). En comparación, los fluidos producidos a partir de metasedimentos suelen tener mayores cantidades de CO_2, especialmente si parte de las litologías son carbonáticas como el caso estudiado. El rango de XCO_2 estimado a partir de la modelización indica valores de H_2O algo mayores en relación al CO_2 lo que apoyaría una procedencia mixta magmática/metasedimentaria. El incremento de temperatura asociado a la intrusión podría producir deshidratación de los metasedimentos de contacto (corneanas) cuyos fluidos se mezclarían con los magmáticos, pudiendo elevar el contenido en CO_2 de estos.

La composición isotópica $\delta^{18}O$ de los carbonatos estudiada por Menéndez *et al.* (2010) muestra una considerable variabilidad (con rangos de hasta un 6 ‰) lo que apoyaría una procedencia externa y mixta, en parte magmática y en parte metamórfica.

CONCLUSIONES

Las rocas carbonáticas-siliciclásicas de la Fm. Calizas de los Navalucillos en el entorno de la localidad de Urda, presentan texturas no registradas en otras áreas para estos materiales. Son nódulos carbonáticos con numerosos restos de arqueociatos muy bien conservados, en una matriz siliciclástica rica en cuarzo. En los límites de estas litologías diferenciadas hay una importante blastesis de biotitas. Además, también existe un desarrollo de otras fases silicatadas. Los datos de campo, petrográficos y los resultados de la modelización favorecen la hipótesis de una fuente de calor y fluidos localizada y no regional que explicaría este metamorfismo. Podría tratarse de un efecto térmico producido por intrusiones ígneas graníticas más próximas al área de estudio y no aflorantes. Estas, además de aportar calor y fluidos ricos en H_2O, podrían inducir deshidrataciones en sus encajantes sedimentarios que explicarían la fracción de CO_2 de los fluidos calculada en el modelo.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Economía, Competitividad e Industria a través de los proyectos CGL2013-48877-P (IVECGO) y CGL2017-87631-P (ECO-CAM-OR). Agradecemos a Rafael Pablo Lozano (Museo Geominero-IGME) su ayuda para utilizar el equipo de microsonda electrónica de dispersión de longitud de onda de la UCM, así como el microscopio electrónico de barrido del IGME.

REFERENCIAS

Bergamín, J.F. y González Casado, J.M. (1986): Avance de la interpretacion geotectónica del emplazamiento del plutón granítico de Madridejos (Toledo), basada en determinaciones gravimétricas. *Estudios Geológicos,* 42: 301-306.

De Capitani, C. y Petrakakis, K. (2010): The computation of equilibrium assemblage diagrams with Theriak/Domino software. *American Mineralogist,* 95(7): 1006-1016.

Holland, T.J.B. y Powell, R. (1998): An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology,* 16: 309-344.

King, P.L. y White, A.R.J. (2003): Granites, volatile solubility and tracking the formation of magmatic fluids. En: *The Ishihrara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis.* Abstract volume, 85-88.

Menéndez, S., Rodríguez-Martínez, M., Moreno-Eiris, E., Perejón, A. y Reitner, J. (2010): Palaeoenvironmental and geochemical approach of archaeocyath-rich facies from Lower Cambrian of Western Gondwana margin at Central Iberian Zone (Urda, Toledo Mountains, Spain). En: EGU *General Assembly Conference*. Abstracts 12: 9359.

Ramírez Merino, J.I. (2000): *Hoja y Memoria explicativa del Mapa Geológico de España a E. 1: 50.000 nº 712 (Madridejos)*. Segunda Serie MAGNA, Primera edición. ITGE, Madrid, 67 p.

Registro de eventos metasomáticos en los xenolitos peridotíticos del volcán de Los Tormos (Campo de Calatrava, España).

Peridotite xenoliths from the Los Tormos volcano as records of metasomatic events (Calatrava Volcanic Field, Spain).

C. Pérez-Soba[1], C. Villaseca[1,2] y J. García Serrano[1]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid. pesoa@ucm.es, granito@ucm.es, jgserrano@ucm.es
2 Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), c/ Doctor Severo Ochoa, 7, 28040 Madrid.

Resumen: En el volcán de Los Tormos (Campo de Calatrava) se han distinguido dos grupos principales de xenolitos mantélicos en función del análisis modal, presencia de anfíbol y composición química del clinopiroxeno, lo que permite deducir al menos dos sectores del manto ligados a eventos metasomáticos de diferente naturaleza. El grupo más abundante son lherzolitas con espinela, formados por minerales con contenidos altos de Mg, y clinopiroxeno con bajo contenido en elementos traza incompatibles y espectros normalizados relativamente planos, que evidenciaría afinidad con un manto empobrecido tipo MORB, el manto más primitivo del conjunto. Sin embargo, las anomalías negativas en Nb-Ta y enriquecimiento variable en los elementos más incompatibles (Th, U, Pb, tierras raras ligeras) y elementos móviles (Sr, K, Ba) en dichos espectros indicarían la interacción con fluidos metasomáticos derivados de zonas de subducción, que actuarían con distinta intensidad. Las wehrlitas con anfíbol destacan por la riqueza en hierro de sus minerales, así como por la composición del clinopiroxeno, con espectros de elementos traza normalizados enriquecidos en los elementos medianamente incompatibles, todo lo cual sugiere el paso de fundidos metasomáticos de naturaleza silicatada alcalina rica en carbónico. Este mismo metasomatismo afectaría a algunos xenolitos lherzolíticos con espectros similares.

Palabras clave: Xenolitos peridotíticos, metasomatismo, Campo de Calatrava.

Abstract: *In xenoliths from the Los Tormos volcano (Calatrava volcanic field), two main mantle xenolithic groups have been distinguished according to modal analysis, amphibole occurrence and clinopyroxene chemical composition. These features suggest different origins for each xenolith group, evidencing mantle sectors metasomatized by different agents. The spinel-bearing lherzolite xenoliths define the most abundant group, showing high magnesium and low trace-element contents in the rock-forming minerals, with nearly flat clinopyroxene trace element pattern, suggesting affinity to depleted mantle sources (MORB type). The well-pronounced Nb-Ta negative anomaly in these patterns indicates later variable interaction with subduction-related metasomatic agents. The amphibole-bearing wehrlite group shows Fe-rich mineralogy and clinopyroxene normalized trace-element spectra enriched in the most incompatible elements, defining typical metasomatism by carbonate-rich silica under-saturated alkaline melt. The other xenoliths showing similar trace element patterns than hydrous wehrlites are also affected by silica-undersaturated alkaline metasomatism.*

Keywords: *Peridotite xenolith, metasomatism, Calatrava volcanic field.*

INTRODUCCIÓN

El campo volcánico de Calatrava (CVC) comprende alrededor de doscientos centros volcánicos neógenos situados en el centro meridional de España (Ancochea, 1982). Algunos de estos centros volcánicos trajeron a la superficie xenolitos del manto que, en cada uno de los centros estudiados hasta ahora, presentan marcadas diferencias texturales y, principalmente, de composición mineral. Todo ello evidencia una compleja y larga historia de eventos de fusión parcial y metasomatismo que hacen de este sector del manto litosférico subcontinental una zona muy heterogénea (ver referencias en Villaseca *et al.*, 2019). Uno de los volcanes de más reciente estudio es el volcán de Los Tormos (LT) (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real), un cono de escoria formado por piroclastos de caída de composición nefelinita olivínica y que incluyen lapilli de xenolitos mantélicos (Andía *et al.*, 2018). Éstos son pequeños (2-4 cm), fundamentalmente lherzolitas con espinela y en menor proporción wehrlitas con un variable contenido de anfíbol. La composición química de elementos mayores y trazas de las fases minerales de las lherzolitas y wehrlitas, especialmente del clinopiroxeno y del anfíbol, ponen de manifiesto que cada uno de estos tipos litológicos puede subdividirse en otros, sugiriendo procedencias de diferentes sectores del manto. En este estudio pretendemos aproximarnos a los posibles agentes que dieron lugar a esta diversidad petrológica de peridotitas.

PETROGRAFÍA

La composición modal de los 49 xenolitos muestreados en el volcán LT se ha realizado sólo en aquellas láminas delgadas con una superficie representativa de peridotita (>1-2 cm^2). En dicha selección, la mayoría de ellos (n=16) son lherzolitas con espinela (olivino: 40-78 vol%; ortopiroxeno: 10-50 vol%; clinopiroxeno: 6-20 vol%; espinela:1-5 vol%), y sólo tres son wehrlitas (olivino: 63-72 vol.%; clinopiroxeno: 20-35 vol.%; ortopiroxeno: 0-3 vol%; espinela: 0-3 vol%).

Para facilitar la identificación de las muestras con sus litotipos, se antecede al número una L para las lherzolitas, una W para las wehrlitas y Am cuando tienen anfíbol en contenido significativo (>1%). Las lherzolitas presentan una textura protogranular, mientras que las wehrlitas muestran una textura granular alotriomórfica con límites de granos curvilíneos (Fig. 1a). El clinopiroxeno tiende a tener menor tamaño de grano (1-3 mm) entre los granos mayores (2-5 mm) de olivino y ortopiroxeno. Las wehrlitas presentan los bordes de cristales de clinopiroxeno con textura cribosa. La espinela en las lherzolitas es intersticial, mientras que en las wehrlitas sólo aparece en las muestras con anfíbol. En las wehrlitas el anfíbol aparece con contenidos variables (desde <1 hasta un 7 vol%), disperso como pequeñas inclusiones en clinopiroxeno o en cristales de grano medio (a veces formando agregados) englobando un cristal más o menos céntrico de espinela (Fig. 1b). En la lherzolita AmL5607 el anfíbol aparece tanto en parches irregulares formados por vidrio y neoblastos de clinopiroxeno y olivino fundamentalmente (Fig. 1c), como en una doble microinclusión en clinopiroxeno (Fig. 1d).

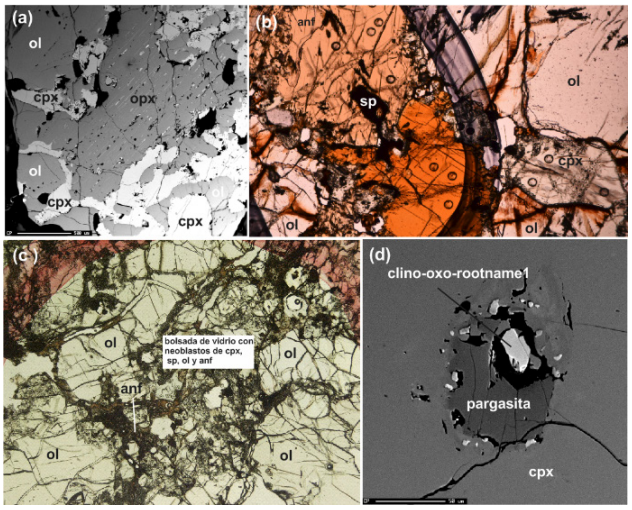


FIGURA 1. Aspectos texturales en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC). a) Textura granular alotriomorfa de bordes curvilíneos entre olivino y clinopiroxeno en wehrlita (AmW6610); b) granos de anfíbol alrededor de espinela (AmW6610); c) bolsada de vidrio con neoblastos, entre los cuales crece el anfíbol (AmL5607); d) doble inclusión de anfíbol en clinopiroxeno con borde criboso.

La mayor parte de los xenolitos presentan minerales con bordes de reacción en contacto con la roca volcánica ultraalcalina, estando más extensamente desarrollados en el ortopiroxeno. Éste puede llegar a estar totalmente transformado a un agregado de neoblastos de clinopiroxeno y olivino. En los bordes del enclave el clinopiroxeno desarrolla un borde de tonalidad más oscura, similar a los desarrollados en la mayor parte de los fenocristales de la nefilinita olivínica. En el olivino es mucho menos frecuente encontrar zonas de reacción.

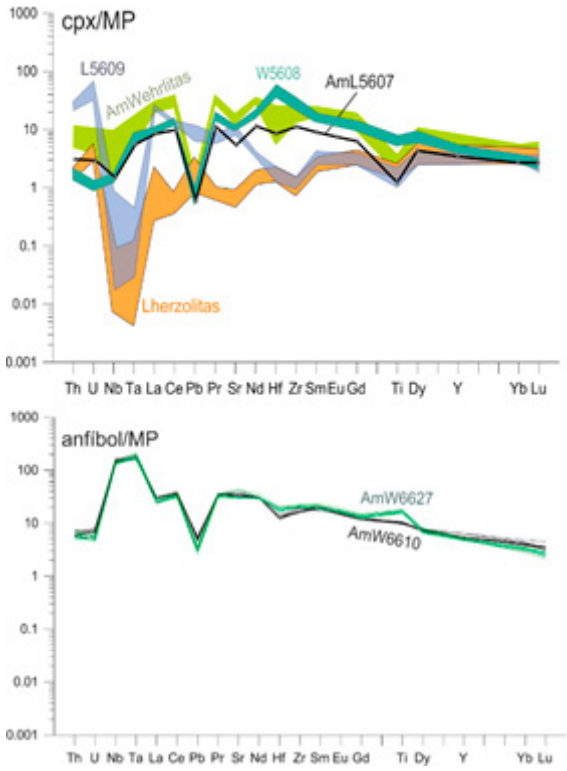


FIGURA 2. Elementos traza normalizados al manto primordial (MP) para el clinopiroxeno (superior) y el anfíbol (inferior) en xenolitos del volcán de Los Tormos (CVC).

COMPOSICIÓN QUÍMICA MINERAL

Los procesos metasomáticos y procesos de fusión parcial en el manto quedan bien reflejados en la composición de elementos traza del clinopiroxeno. Es por ello por lo que este mineral se describe primero, ya que su composición da pautas para agrupar los xenolitos estudiados. En la Figura 2 se incluyen los diagramas de elementos traza del clinopiroxeno normalizados al manto primordial (MP) de los diferentes xenolitos agrupados según pautas similares. El clinopiroxeno de la mayoría de las lherzolitas presenta un espectro relativamente plano (1-10x MP) jalonado por anomalías negativas de Nb y Ta, y menores de Ce, Sr Zr y Ti. Dos xenolitos difieren de este grupo. La muestra L5609 tiene un espectro del Hf al Lu similar al grupo anterior, pero con contenidos más altos en el grupo de los elementos más incompatibles, dando una ligera pendiente negativa. Es la única muestra con anomalía positiva de Sr y ausencia de anomalía en Pb, pero también con fuertes

anomalías negativas de Nb-Ta y menos acusadas de Zr y Ti. El otro grupo principal lo constituyen las wehrlitas y lherzolitas con anfíbol. El clinopiroxeno de las wehrlitas muestra un espectro de elementos traza normalizados que se caracteriza por una forma ligeramente convexa hacia arriba (alcanza los valores más altos en los elementos medianamente incompatibles, del Nd al La), con enriquecimientos moderados en U y Th, anomalía negativa en Nb mucho menor que en el grupo de las lherzolitas (y casi inexistente en Ta) y anomalía negativa en Pb y Ti. Dentro de este grupo entraría el xenolito AmL5607 por su clinopiroxeno con un espectro subparalelo al del grupo de las wehrlitas con anfíbol, pero con contenidos algo menores. El clinopiroxeno del xenolito wehrlítico con anfíbol accesorio (W5608) muestra pautas intermedias entre el de las wehrlitas con anfíbol y el de la muestra AmL5607, pero se diferencia en que no hay enriquecimiento en U y Th, tiene una marcada anomalía positiva de Hf y no tienen anomalía de Ti.

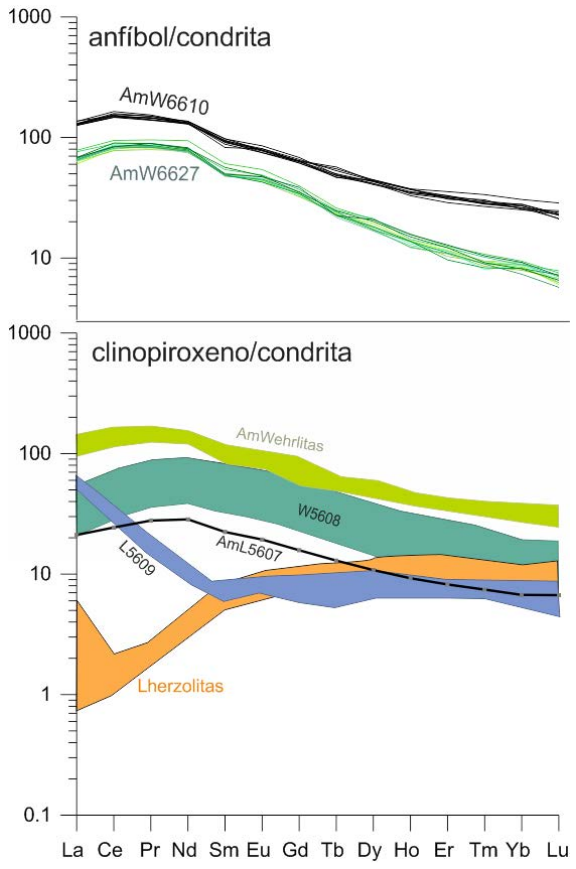


FIGURA 3. Diagramas de contenidos de tierras raras normalizados al condrito para el clinopiroxeno (inferior) y anfíbol (superior) en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC).

El diagrama de tierras raras normalizado al condrito del clinopiroxeno de estos xenolitos define estos mismos grupos, incidiendo en la pendiente negativa de las tierras raras ligeras en la muestra L5609, a diferencia del resto de las lherzolitas (Fig. 3). El clinopiroxeno de las lherzolitas es dominantemente diópsido, mientras que en las wehrlitas con anfíbol es de tipo augita y en las wehrlitas sin anfíbol es diópsido en una de ellas (W5608) y augita en la otra (W6615). El contenido en FeO_{total} de los clinopiroxenos aumenta desde las lherzolitas y wehrlitas con anfíbol a la lherzolita con trazas de anfíbol AmL5607, alcanzado contenidos considerablemente mayores en las wehrlitas sin anfíbol (Fig. 4). El olivino y ortopiroxeno muestran valores más altos en FeO en aquellas muestras donde el clinopiroxeno también lo tiene (Fig. 4). Sin embargo, mientras que en el olivino el contenido en MgO y FeO muestra una buena correlación negativa, en ambos piroxenos el FeO no está correlacionado con la variación de MgO.

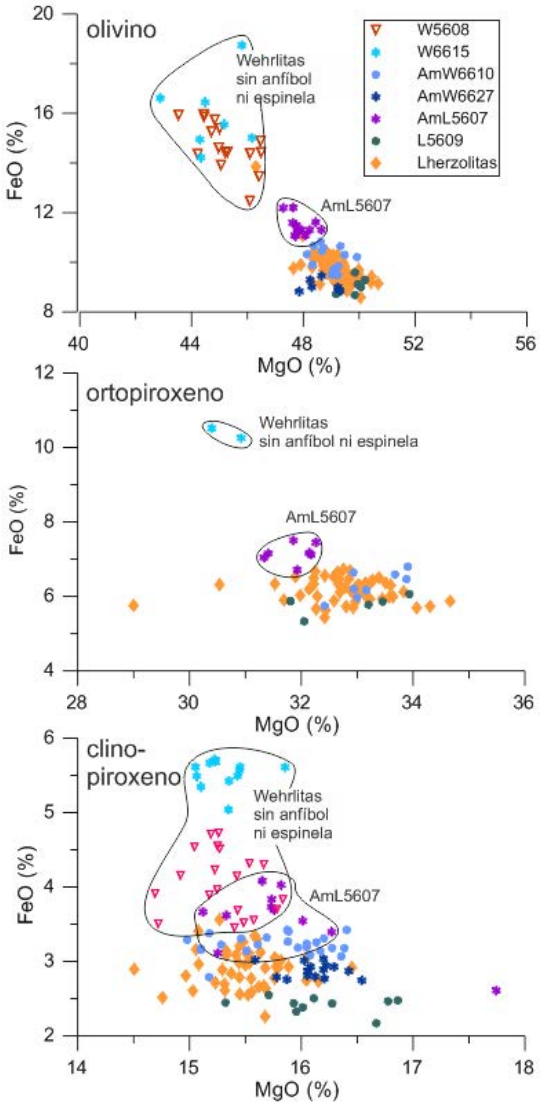


FIGURA 4. Diagramas MgO vs. FeOtotal (% en peso) para el olivino (superior), ortopiroxeno (medio) y clinopiroxeno (inferior) en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC).

El anfíbol de las wehrlitas muestra una composición de pargasita rica en titanio, que evoluciona hacia magnesio-hastingsita rica en titanio en los bordes de los crista-

les zonados. La inclusión doble de anfíbol en el clinopiroxeno de AmL5607 muestra contenidos mayores en SiO_2 y MgO, y contenidos traza en Na_2O y TiO_2. El anfíbol más interno es *clino-oxo-rootname1* (un anfíbol magnésico cálcico con sodio, intermedio entre antofilita y gedrita) y el que lo incluye es pargasita (Fig. 1d). El anfíbol en las bolsadas con vidrio es kaersutita. Sólo se han podido realizar análisis de elementos traza por LA-ICP-MS en los anfíboles de las dos wehrlitas por su mayor tamaño, obteniéndose en los diagramas de elementos traza normalizados al MP espectros similares. Éstos definen una pauta con ligera pendiente negativa, con valores bajos de U y Th, anomalía positiva en el par Nb-Ta, negativa en Pb, y anomalías significativas y variables en Hf (negativa) y Ti (positiva). El espectro de tierras raras normalizado al condrito (Fig. 3) del anfíbol define pautas ligeramente distintas, siendo similares las pautas del anfíbol y clinopiroxeno de la muestra AmW6610, mientras que el anfíbol de la muestra AmW6627 se asemeja más por contenidos al clinopiroxeno de la muestra W5608 (con trazas de anfíbol), aunque con un espectro más fraccionado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El metasomatismo en el manto es el resultado de la interacción con fluidos/fundidos de naturaleza carbonatada, silicatada o de mezclas de ambos. En el CVC ya se ha descrito metasomatismo alcalino más o menos carbonatado, así como de fundidos/fluidos subalcalinos de subducción (p.e., Villaseca *et al.*, 2010 y 2019). Los xenolitos muestreados del volcán de LT también evidencian estas interacciones: i) presencia de anfíbol (metasomatismo modal); ii) variedad en las composiciones del clinopiroxeno, pero también del olivino y ortopiroxeno (metasomatismo críptico); y iii) variaciones en las composiciones modales desde lherzolita a wehrlita, por destrucción del ortopiroxeno y olivino. Las marcadas diferencias entre los xenolitos sugieren que son varios agentes metasomáticos los que afectaron al manto muestreado por este volcán. La variación composicional del clinopiroxeno según los parámetros Ti/Eu y Zr/Hf permite adscribir el metasomatismo a los posibles agentes que pueden actuar en el manto (p.e., Coltorti *et al.*, 1999; Uenver-Thiele *et al.*, 2017). La proyección en este diagrama de la composición del clinopiroxeno de los xenolitos del volcán LT distingue claramente dos grupos (Fig. 5). Los xenolitos de lherzolitas con espinela y wehrlitas con anfíbol accesorio (W5608 y W6615) quedan inscritos en el área de metasomatismo por fluido/fundido silicatado. Los valores menores de Ti/Eu con incrementos en Zr/Hf son indicativos de mezcla con agente silicatado rico en carbónico (magmas ultraalcalinos), definiendo dicha pauta los xenolitos con anfíbol (AmL5607, AmW6610 y AmW6627).

En el contexto del CVC el metasomatismo silicatado puede provenir principalmente de dos escenarios: i) de carácter alcalino, a veces con tendencia carbónica, generados por fusión parcial del manto en sectores de intraplaca continental; ii) silíceos derivados de zonas de subducción. Las pautas descritas anteriormente pueden ligarse a cada uno de estos fundidos con ciertas variaciones. Las lherzolitas sin anfíbol representarían las composiciones inicialmente más primitivas del conjunto, con minerales ricos en magnesio y clinopiroxeno con contenidos bajos de elementos traza incompatibles y espectros de tierras raras normalizados relativamente planos y con ligera pendiente positiva, similar al manto empobrecido (tipo MORB). Pero los enriquecimientos en los elementos más incompatibles (especialmente la lherzolita L5609), que acentúan la anomalía negativa en el par Nb-Ta, sugieren que este manto más primitivo se vio afectado por un metasomatismo derivado de zonas de subducción. El clinopiroxeno de las wehrlitas con anfíbol (AmL6610 y 6627) y de la lherzolita AmL5607 define espectros con influencia de fundidos/fluidos alcalinos ricos en carbónico, tanto por los espectros normalizados arqueados en los elementos traza medianamente incompatibles, como en una considerablemente menor anomalía Nb-Ta y mayor de Pb. Las wehrlitas con anfíbol accesorio (W5608 y W6615) definen un metasomatismo alcalino de marcado carácter máfico, con una anomalía positiva de Hf distintiva del resto..

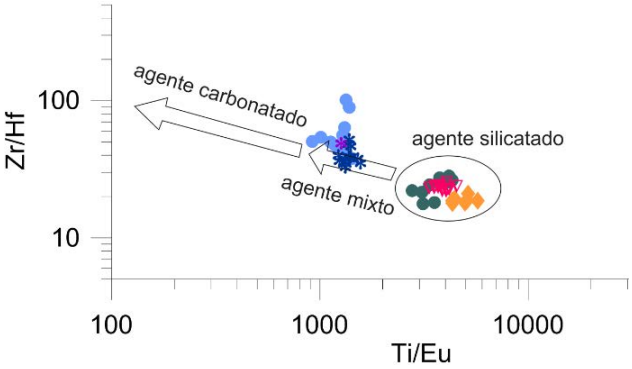


FIGURA 5. Diagrama Ti/Eu vs. Zr/Hf del clinopiroxeno en xenolitos del volcán de LT (CVC). Las flechas marcan la naturaleza del agente metasomático (modificado de Uenver-Thiele *et al.*, 2017). Los símbolos igual que en la Fig. 4.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se incluye dentro de los objetivos del proyecto CGL2016-78796 del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y del grupo UCM 9104492.

REFERENCIAS

Ancochea, E. (1982): *Evolución especial y temporal del volcanismo reciente de España Central* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid: 675 p.

Andía, J., Villaseca, C., y Pérez-Soba, C. (2018): Mineralogical characterization of peridotite xenoliths from the Los Tormos volcano (Calatrava volcanic field). *Geogaceta*, 63: 99–102.

Coltorti, M., Bonadiman, C., Hinton, R. W., Siena, F. y Upton, B. G. J. (1999): Carbonatite metasomatism of the oceanic upper mantle: Evidence from clinopyroxenes and glasses in ultramafic xenoliths of Grande Comore, Indian Ocean. *Journal of Petrology*, 40: 133–165.

Uenver-Thiele, L., Woodland, A.B., Seitz, H.-M., Downes, H., y Altherr, R. (2017): Metasomatic processes revealed by trace element and redox signatures of the lithospheric mantle beneath the Massif Central, France. *Journal of Petrology*, 58: 395–422.

Villaseca, C., Ancochea, E., Orejana, D. y Jeffries, T.E. (2010): Composition and evolution of the lithospheric mantle in central Spain: inferences from peridotite xenoliths from the Cenozoic Calatrava volcanic field. En: *Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle* (M. Coltorti, H. Downes, M. Grégoire y S.Y. O'Reilly, eds.). Geological Society, London, Special Publications, 337: 125-151.

Villaseca, C., Belousova, E., Barfod, D. y González-Jiménez, J.M. (2019): Dating metasomatic events in the lithospheric mantle beneath the Calatrava volcanic field (central Spain). *Lithosphere*, 11: 192–208.

Caracterización petrológica y geoquímica de dos diques basálticos y una colada volcánica del macizo del Cap de Creus (Pirineos orientales).

Petrological and geochemical characterization of two basaltic dikes and one basaltic lava flow in Cap de Creus massif (Eastern Pyrenees).

L. Poll[1], G. Alías[1] y M. Aulinas[1]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. laurapollbarrera@gmail.com; galias@ub.edu; meritxellaulinas@ub.edu

Palabras clave: diques basálticos, colada de lava, magmatismo, Neógeno-Cuaternario, Cap de Creus.

Resumen

El presente trabajo expone un estudio de dos diques basálticos no identificados hasta ahora (Serra de la Pau y Punta del Podaire, Port de la Selva) y una colada de lava (Puig Ferral, Cadaqués) localizados en el macizo de Cap de Creus (NE de España). En dicho estudio se determinan las formas de emplazamiento, las relaciones espaciales y temporales con el material encajante, la composición química y mineralógica, y la posible relación con el magmatismo cretácico alcalino o con el volcanismo neógeno de Catalunya. Los diques son subverticales con un espesor de 1-15 m y unas orientaciones NO-SE y NE-SO. En cambio, la colada de lava es subhorizontal y tiene una extensión de 50 x 75 m. Todas las muestras estudiadas presentan una textura porfídica, vesicular, con matriz afanítica formada por microlitos de plagioclasa que describen una textura microlítica/traquítica. La asociación mineral incluye básicamente olivinos, clinopiroxenos, y plagioclasas que se observan tanto en forma de fenocristales como microcristales en la matriz. La composición química (elementos mayoritarios y trazas) de las muestras estudiadas indica que se tratan de basaltos alcalinos y basanitas asociadas a un contexto de intraplaca. La comparación química y mineralógica de los diques y la colada de lava estudiada con los lamprófidos alcalinos de edad cretácica que afloran en el NE de Catalunya indican que, si bien existe una afinidad geoquímica, la mineralogía que presentan unos y otros es distinta. En cambio, existe una buena correlación composicional y mineralógica con el magmatismo neógeno de la Zona Volcánica de l'Empordà.

Abstract

This paper presents a study of two basaltic dikes not identified previously (Serra de la Pau and Punta del Podaire, Port de la Selva) and a lava flow (Puig Ferral, Cadaqués) located in the Cap de Creus massif (NE Spain). In this study, the forms of emplacement, the spatial and temporal relations with the host rocks, the chemical and mineralogical composition, and the possible relationship with the alkaline Cretaceous magmatism or with the Neogene volcanism of Catalonia are determined. The dikes are subvertical with a thickness of 1-15 m and NW-SE and NE-SW trending. In contrast, lava flow is subhorizontal and has an extension of 50 x 75 m. All the studied samples have a porphyric, vesicular texture, with an aphanitic groundmass formed by plagioclase microlites that describes a microlitic/trachytic texture. The mineral association includes olivines, clinopyroxenes and plagioclases that are observed both as phenocrysts and microcrysts in the groundmass. The chemical composition (major and trace elements) of the studied samples indicates that they are alkaline basalts and basanites associated with an intraplate magmatic context. The chemical and mineralogical comparison of studied dykes and lava flow with the alkaline lamprophyres of Cretaceous age that crops out in the NE of Catalonia points out that, although there is a geochemical affinity, the mineralogy is different. On the other hand, there is a good compositional and mineralogical correlation with the Neogene magmatism of the Volcanic Zone of l´Empordà.

Técnica simplificada para la determinación de $^{87}Sr/^{86}Sr$ en calizas mediante MC-ICP-MS.

Simplified technique for $^{87}Sr/^{86}Sr$ measurement in limestones by MC-ICP-MS.

B. Puente-Berdasco[1], D. Ballesteros[2], A. Painchault[3], C. Nehme[2], D. Mouralis[2] y J.I. García-Alonso[1]

1 Dpto. de Química Física y Analítica, Universidad de Oviedo 33006 Oviedo. puentebeatriz@uniovi.es, jiga@uniovi.es
2 UMR 6266 IDEES, Université of Rouen-Normandie/CNRS, Mont Saint-Aignan CEDEX,France. daniel.ballesteros@univ-rouen.fr, carole.nehme@univ-rouen.fr, damasemouralis@univ-rouen.fr
3 Laboratoire du GRHIS EA 3831, UFR des Lettres et Sciences Humaines, Université de Rouen-Normandie, Mont-Saint-Aignan Cedex, France. aude.painchault0@univ-rouen.fr

Palabras clave. Isótopos, Estroncio, Calizas, Espectrometría de Masas.

Resumen

Se propone un método simplificado para la determinación de la relación isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr$ en presencia de una matriz rica en Rb y Ca. Esta metodología está basada en la separación en línea de los distintos componentes mediante cromatografía de líquidos de intercambio catiónico acoplada a la detección mediante Espectrometría de Masas. Bajo estas condiciones el Ca, Sr y Rb eluyen secuencialmente obteniendo un cromatograma por debajo de los 20 minutos. Posteriormente, se aplica regresión lineal múltiple al pico de Sr para el procesado de los datos.

Esta técnica ha sido empleada para correlacionar cretas del Cretácico Superior (calizas cocolíticas) procedentes de monumentos medievales y canteras. Las relaciones isotópicas de estroncio determinadas en estas calizas (55% CaO, 400-550 ppm Sr and 1-2 ppm Rb) concuerdan con los valores de las relaciones isotópicas $^{87}Sr/^{86}Sr$ de la curva propuesta por McArthur et al. (2012) y con los análisis estratigráficos, petrográficos y geoquímicos.

Abstract

A simplified methodology is proposed for the $^{87}Sr/^{86}Sr$ isotope ratio measurements in presence of Rb and a Ca-rich matrix composition. The method is based on an on-line cation exchange chromatography separation coupled to Mass Spectrometry detection. Under this conditions Ca, Sr and Rb elute sequentially obtaining a chromatogram in under 20 minutes. Multiple linear regression is applied to the Sr peak for data processing.

This technique was employed to correlate Upper Cretaceous chalk (coccolithic limestone) from French medieval monuments and from quarries. Strontium isotopes ratios in this limestone (55% CaO, 400-550 ppm Sr and 1-2 ppm Rb) tie in with the $^{87}Sr/^{86}Sr$ marine curve proposed by McArthur et al. (2012), stratigraphic, petrographic and geochemical analysis.

Referencias

McArthur, J.M., Howarth R.J. y Shields G.A. (2012). En: *The geologic time scale* (Gredstein FM, Ogg J.G., Schmotz M.D. y Ogg G.M, Eds.). Elsevier, Vol 1, 1144 p.

Geoquímica, petrología y geocronología de rocas plutónicas Carboníferas del Macizo de Évora (Zona de Ossa-Morena, Portugal). Un caso de repetido reciclaje cortical e influencia mantélica.

Geochemistry, petrology and geochronology of Carboniferous plutonic rocks of the Évora Massif (Ossa-Morena Zone, Ossa-Morena Zone, Portugal). A case of repeated crustal recycling and mantle input.

C. Rodríguez[1,2,3], M.F. Pereira[2], A. Castro[4] y C. Fernández[3]

1 Institute of Earth Sciences Jaume Almera, ICTJA, CSIC, c/ Solé i Sabarís s/n 08028 Barcelona, Spain. c2r2dealmodovar@gmail.com
2 Departamento de Geociências, ECT, Instituto Ciências da Terra, Universidade de Évora, Portugal. mpereira@uevora.pt
3 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva 21007 Huelva. fcarlos@uhu.es
4 Instituto de Geociencias (IGEO), CSIC-UCM, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain. acastro@csic.es

Palabras clave: magmatismo Varisco, datación U-Pb en zircón, sanukitoides, enclaves, subducción.

Resumen

Los afloramientos de Alto São Bento (Macizo de Évora, Zona de Ossa-Morena, Portugal) ofrecen una posibilidad única de estudiar los distintos tipos de magmas y su relación genética en el contexto del cinturón Varisco. Las facies principales de rocas plutónicas son láminas de granito de 2 micas y granito porfirítico que incluyen enclaves foliados de sanukitoides y monzogranitos. Muestras representativas de cada litología han sido estudiadas, geoquímica y petrológicamente, y datadas estableciendo una sucesión de eventos magmáticos: 335 ± 3 Ma para los enclaves monzograníticos, 328 ± 3 Ma para los enclaves de sanukitoides, y 316 ± 8 Ma para el granito porfirítico que engloba los enclaves.

La correlación de las nuevas edades permiten mejorar la escala temporal de la evolución tectono-térmica Carbonífera del Macizo de Évora. El primer y segundo evento magmático son contemporáneos con la deformación D_2 dúctil extensional, mientras que el tercer evento magmático puede evidenciar el paso de la deformación extensional D_2 a deformación contraccional D_3. El reconocimiento de estos sanukitoides es clave para entender la génesis de los magmas calcoalcalinos en el contexto de una zona subducción.

Abstract

The Alto São Bento outcrops (Évora Massif, Ossa-Morena Zone, Portugal) offer a possibility to study diverse types of magma and their genetic relations regarding the evolution of the Variscan belt. The main types of plutonic rocks are layers of two-mica granites and porphyritic granites including foliated enclaves of sanukitoids and monzogranites. Representative samples of each lithology have been geochemically and petrologically studied, and have been dated establishing a succession of magmatic events: 335 ± 3 Ma for the monzogranitic enclaves, 328 ± 3 Ma for the enclave of sanukitoids, and 316 ± 8 Ma for the porphyritic granite hosting the enclaves. The correlation of new ages is useful to improve the timing of the Carboniferous tectono-thermal evolution of the Évora Massif. The first and second magmatic events are coetaneous with the ductile extensional deformation D_2, whereas the third magmatic event occurred along the transition from the extensional deformation D_2 to contractional deformation D_3. The finding of sanukitoids is a key factor to better understanding the calc-alkaline magma genesis in subduction zones and the implication of mantle sources in the magmatism of the region.

Correlación isotópica (Sm-Nd) entre las series Ediacáricas de Iberia y Bohemia.

Sm-Nd-Isotope correlation of Iberian and Bohemian Ediacaran series.

E. Rojo-Pérez[1], J.M. Fuenlabrada[2], U. Linnemann[3], R. Arenas[1], S. Sánchez Martínez[1], R. Díez Fernández[4], L.M. Martín Parra[5], J. Matas[5], P. Andonaegui[1] y J. Fernández-Suárez[1]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Univ. Complutense. 28040 Madrid, España. e.rojo@ucm.es, rarenas@ucm.es, s.sanchez@geo.ucm.es, andonaeg@ucm.es, jfsuarez@ucm.es
2 Unidad de Geocronología (CAI de Ciencias de la Tierra y Arqueometría), Universidad Complutense. 28040 Madrid, España. jmfuenla@ucm.es
3 Senckenberg Naturhistorische Sammlungen, Museum für Mineralogie und Geologie, 01109 Dresden, Germany. ulf.linnemann@senckenberg.de
4 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España. rudiez@ucm.es
5 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, Madrid, España. lm.martin@igme.es, j.matas@telefonica.net

Palabras clave: Ediacaran Series, Sm-Nd isotope sources, Iberian-Bohemian correlation.

Resumen

En el basamento Cadomiense de Europa afloran secuencias metasedimentarias que abarcan desde el Ediacárico terminal al comienzo de Cámbrico. En el SO del Macizo Ibérico (Complejo de Ossa-Morena), este basamento está constituido por la Serie Negra, que se subdivide en las formaciones Montemolín (c. 600 Ma) y Tentudía (c. 565 Ma). El ambiente tectónico inferido a partir del estudio de la geoquímica de estas formaciones sugiere una sedimentación en una cuenca de back-arc o fore-arc, en relación con un margen activo. La composición isotópica Sm-Nd de estas formaciones presenta unos valores de εNd comprendidos entre -6.9 y -11.5 y unos valores de T_{DM} variables entre 1.6 y 1.9 Ga. Estos resultados son comparables con los encontrados en secuencias sedimentarias análogas del basamento Cadomiense en el Norte del Macizo de Bohemia (Zona Saxo-Turíngica). Los datos de T_{DM} de las series comparadas abarcan desde los 1.5 a los 1.9 Ga, y los valores de εNd oscilan entre -7 y -11. Unas fuentes isotópicas tan similares en ambos dominios sugieren sedimentación en una (gran) cuenca peri-Gondwánica compartida, con aportes siliciclásticos procedentes de un área fuente cortical antigua, localizada muy probablemente en el interior del Cratón del Oeste de África.

Abstract

The European Cadomian basement is characterized by the occurrence of large exposures of metasedimentary rock sequences with Late Ediacaran to Early Cambrian depositional ages. In the SW Iberian Massif this Cadomian basement is represented by the Serie Negra in the Ossa-Morena Complex. The Serie Negra is composed by two formations, which from older to younger are the Montemolín Formation (c.600 Ma) and the Tentudía Formation (c. 565 Ma). The tectonic setting inferred from the geochemical features of these two Ediacaran formations suggests that sedimentation took place in a peri-arc environment (either a back-arc or a fore-arc basin), related to an active margin. The isotopic (Sm-Nd) results obtained for the metasedimentary rocks of the Serie Negra display a rather narrow range of εNd values comprised between -6.9 and -11.5, with TDM values ranging from 1.6 to 1.9 Ga. These results are comparable to those obtained for equivalent Ediacaran sedimentary series of the Cadomian basement in the North Bohemian Massif (Saxo-Thuringian Zone), which have T_{DM} model ages ranging from 1.5 to 1.9 Ga, and εNd values ranging from -7 to -11. This very similar Sm-Nd isotopic signature between both realms suggests a deposition within a (large) shared peri-Gondwanan basin, filled with siliciclastic supplies derived from an old crustal source, likely located in the proximity of the West Africa Craton, with no apparent significant change in the source area until at least Early Cambrian times.

Early Paleozoic rifting in the Ossa Morena Complex (SW Iberian Massif): geochemistry and geochronology of a pre-Variscan event in the Sierra Albarrana Domain and La Cardenchosa Pluton.

Rift Paleozoico temprano en el Complejo de Ossa Morena (SO del Macizo Ibérico): geoquímica y geocronología de un evento pre-Varisco en el Dominio de Sierra Albarrana y el Plutón de La Cardenchosa.

B. Solís-Alulima[1], A. López-Carmona[2] y J. Abati[3]

1 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid 28040, Madrid. bysolis@ucm.es
2 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca 37008 Salamanca. alioli@usal.es
3 Dpto. de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid 28040, Madrid. abati@ucm.es

Abstract: *Recognition of preorogenic geological features in the internal zones of polyorogenic areas, like the Sierra Albarrana Domain and La Cardenchosa Pluton, is difficult. New SHRIMP ages indicate that the main tectonomagmatic event recorded in these areas occurred between Late Cambrian (granite emplacement; 481±2 Ma) and Lower Ordovician (migmatization; 478±2 Ma). These ages also suggest that the intrusion of the igneous body is closely related with the low-pressure partial melting and the deformation of the structurally lower detrital formations. Geochemical data show that the granite from La Cardenchosa Pluton is peraluminous with a slight tendency towards an alkaline geochemical character, and a within-plate setting for the magmatism. Sr-Nd isotope data indicate an igneous origin with a strong upper crustal component, compatible with an extensional environment in the middle-upper crustal levels that marked the early stages of a continental rift development. These data are in agreement with the magmatism reported in other zones from the Iberian Peninsula, and are compatible with the latest magmatic event of the Early Paleozoic rifting. Our results, together with the main regional fabrics, suggest that the granitic magmatism and the migmatization are part of a single event, only slightly modified by Variscan reworking.*

Keywords: *Pre-Variscan event, Paleozoic rifting, Ossa-Morena Complex.*

Resumen: Reconocer los rasgos geológicos preorogénicos en las zonas internas de áreas poliorogénicas, como el Dominio de Sierra Albarrana y el Plutón de la Cardenchosa, es complejo. Nuevas edades U-Pb confirman que el principal evento tectonomagmático registrado en esta zona ocurrió entre el Cámbrico tardío (emplazamiento del granito; 481±2 Ma) y el Ordovícico inferior (migmatización; 478±2 Ma). También sugieren que existe relación entre la intrusión del cuerpo ígneo, la fusión parcial y la deformación a baja presión de las migmatitas de las formaciones detríticas estructuralmente inferiores. El granito de La Cardenchosa es peralumínico con tendencia alcalina y afinidad de intraplaca. Los datos isotópicos Sr-Nd indican un origen ígneo con una fuerte componente de la corteza superior, en un ambiente geodinámico compatible con un entorno extensional en los niveles corticales medios y superiores, que marcaron los momentos iniciales del desarrollo de un rift continental. Estos datos coinciden con el magmatismo descrito en otras zonas de la Península Ibérica y son compatibles con el último evento magmático del rifting Paleozoico. Nuestros resultados, junto con las principales fábricas regionales, sugieren que el magmatismo granítico y la migmatización son parte de un único evento, solo ligeramente modificado por la orogenia Varisca.

Palabras claves: Evento pre-Varisco, rift Paleozoico, Complejo de Ossa-Morena.

INTRODUCTION

Metamorphism, magmatism and the intense deformation that characterise the internal zones of collisional orogens produce important transformations in the rocks, hindering the recognition of the pre-orogenic history. Specific zones of the Ossa-Morena Complex (OMC; Iberian Massif; e.g. Díez Fernández et al., 2016) preserved many pre-Variscan igneous intrusions revealing a complex magmatic evolution, marked by the so called Early Paleozoic rifting (535–460 Ma), which includes a late Cambrian-Early Ordovician magmatic event (490-460 Ma; e.g. Sánchez-García et al., 2019; and references therein).

In this study, we use geochemical and isotopic data of migmatitic and granitic rocks, field relationships and new U-Pb SHRIMP ages to expand the existing information (Azor et al., 2012; 2016) and bear out that the Sierra Albarrana Domain is a polyorogenic terrane.

GEOLOGICAL SETTING

This study focuses in the Sierra Albarrana Domain (SAD) and the intrusive body of La Cardenchosa Pluton (LCP). Both are located in the Ossa-Morena Complex (OMC). The Sierra Albarrana is a mountainous alignment representing an elongated thermal dome with an NW-SE directed anticlinorium; it is dominated by metasediments (Insúa et al., 1990) that can be divided in: (i) Sierra Albarrana Group, made up of platformal metapelites and quartzites, and (ii) the Azuaga Formation, formed by turbidite deposits (López-Guijarro et al., 2008) and whose metamorphic grade decreases rapidly upwards. LCP intrudes the SAD and is an NNW-SSE elongated sigmoidal body of more than 10 Km long following the regional structural trend. It has two main granitic facies: (i) very coarse-grained and porphyritic in the centre and (ii) albitized leucogranite towards the margin of the body. Magmatic crystallization age is 478–480 Ma (Azor et al., 2016).

ANALYTICAL RESULTS

Whole rock geochemistry

Chemical analyses of whole-rock major, minor and trace elements were carried out at ACTLABS Laboratory (Canada).

For the major elements, the coarse-grained granites facies of LCP show high K_2O contents (> 5.0 wt %) and moderate Na_2O (2.16–4.28 wt %). The albitized leucogranite show remarkable lower K_2O content (< 1.0 wt %). Migmatites from the SAD show high K_2O (> 3.0 wt %) and moderate Na_2O (2.69–3.28 wt %) contents. According to the classification diagrams of Frost et al. (2001), the granites are ferroan, alkali-calcic to alkalic (Fig. 1) and peraluminous. The albitized leucogranite is magnesian, calcic and also peraluminous. Migmatites are plotted in the magnesian, alkali-calcic and peraluminous fields. Chemical analyses from Garrote and Sánchez Carretero (1979) and Insúa et al. (1990) have been included in the diagrams to compare with ours results.

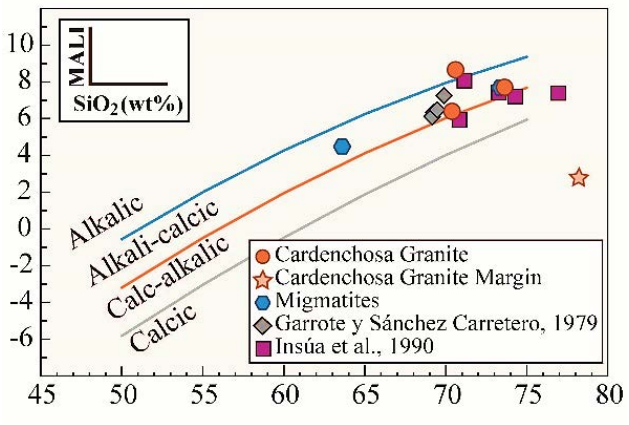


FIGURA 1. MALI vs. SiO_2 wt.% (Frost et al., 2001) *modified alkali-lime index = (Na_2O+K_2O-CaO).*

In the tectonic setting discrimination diagrams for granitic rocks (Pearce et al., 1984) for trace elements, the samples from the central part of LCP are drawn consistently in the Within-Plate Granites field (WPG). However, the samples from the western margin are very close to the boundary between WPG and Syn-Collisional or Volcanic-Arc Granites.

Chondrite-normalized rare earth element (REE) diagrams (McDonough and Sun, 1995; Fig. 2) show an enrichment in LREE and a planar trend for the coarse-grained facies. HREE keeps a decreasing trend from the centre to the border of the pluton, with slightly fractionated patterns [$(La/Lu)_n$]. The fractionation is higher in LREE [$(La/Sm)_n$] than in HREE [$(Gd/Lu)_n$]. Regarding Eu anomalies, two samples of the porphyritic granite show a similar pattern and moderate negative values with a similar Eu/Eu relation (~0.33), suggesting a feldspar fractionation in the source. A sample, taken near the border, has an intriguing negative Eu anomaly with an Eu/Eu* value of 0.23, a little lower than that for samples from the central zone of the pluton. The albitized leucogranite has a marked positive anomaly and a high Eu/Eu* value (8.54). REE contents dramatically decreases from the central zone of the intrusion (ΣREE = 226.35–386.81) to the margin (44.35), the lowest value (5.88) is reached in the border.*

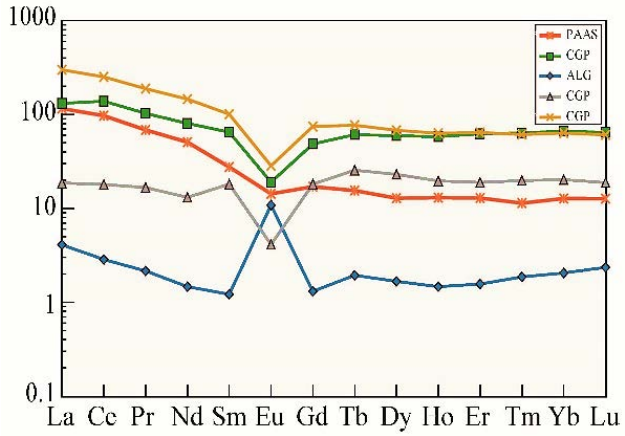


FIGURA 2. Chondrite normalize REE diagram for granites. Normalization values of McDonough and Sun (1995). CGP: coarse-grained porphyritic; ALG: Albitized leucogranite (PAAS=Post Archaen Australian Shale).

Sr-Nd Isotopic Signatures

Sr and Nd isotope analyses were performed at the Geochronology and Isotope Geochemistry Service of the Complutense University of Madrid, using Thermal Ionization Mass Spectrometry (TIMS). The reference age for the calculation of the εNd and $^{87}Sr/^{86}Sr$ values is 487 Ma.

LCP have a similar isotopic composition for $^{87}Sr/^{86}Sr$ and plot in the continent crust field (Fig. 3). Nd isotopic compositions are negative for all samples and range between -2.9 and -6.4. Leucosomes from the SAD have a very similar isotopic composition for $^{87}Sr/^{86}Sr$ and plot in the continent crust field (Fig. 3). Nd isotopic compositions are negative and between -8.5 and -10.3.

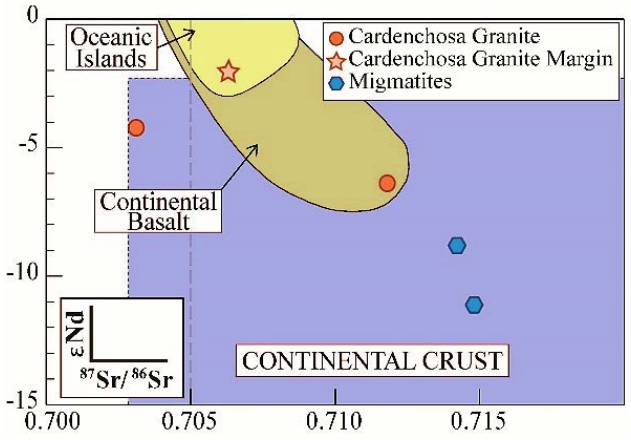


FIGURA 3. εNd vs. $^{87}Sr/^{86}Sr$ diagrama.

U-Pb Geochronology

The analyses were performed at the IBERSIMS Laboratory (University of Granada), equipped with a sensitive high-resolution ion microprobe (SHRIMP). Each selected spot is rastered with the primary beam for 120 s prior to the analysis, and then analysed 6 scans. The primary beam, composed of $^{16}O^{16}O^-$, is set to an intensity of about 5 nA, with a 120 microns Kohler aperture, which generates 17 x 20 µm elliptical spots on the target. The secondary beam exit slit was fixed at 80 microns.

Fourteen zircons from LCP (60-170 µm) are idiomorphic crystals with characteristic textures of magmatic zircons from acid igneous rocks. They provide concordant analyses yielding a robust age of 481 ± 2 Ma (MSWD = 0.59), interpreted as the age of magmatic crystallization. Zircon crystals from the migmatitic leucosomes (Cabril-Peña Grajera Sequence) have frequent homogeneous overgrowths (< 30 µm) with low Th/U ratios (0.00 to 0.07), suggesting metamorphic recrystallization. Ten concordant analyses gave an age of 478 ± 2 Ma (MSWD = 0.15), that is interpreted as the age of migmatization.

CONCLUSIONS AND DISCUSSION

LCP is a peraluminous granite with a tendency to an alkaline geochemical character. The tectonic discrimination diagrams point to a within-plate setting for the magmatism. The Sr and Nd data indicate an igneous origin with a strong upper crustal component. The most compatible geodynamic setting is an extensional environment in the middle-upper crustal levels, marking the initial stages of a continental rift development.

Considering a possible correlation between the SAD and the autochthonous Central Iberian Zone (Díez Fernández et al., 2016), the magmatism in both domains has been compared. However, the geochemical characteristics of the subalkaline rift-related rocks of the OMC and the Central Iberian Zone partly overlap in the discrimination diagrams (Fig. 4; Sánchez-García et al., 2019). Hence, it is no possible to discriminate between them and favour a correlation only based on the magmatic geochemical affinities.

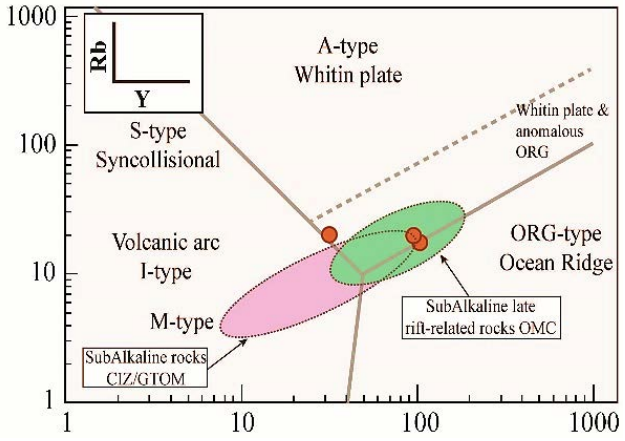


FIGURA 4. Nb vs. Y (Pearce et al. 1984) including a comparison with late rift-related granites in the OMC, Central Iberian Zone (CIZ) and Galicia–Tras-os-Montes (GTOM). (modified from Sánchez-García et al., 2019).

The new U-Pb SHRIMP data presented in this study for LCP emplacement, 481 ± 2 Ma, confirm the previous ages from Azor et al. 2016, and gives a more robust framework for the interpretation of the tectono-metamorphic evolution of the SAD. The metamorphic ages obtained in the migmatitic gneisses of the lower sequences of the SAD are slightly younger than the granite emplacement, although both can be considered similar ages within error (478 ± 2 Ma; Fig. 5), and are in agreement with those obtained by Azor et al. (2012).

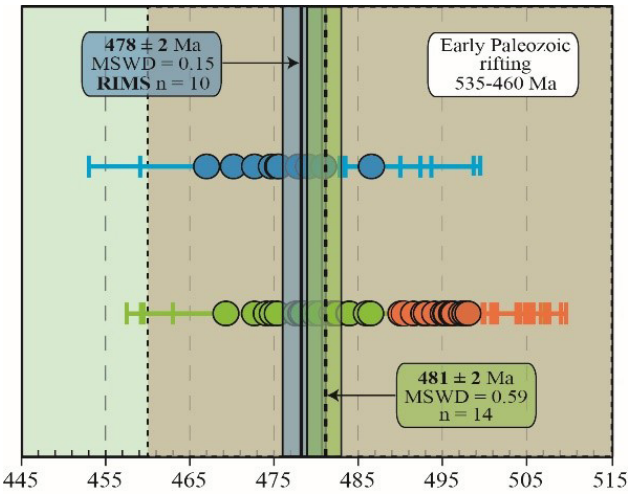


FIGURA 5. Comparison of ages (Ma) in the SAD.

Our interpretations are based on the new data, combined with the following field observations: (i) the preserved contacts of the granite with the wall-rocks indicate cross-cutting relations with the regional metamorphic fabric, (ii) the external contact aureole developed in the west and

south contacts of the pluton produce a recrystallization of the metamorphic minerals that define the regional foliation and (iii) the metamorphic grade decreases dramatically upwards in the sequence, but maintains the structural pattern of the regional foliation suggesting a common origin for the high- and medium- to low-grade regional foliation. We propose that the regional metamorphic fabrics of the SAD are pre-Uppermost Cambrian and, accordingly, the granitic magmatism, the migmatization and the main regional fabrics are part of a single Cambrian-Ordovician event only slightly modified by Variscan reworking.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by project CGL2016-76438-P. Solís-Alulima is funded by the predoctoral contract CT17/17-CT18/17 (UCM-Santander) and López-Carmona by the project 14.Y26.31.0012 (Russian Federation), the postdoctoral contracts CT39/17 (UCM) and POS-DOC2018_USAL02 (USAL).

REFERENCES

Azor, A., Simancas, J., Martínez Potayos, D., Montero, P., González Lodeiro, F. y Pérez-Cáceres, I. (2016): U-Pb zircon age and tectonic meaning of the Cardenchosa pluton (Ossa-Morena Zone). En: *IX Congreso Geológico de España. Geo-Temas*, 16: 23-26.

Azor, A., Simancas, J. F., Martínez Poyatos, D. J., Montero, P., Bea, F., González Lodeiro, F. y Gabites, J. (2012): Nuevos datos geocronológicos sobre la evolución tectonometamórfica de la Unidad de Sierra Albarrana (Zona de Ossa-Morena, SO de Iberia). En: *VIII Congreso Geológico de España. Geo-Temas*, 13: 341-344.

Díez Fernández, R., Arenas, R., Pereira, M., Sánchez-Martínez, S., Albert, R., Martín Parra, L., Rubio Pascual, F. y Matas, J. (2016): Tectonic evolution of Variscan Iberia: Gondwana–Laurussia collision revisited. *Earth-Science Reviews*, 162: 269-292.

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. y Frost, C.D. (2001): A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.

Garrote, A. y Sánchez-Carretero, R. (1979): Granitos postcinemáticos de tendencia alcalina en Ossa Morena: el stock de La Cardenchosa (prov. de Córdoba). *Acta Geológica Hispánica*, 14: 90-96.

Insúa, M., Carvajal, A. y Huerta, J. (1990): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 900 (La Cardechosa).* IGME, Madrid.

López-Guijarro, R., Armendáriz, M., Quesada, C., Fernández-Suárez, J., Murphy, J., Pin, C. y Bellido, F. (2008): Ediacaran-Paleozoic tectonic evolution of the Ossa Morena and Central Iberian zones (SW Iberia) as revealed by Sm-Nd isotope systematics. *Tectonophysics*, 461: 201-214.

McDonough, W. y Sun, S. (1995): The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.

Pearce, J., Harris, N.B.W. y Tindle, A.G. (1984): Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956-983.

Sánchez-García, T., Chichorro, M., Solá, A., Álvaro, J., Díez-Montes, A., Bellido, F., Ribeiro, M., Quesada, C., Lopes, J., Dias da Silva, Í., González-Clavijo, E., Gómez Barreiro, J. y López-Carmona, A. (2019): The Cambrian-Early Ordovician Rift Stage in the Gondwanan Units of the Iberian Massif. En: *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach* (C. Quesada y J. Oliveira, eds.), Regional Geology Reviews, 27-73.

Geoquímica y comunidades microbianas en los salares de Pajonales y de Gorbea (Chile): Influencia en la formación de microbialitos de yeso.

Geochemistry and microbial communities in Salar de Pajonales and Salar de Gorbea, Northern Chile: Influence on the gypsum microbialites formation.

C. Tebes-Cayo[1,2], C. Demergasso[2], G. Chong[1], O. Cabestrero[2], E. Sanz-Montero[3], E. Castro-Nallar[4], N. Cabrol[5]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ingeniería y Geología, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile, ctebes@ucn.cl, gchong@ucn.cl
2 Centro de Biotecnología Alberto Ruíz, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile, cdemerga@ucn.cl, oscar.cabestrero@ucn.cl
3 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Cs Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, España, mesanz@geo.ucm.es
4 Centro de Bioinformáticas y Biología integral (CBIB), Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile, eduardo.castro@unab.cl
5 Carl Sagan Center, SETI, NASA, USA, nathalie.A.Cabrol@nasa.gov

Resumen: Pajonales y Gorbea son dos salares andinos de Chile, compuestos mayoritariamente de yeso, y poseen lagunas de un amplio rango de salinidades, índices de saturación (IS) de yeso y pH. Hay varios estudios que han abordado la geología de los salares de forma general, pero la geoquímica, petrografía y mineralogía de estos depósitos salinos han sido poco estudiado. El objetivo es comparar la información geoquímica de las aguas de las lagunas subsaturadas y sobresaturadas de yeso de ambos salares para identificar correlaciones entre la mineralogía de las comunidades microbianas y la hidroquímica que permitan desvelar el origen del yeso.

En Pajonales, el yeso precipita: en lagunas subsaturadas con pH (7,4-8,1), salinidad (1,9-4,8 %) y predominancia de *α-Proteobacteria* (64%) en tapices microbianos. De otra manera, en Gorbea no se reconoce una relación significativa entre la precipitación de yeso, pH (1,8 a 4,5), salinidad (0,6-15 %) y predominancia de α+γ-*Proteobacteria* (90%). Cabe destacar que en aguas sobresaturadas se observó que los microbialitos de yeso están colonizados por fotótrofos en Pajonales (*Cianobacterias*) y en Gorbea (Diatomeas). Estos resultados sugieren que las comunidades de α-Proteobacteria en aguas subsaturadas y de fotótrofos en aguas sobresaturadas pueden jugar un papel en la precipitación de yeso.

Palabras clave: yeso, microbialitos, microorganismos, salares.

Abstract: *Pajonales and Gorbea are two Andean salt flats in Chile, composed mainly of gypsum, and have lagoons with a wide range of salinities, gypsum saturation indices (SI), and pH. There are several studies that have addressed the geology of the salt flats in a general way, but the geochemistry, petrography and mineralogy of these salt deposits have been little studied. The objective is to compare geochemical information of the waters of the undersaturated and oversaturated gypsum lagoons of both salt flats to identify correlations between the mineralogy of the microbial communities and the hydrochemistry that allows to reveal the origin of the gypsum.*

In Pajonales, gypsum precipitates: in subsaturated lagoons with pH (7.4-8.1), salinity (1.9-4.8%) and a predominance of α-Proteobacteria (64%) in microbial mats. Otherwise, in Gorbea a significant relationship between gypsum precipitation, pH (1.8 to 4.5), salinity (0.6-15%) and predominance of α + γ-Proteobacteria (90%) is not recognized. It should be noted that in supersaturated waters, gypsum microbialites are colonized by phototrophs in Pajonales (Cyanobacteria) and Gorbea (diatoms). These results suggested that α-Proteobacteria communities in subsaturated waters and phototrophs in supersaturated waters may play a role in gypsum precipitation.

Keywords: *gypsum, microbialites, microorganisms, salt flats.*

INTRODUCCIÓN

Debido a las características geológicas, climáticas, paleoclimáticas y geomorfológicas, el norte de Chile ha sido definido como un "dominio salino" (Chong *et al.*, 2020) que incluye más de 100 cuencas endorreicas con salares y lagos salinos (Risacher *et al.*, 1999). En la zona sudeste de la región de Antofagasta y próximos a la región de Atacama, el salar de Pajonales (Rodríguez, 2018) y el Salar de Gorbea (Córtez, 2014; Escudero *et al.*, 2018; Benison, 2019) localizados a 3517 msnm y 3950 msnm, respectivamente, son depósitos evaporíticos principalmente compuestos de yeso.

El yeso frecuentemente precipita en sistemas evaporíticos por procesos fisicoquímicos y procesos geobiológicos, que aún siguen siendo desconocidos. En muchos casos forman estromatolitos (Allwood *et al.*, 2013). De hecho, la precipitación de yeso se observó en la pared celular de una cianobacteria del género *Synechococcus* aislada de una laguna subsaturada de yeso. Esto sugiere que la nucleación de yeso podría ocurrir alrededor de las paredes celulares de ciertos microorganismos, cuando los iones sulfato provenientes del agua subsaturada se unen al calcio que está en la pared de dichas células.

Recientemente, seis estados de evolución de estromatolitos de yeso han sido observados en estos salares y otros ambientes hipersalinos andinos (Ercilla, 2019). Este autor describió la formación de yeso en tapices microbianos, pero sin describir la geoquímica de las lagunas. Ambos salares poseen diversas lagunas con y sin precipitados de yeso evidentes. La comparación de datos geoquímicos de este estudio y los datos de Risacher *et al.* (1999) evidencian que las lagunas de Pajonales tienen una química constante con un rango de pH de 6,6 a 8,3, de salinidad de 2 a 26% p/p de NaCl, y de conductividad de 15,5 a 241,7 mS/cm. Por el contrario, Gorbea ha variado en el tiempo y posee lagunas en un amplio rango de pH de 1 a 5,5, de salinidad de 0,3 a 15% p/p NaCl y de conductividad de 3,9 a 314 mS/cm.

Estos dos salares son lugares propicios para discriminar si la precipitación de yeso es producida por actividad microbiana o por procesos abióticos. Para ello, se ha realizado un estudio multidisciplinar.

METODOLOGÍA

Para entender el origen biótico y/o abiótico del yeso se han llevado a cabo mediciones del agua del salar de forma sistemática desde 2016. Primeramente, se realizó un mapa geológico del salar mostrando la localización de las lagunas subsaturadas y sobresaturadas de yeso. También se han analizado parámetros fisicoquímicos, como la salinidad usando un refractómetro específico de NaCl y la composición iónica. Los índices de saturación y la simulación de la evolución de evaporación fueron calculados usando la base de datos Pitzer en el programa PHREEQC. Además, las estructuras de yeso con tapetes microbianos, fueron caracterizadas por composición mineralógica mediante difracción de rayos X (DRX), macro-estructuras y texturas mediante láminas delgadas), micro-estructuras por microscopia de luz, de fluorescencia, confocal y electrónica de barrido (SEM) y predominancia microbiana del gen ARNr 16S.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los salares estudiados son modelos geoquímicos dinámicos en los que no resulta fácil poder explicar la precipitación de yeso bajo condiciones subsaturadas. Sin embargo, la participación de comunidades microbianas podría justificar dicha mineralización por las interacciones con microbios en su ambiente sedimentario natural.

Hidroquímica y modelización

En ambos salares las concentraciones de iones varían desde una laguna subsaturada a una sobresaturada en yeso. Las lagunas sobresaturadas se encuentran en el centro del salar y las subsaturadas en los bordes. Comparadas con los demás iones, la precipitación de yeso depende del ion calcio en Gorbea y del ion sulfato en Pajonales. Los diagramas de Piper-Hill-Langelier clasifican las aguas de Pajonales y Gorbea con una tendencia de Cl^{-}-Na^{+}-Ca^{+2}-SO_4^{-2} y de Cl^{-}-Na^{+2}-Mg^{+2}-SO_4^{-2}-Ca^{+2}, respectivamente.

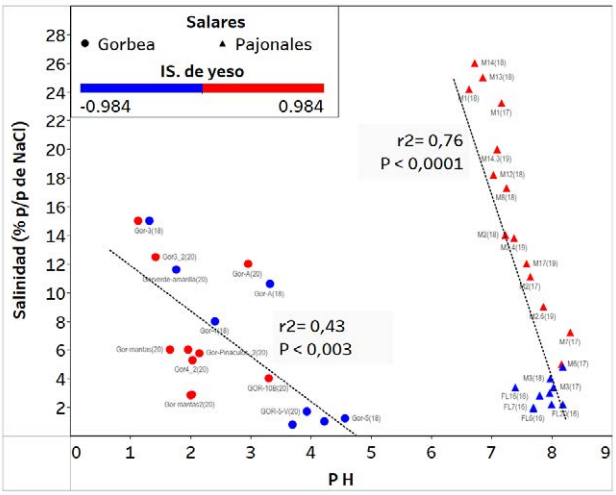


FIGURA 1. Salinidad vs pH de las muestras de las lagunas subsaturadas (azul) y sobresaturadas (rojo) de los Salares de Gorbea y Pajonales.

En las lagunas de Pajonales, la relación salinidad vs pH (Fig. 1), indica que estos parámetros tiene una relación inversa de r^2=0,76. Las lagunas saturadas (Fig. 1) presentan microbialitos de yeso bien formadas y tienen rango de pH entre 6,6 y 8,3 y alta salinidad de 5 a 26 % de NaCl. De otra manera, en las lagunas subsaturadas se observan tapetes microbianos con precipitados de yeso incipientes desarrollados a valores de pH entre 7,4 y 8,1 y baja salinidad de 1,9 a 4,8 % de NaCl. Por otro lado, la relación pH *vs* salinidad para las lagunas de Gorbea tienen una baja correlación (r^2=0,43) ya que, si bien, se observa una pequeña ventana con tapetes microbianos y yeso microscópico en lagunas subsaturadas de yeso que tienen un pH de 3,7 a 4,6 y una salinidad de 0,8 a 1,7 % de NaCl, existen además una yuxtaposición de aguas sub y sobresaturadas de yeso en valores de pH más bajo y salinidad mayores.

En Pajonales, el yeso está significantemente sobresaturado en lagunas centrales con salinidades desde 5 hasta 26 % con respecto a las lagunas subsaturadas de 1,9 a 4,8 % de salinidad (Tabla I. PAJ). Ambos tipos de salmueras contienen tapetes microbianos en los que crecen cristales de yeso (Fig. 2.1). En cambio, en Gorbea el yeso presenta valores de índice de saturación cercano a 0 a pH 1 (Tabla I. GOR), lo cual ha sido confirmado por DRX y además se ha observado micro-cristales de yeso en tapetes microbianos mediante SEM (Fig. 2.2).

Mineralogía y Petrología

En Pajonales, las lagunas subsaturadas muestran una mineralogía compuesta por: sulfatos (yeso, basanita, epsomita) > subordinados de feldespatos y filosilicatos >cloruros (halita y silvita) >azufre (Tabla I). En cambio, la formación de microbialitos de yeso subacuáticas se encuentra en las lagunas más profundas y centrales del salar con pH bajos y salinidades altas. Mediante láminas delgadas, se observan dos partes: la parte inferior de las microbialitos poseen forma dómica y muestra una laminación interna en la que se reconocen esferulitos de yeso, que a su vez, son incluidos por cristales de yeso más grandes, dispuestos en forma de agregados radiales (Fig. 3.1). En la parte superior de las estructuras, los cristales de yeso se encuentran corroídos y recubiertos por tapetes microbianos de espesor milimétrico con cristales de yeso embebidos por la matriz orgánica.

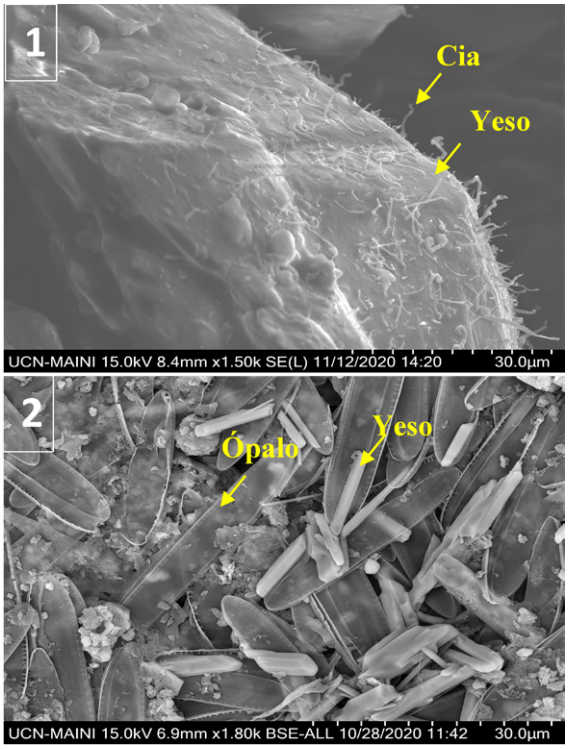


FIGURA 2. Microfotografías de precipitados de yeso dentro de los tapices microbianos observados mediante microscopía electrónica de barrido. 1. Pajonales. 2. Gorbea. Abreviaturas: cia = cianobacterias.

En Gorbea, los minerales que forman las estructuras sumergidas en aguas subsaturadas contienen sulfatos (yeso) > subordinados de feldespatos > carbonatos (calcita y aragonito), filosilicatos y boratos (Tabla I). Los cristales de yeso encontrados en lagunas sobresaturadas son maclados y muestran marcas de disolución (Fig. 3.2).

Microbiología

En Pajonales, el filo *α-Proteobacteria* es el más predominante en lagunas de menor salinidad. Estas son bacterias autotróficas anaeróbicas/aeróbicas capaces de oxidar compuestos de azufre (Escudero *et al.*, 2018). Por el contrario, lagunas con mayor salinidad presentan una mayor abundancia de *Bacteroidetes* que han sido descritos como el filo más abundante de ambientes acuáticos-salinos en el norte de Chile y son degradadores de compuestos de carbono de alto peso molecular (Demergasso *et al.*, 2004). Específicamente, los microbialitos de yeso de lagunas sobresaturadas de este mineral están colonizados principalmente de microorganismos fotosintéticos del género *Dactylococcopsis*. Este género realiza la fotosíntesis en presencia de azufre (0,1 g/L) en condiciones anaeróbicas, donde su eficiencia es inferior al 4% de la tasa aeróbica. Típicamente, este filo se encuentra en agua de mar (3,5% de NaCl) y en sedimentos marinos (Walsby *et al.*, 1983).

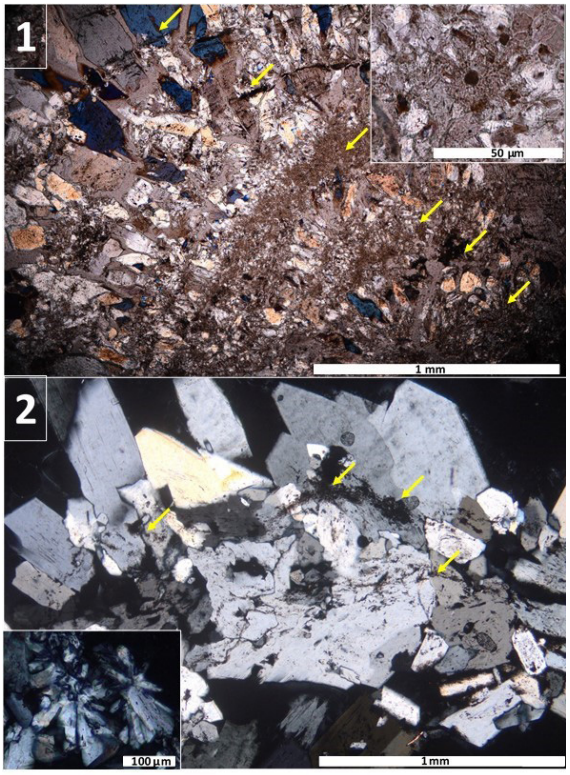


FIGURA 3. Microfotografías de yeso tomadas con nicoles cruzados. 1. En Pajonales se observa la estructura laminar (flechas amarillas) y agregados radiales de cristales de yeso. 2. Macrocristales de yeso de Gorbea con marcas de disolución.

En Gorbea, las lagunas sub- y sobre-saturadas de yeso tienen microorganismos dominantes de la familia de *Sphingomonadales, Rhodobacterales, Rhizobiales*, que serían los potenciales mixotróficos metabolizadores de azufre. Estos resultados coinciden en un 70% con los microorganismos publicados por Escudero *et al.* (2018). Además, los depósitos de yeso mostraron una mayor abundancia de productores primarios como: microalgas (que podrían ser *Dunaliella* y *Nitzschia* reportados anteriormente por Benison, 2019) y microorganismos capaces de fijar carbono como *α-Proteobacteria* de la familia *Rhizobiales, Rickettsiales* y *Sphingomonadales*.

Los resultados preliminares de la observación de las estructuras de yeso en las lagunas muestran que la salinidad,

		Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Sal.	pH	C.E.	Fases sobresatu_radas	P.M. en lagunas	P.M. en estructuras sumergidas	Minerales que forman las estructuras sumergidas
PAJONALES	*Sobrersat.*	27,3-198,7	0,5-2,9	2,7-25	1,6-11,7	14-100,2	0,4-5,1	5-26	6,6-8,3	84-241	Yeso, anhidrita, dolomita, calcita, halita, aragonito, magnesita y cuarzo	*Psychroflexus* (75%), *Dactylococcopsis* (10%) y otros (15%)	*Dactylococcopsis* (80%) *Psychroflexus* (20%)	Yeso (60-90%), halita (0-30%), epsomite y feldespato (5-10%) y basanita, aragonito, mirabilita, calcita, calcita magnésica, kieserita, thenardita, sílice y azufre (0-5%).
	Subsat.	6,7-25,4	0,5-1,6	0,1-2	0,3-1,2	3,5-13,1-	0,2-0,8	1,9-4,8	7,4-8,1	15-86	Aragonito, calcita, dolomita, y magnesita.	*Roseovarius* (38%), *Pontivivens* (16%), *Sphingomonadaceae* (8%), y otros (40%)	*Filomicrobium* (25%), *Roseovarius* (25%), *Truepera* (10%), *Chroococcidiopsacea* (5%) y otros (35%)	Yeso (5-85%), feldespato (5-70%), basanita (5-65 %), filosilicato (0-20%), epsomite y sílice (5-10%), y calcita, anhidrita, halita, silvita y azufre (0-5%).
GORBEA	*Sobrersat.*	14,5-57,8	5,4-49,5	0,6-1,3	0,7-10,7	7,2-27,3	0,6-2,4	2,8-15	1,1-3,3	37-132	Yeso y anhidrita.	*Protobacteria* no clasificadas (90%), grupo de *Sphingobacteria* (5%) y *Acidobacteria* (5%)	Secuencias de Cloroplasto (90%) y *Reckettsiales* (10%)	Yeso (60-90%), epsomite (5-20%), boratos y feldespato (5-10%), halita (0-10%) y glauberita, silica, alunita, blodita,silvita, bischofita, thenardita, mirabilita, aragonito y calcita (0-5%).
	Subsat.	1,5-109,1	0,4-12	0,2-0,7	12-10,7	0,9-46,2	0,06-3,9	0,8-1,7	3,7-4,6	3-120	-	*Protobacteria* no clasificadas (90%) y *Acidobacteria* (10%)	*α-Proteobacteria* no clasificadas (90%) y cloroplastos (10%)	Yeso (15-80%), feldespato (5-55%) y basanita, anhidrita, sílice, filosilicatos, calcita, aragonito y boratos (0-5%),

TABLA I. Comparación de concentraciones iónicas (g/L), salinidad (% p/p), pH, conductividad eléctrica (C.E., mS/cm), mineralogía (rango en %) y predominancia de microorganismos (abreviado como P.M.) en lagunas con sub y sobresaturadas de yeso y en estructuras de yeso sumergidas para ambos salares. Nota: la proporciones de HCO_3^- /CO_3^{2-} en lagunas sub y sobre saturadas son de 0,7 en Pajonales y de 0 en Gorbea.

en vez del pH, es un determinante para las interacciones entre el mineral y los microorganismos fototróficos y mixótrofos observándose estas estructuras en lagunas subsaturadas de yeso. Por ejemplo: 90% de secuencias para *Dactyloccocopsis* en Pajonales y otro 90% para microalgas en Gorbea fueron encontradas en cristales de yeso de microbialitos sumergidos.

CONCLUSIONES

Este estudio preliminar muestra que en lagunas de baja salinidad, y comúnmente subsaturadas, precipitan yeso en asociación con tapices microbianos. Esto sugiere que los microorganismos generan microambientes propicios para la saturación del yeso.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Proyecto Donaciones Minera Escondida Ltda. (32002137) y la Beca Doctorado-ANID de Cinthya Tebes (21181422). Se agradece el apoyo en la confección de láminas delgadas de Marían Barajas Lopéz, geóloga del dpto. Mineralogía y Petrología de la Universidad Complutense de Madrid.

REFERENCIAS

Allwood, A., Burch, I., Rouchy, J. y Coleman, M. (2013): Morphological biosignatures in Gypsum Diverse formation processes of Messinian gypsum stromatolites. *Astrobiology*, 9: 870-886.

Benison, K. (2019): The physical and chemical sedimentology of two high-altitude acid salars in Chile. *Journal of Sediment Research*, 89: 147-167.

Chong, G., Demergasso C., Urrutia, J. y Vargas, M. (2020): El Dominio Salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72: 1-59.

Córtez, P. (2014): *Caracterización geológica de los salares Gorbea y su asociación con su microbiota.* Memoria Geología, Univ. Católica del Norte, 201 p.

Demergasso, C., Chong, G., Galleguillos, P., Escudero, L., Martínez M. y Esteve I. (2004): Microbial mats from Llamara Salt flat, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76: 485-499.

Ercilla, O. (2019): Origen and evolution of gypsum stromatolites in salars of the Andes highlands, northern Chile. *Andean Geology*, 46: 211-222.

Escudero L., Oetiker N., Gallardo K., Tebes-Cayo, C., Guajardo, M., Nuñez, C., Davis-Belmar, C., Pueyo, J.J., Chong, G. y Demergasso, C. (2018): A thiotrophic microbial community in an acidic brine lake in Northern Chile. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 111: 1403-1419.

Risacher, F., Alanso, H. y Salazar, C. (1999): *Geoquímica de las aguas en cuencas cerradas I, II y III regiones-Chile*. Convenio de cooperación DGA-UCN-IRD 3, 285-295.

Rodríguez, C. (2018): *Geología del Salar Pajonales y antecedentes de su microbiota, Antofagasta, Chile*. Memoria Geología, Univ. Católica del Norte, 104 p.

Walsby, A.E., Rijn, J. y Cohen, Y. (1983): The biology of a new gas-vacuolate *cyanobacterium*, *Dactylococcopsis* salina, in Solar Lake. *Proceedings of the Royal Society of London*, 217: 417-444.

Metodología y aplicación de los analizadores portátiles de XRF en la caracterización geoquímica de rocas, suelos y sedimentos.

Methodology and application of portable XRF analyzers in the geochemical characterization of rocks, sediments and soils.

M. Vilà[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038, Barcelona. miquel.vila@icgc.cat

Palabras clave: pXRF, gequímica de rocas, geoquímica de sedimentos, geoquímica de suelos, elementos traza.

Resumen

Los analizadores portátiles de fluorescencia de rayos X (pXRF) permiten determinar un gran número de concentraciones de elementos a un coste relativamente bajo, y se utilizan para la caracterización geoquímica de una gran diversidad de materiales geológicos como rocas, sedimentos y suelos, especialmente en minería y medioambiente. Sin embargo, debido a la falta de información disponible sobre los procedimientos de trabajo con los analizadores pXRF y su calibración, las composiciones geoquímicas que se obtienen y la comparación de estas con otras composiciones se cuestionan con frecuencia (p.ej. Fisher *et al.*, 2014). En este trabajo presentamos una metodología para la caracterización geoquímica mediante pXRF de un espectro composicional muy amplio de muestras de rocas, sedimentos y suelos. Las calibraciones del pXRF nos permiten determinar las composiciones geoquímicas absolutas de un gran número de elementos mayoritarios y traza (Al, As, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Si, Se, Sr, Th, Ti, U, W, Y, Zn, Zr) comparables a las que se determinan mediante técnicas de laboratorio estándar. La metodología se ha aplicado de forma satisfactoria para abordar la composición geoquímica de muestras representativas de las rocas sedimentarias paleógenas de la cuenca del Ebro, los sedimentos holocenos del delta del Ebro y los suelos urbanos del Ensanche de Barcelona.

Abstract

Portable X-ray fluorescence (pXRF) analyzers allow to collect large amounts of elements concentrations rapidly at relatively low cost, and are used for the geochemical characterization of a great diversity of geological materials such as rocks, sediments and soils, especially in mining and environmental applications. However, due to the lack information available about the working procedures with the pXRF analyzers and their calibration, the geochemical compositions that are obtained and the comparison of these with other compositions are frequently questioned (e.g. Fisher et al., 2014). In this work a methodology for geochemical characterization by means of pXRF of a broad compositional spectrum of rock, sediment and soil samples is presented. The calibrations of the pXRF allow to determine absolute geochemical compositions of a large number of major and trace elements (Al, As, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Si, Se, Sr, Th, Ti, U, W, Y, Zn, Zr) comparable to those determined by standard laboratory techniques. The methodology has been applied successfully to address the geochemical composition of representative samples of the Paleogene sedimentary rocks of the Ebro foreland basin, the Holocene sediments of the Ebro Delta and the urban soils of the Eixample district of Barcelona city.

Referencias

Fisher, L., Gazley, M.F., Baensch, A., Barnes, S.J., Cleverley J. y Duclaux, G. (2014). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 14(2), 149-159.

Origen y edad del complejo ultramáfico-máfico Tampanchi (Ecuador).

Origin and age of the Tampanchi ultramafic-mafic complex (Ecuador).

F. Villares-Jibaja[1,2], I.F. Blanco-Quintero[3], A. García-Casco[1,4], P. Reyes[2], C. Lázaro[1] y J.A. Proenza[5]

1 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Univ. de Granada, España. fabianvillares@correo.ugr.es, agcasco@ugr.es, clazaro@ugr.es
2 Dpto. de Geología, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. fabian.villares@epn.edu.ec, pedro.reyes@epn.edu.ec
3 Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, España. if.blanco@ua.es
4 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, UGR-CSIC, Granada, España.
5 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona (UB), España. japroenza@ub.edu

Palabras clave: Tampanchi, Alaskan-type, mafic intrusion, cumulate.

Resumen

El Complejo Ultramáfico-Máfico Tampanchi, localizado en la Cordillera Real (Ecuador), es un cuerpo con forma ovalada (~6 x 3 km) intrusivo en rocas metavolcánicas y metavolcano-sedimentarias de edad Jurásico-Cretácico (Litherland *et al.*, 1994). Las principales litologías en el complejo son: werhlita, piroxenita hornbléndica con olivino, hornblendita, gabro hornbléndico, anortosita con hornblenda, y leucogranito. Estas litologías no se distribuyen de forma concéntrica a gran escala, siendo los contactos transicionales o intrusivos. El piroxeno y olivino muestran una textura cumulática, y las texturas del anfíbol en la hornbledita y piroxenita apuntan a un proceso de reacción-reemplazamiento a partir del piroxeno. La composición mineral, geoquímica de roca total e isótopos de Rb-Sr y Sm-Nd indican un ambiente de arco con características similares a una intrusión tipo Alaska. Las estimaciones basadas en los datos de composición mineral sugieren un magma parental basáltico hidratado, emplazado en niveles intermedios a superficiales de la corteza (~3.5 kbar) y con fugacidad de oxígeno sobre el tampón NNO que indica cristalización a partir de un magma relativamente oxidado. Dataciones U-Pb SHRIMP en circones indican una edad de cristalización de ca. 75 Ma, lo que confirma la actividad de arco magmático en la Cordillera Real durante el Cretácico Tardío, previo a la acreción del plateau oceánico del Caribe.

Abstract

The Tampanchi Ultramafic-Mafic Complex, located in the Cordillera Real (Ecuador), is an oval-shaped intrusive body (6 km x 3 km) intruded within a metavolcanic and metavolcano-sedimentary sequence of Jurassic-Cretaceous age (Litherland et al., 1994). The main lithologies are wehrlite, olivine hornblende clinopyroxenite, hornblendite, hornblende gabbro, hornblende-bearing anorthosite, and leucogranite. These lithologies do not distribute in a concentric pattern and their contact relations are gradational and intrusive. Olivine and pyroxene show cumulate texture, while textural relations of amphibole in hornblendite and pyroxenite suggest reaction-replacement of pyroxene. Mineral composition, whole-rock geochemistry, and Rb-Sr and Sm-Nd isotopic data point to arc-related magmatism with similar characteristics to Alaskan-type complex. Estimations based on mineral composition suggest a hydrated basaltic parental magma emplaced at intermediate to shallow crustal levels (~3.5 kbar), and with an oxygen fugacity above the NNO buffer indicating crystallization from a relatively oxidized magma. U-Pb SHRIMP zircon age data constrain crystallization at ca. 75 Ma. These results confirm magmatic arc activity in the Cordillera Real during the Late Cretaceous, prior to the accretion of the Caribbean oceanic plateau.

Referencias

Litherland, M., Aspden, J., Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Overseas Memoir of the British Geological Survey, (Nottingham, England), 11, 147 p.

Mitigación del peligro de desprendimientos en terrenos volcánicos mediante análisis estadístico. El caso de Gran Canaria.

Geomechanical Rockfall hazard mitigation on infrastructures in volcanic slopes using statistical back-analysis. The case study of Gran Canaria.

M. Antón Bayona[1], M. J. Rodríguez-Peces[1], J. Yepes Temiño[2]

1 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid. martinjr@ucm.es
2 Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017, Las Palmas. jorge.yepes@ulpgc.es

Palabras clave: Laderas, Desprendimientos, Distancia de parada, Cunetas, Islas Canarias.

Resumen

Los desprendimientos en carreteras son un peligro para los usuarios y se invierten muchos recursos en su mantenimiento y protección. En laderas volcánicas, el riesgo de inestabilidad es alto por las escarpadas pendientes. Este trabajo determina la influencia de las propiedades geomecánicas que afectan al desprendimiento y la efectividad de los criterios de diseño de cunetas, mediante un retroanálisis en 11 cuencas torrenciales con diferente configuración de pendiente, 4 tipos de materiales y 4 combinaciones de tamaño y forma de bloque. El análisis muestra una correlación entre la distancia de parada del bloque y su densidad, dureza, redondez y tamaño. Sin embargo, la distribución de la acumulación de bloques difiere con la dureza de la roca. Además, se proponen mapas con el porcentaje de acumulación de bloques que ofrecen un índice de peligrosidad asociado al diseño de las carreteras existentes. Este índice permite validar la idoneidad de las cunetas existentes y mejorar las medidas de defensa no estructural con reducido impacto ambiental y coste en territorios volcánicos insulares.

Abstract

Rockfalls on transport infrastructures are a serious hazard to users and many resources are invested in rock slope maintenance, stabilization, and protective measures. In volcanic territories, the risk of rock instabilities and rockfalls is very high due to the rugged natural slopes and origin of rock masses. With the aim of determining the influence of the geometric and material-related properties affecting rockfall motion and the effectiveness of catchment area design criteria, this preliminary study has been carried out in Gran Canaria and applies a back-analysis considering 11 torrential basins with a different slope configurations, 4 types of materials and 4 size and shape combinations of falling rocks. A statistical analysis of the rock stop-distances was performed. Results show that density, hardness, roundness and size are material properties directly correlated with the rockfall stop-distance. However, block accumulation distribution differs with the rock hardness. Furthermore, a practical maps with a block accumulation percentage are proposed for the local infrastructure planning and design tasks. These maps offer a hazard index associated with the current design of existing roads based on the relationship between the optimal stopping distance and the accumulated percentage retained along the path, complying with specific retention requirements. These maps offer the dangerous associated with the current design of existing roads depending on the relation between the optimal stop-distance and the cumulative percentage retained along the trajectory, complying with specific retention requirements. This index allows validating the suitability of existing ditches and improving non-structural defense measures with reduced environmental impact and cost in volcanic territories.

Interferometría radar de satélite en los Pirineos orientales: el proyecto MOMPA

Satellite radar interferometry in the eastern Pyrenees: the MOMPA project

A. Barra[1], A. Echeverria[2], J. Marturia[3], X. Colell[4], Q. Gao[1], M. Cuevas[1], I. Febregat[3], P. Buxó[3], L. Trapero[2], G. Luzi[1], M. Gasc[5], N. Dufour[5], M. Crosetto[1]

1 Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC/CERCA), Geomatics Division, 08860 Castelldefels, España. anna.barra@cttc.es, michele.crosetto@cttc.es, qi.gao@cttc.es, maria.cuevas@cttc.es
2 Snow and Mountain Research Center of Andorra (CENMA-IEA), Institut d'Estudis Andorrans, Av. Rocafort, 21-23, AD600 Sant Julià de Lòria, Andorra, aecheverria@iea.ad, ltrapero@iea.ad
3 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), Parc de Montjuïc., 08038, Barcelona, Spain. Jordi.Marturia@icgc.cat, Ivan.Fabregat@icgc.cat, Pere.Buxo@icgc.cat
4 Euroconsult, AD500, Andorra la Vella, Andorra, xcolell@euroconsult.ad
5 Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), 31400, Toulouse, France, muriel.gasc@cerema.fr, nathalie.dufour@cerema.fr

Palabras clave: InSAR, monitoring, POCTEFA, Pyrenees, landslide

Resumen

El proyecto MOMPA (MOnitorización de Movimientos del terreno y Protocolo de Actuación) ha sido cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2014-2020). El proyecto afronta la gestión del riesgo de deslizamientos basado en la técnica de interferometría de radar por satélite (InSAR). A partir del mapa de movimientos del terreno a escala interregional (que abarca unos 4.000 km^2) y de las Áreas de Deformación Activa detectadas (ADA), se realiza un análisis a escala local (integrando InSAR y métodos tradicionales) sobre una selección de las ADA con más riesgo potencial. En la última fase del proyecto se desarrollarán herramientas con el fin que la técnica de seguimiento InSAR se pueda integrar en protocolos de actuación de Protecciones Civiles. El proyecto se ubica en los Pirineos Orientales, abarcando el conjunto del Principado de Andorra, las comarcas de l'Alt Urgell y Cerdanya (España) y las comarcas Cerdanya-Capcir y Conflent (Francia). Se utilizan tanto los datos de acceso libre de resolución media adquiridos por Sentinel-1 como los datos de alta resolución adquiridos por COSMO-SkyMed. Un caso de estudio específico, de gran interés para Andorra, es el deslizamiento ubicado en Andorra que podría afectar al único acceso a Andorra desde España. En este caso, se han instalado reflectores artificiales a lo largo de la fuerte empinada ladera boscosa, con el objetivo de que las medidas InSAR se integren con las actividades en curso de monitoreo tradicional.

Abstract

The MOMPA project (MOnitoring of ground Movements and Action Protocol) has been co-financed by the European Regional Development Fund through the Interreg V-A Spain-France-Andorra programme (POCTEFA 2014-2020). The project addresses landslide risk management based on satellite radar interferometry (InSAR) technique. Starting from the interregional scale ground displacement map (covering around 4,000 km^2) and the detected Active Deformation Areas (ADA), a local scale analysis (integrating InSAR and traditional methods) will be performed on a selection of the ADA with a high potential risk. Then, the InSAR monitoring technique will be integrated in an action protocol for Civil Protections. The study area of the project is in the Eastern Pyrenees, covering the whole Principality of Andorra, the Spanish areas of Alt Urgell and Cerdanya (Catalonia) and the French areas of Cerdanya-Capcir and Conflent (Occitanie). Both the medium-resolution, free data acquired by Sentinel-1, and the high-resolution data acquired by COSMO-SkyMed are used. A specific case study, of high interest for Andorra, is a landslide located in Andorra that could affect the only access to Andorra from Spain. In this case, artificial reflectors have been installed along the forested steep slope, to have InSAR measures to be integrated with the ongoing activities of traditional monitoring.

Detección de deformaciones activas en la Península Ibérica mediante datos Sentinel-1: resultados preliminares en Andalucía, Cataluña, y Murcia

Detection of active deformation in the Iberian Peninsula using Sentinel-1 data: preliminary results in Andalusia, Catalonia, and Murcia

M. Béjar-Pizarro[1], J.P. Galve[2], O. Monserrat[3], P. Ezquerro[1], J. López-Vinielles[1], C. Reyes Carmona[1], A. Barra[3], R. Sarro[1], R.M. Mateos[1], J.V. Pérez-Peña[2], J.M. Azañon[2], G. Herrera[1]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003, Spain. m.bejar@igme.es, p.ezquerro@igme.es, jlvinielles@gmail.com, cristirecar@gmail.com, r.sarro@igme.es, rm.mateos@igme.es, g.herrera@igme.es
2 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Avda. del Hospicio, s/n, 18010 Granada, Spain jpgalve@ugr.es, jazanon@ugr.es
3 Centre Tecnològic de les Telecomunicacions de Catalunya (CTTC/CERCA), Castelldefels, 08860 Barcelona, Spain; oriol.monserrat@cttc.es, anna.barra@cttc.cat

Palabras clave: Deformación del terreno, InSAR, Cataluña, Andalucía, Murcia

Resumen

La detección y monitorización de movimientos del terreno ligados a diferentes procesos geológicos y antrópicos es fundamental para entender mejor los fenómenos que los causan y mitigar sus consecuencias adversas. La técnica de interferometría radar (InSAR) permite crear mapas de deformación casi continuos, y desde 2014, gracias a la misión Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) se puede estudiar cualquier parte de la Península Ibérica con una frecuencia de revisitado de 6 días. En este trabajo presentamos los resultados de un estudio realizado a escala regional en tres zonas piloto de Andalucía Oriental, Cataluña y Murcia. Para ello se han utilizado datos de los satélites Sentinel-1 (periodo 2015-2020) y el procesado se ha realizado mediante herramientas del portal de la ESA *Geohazards Exploitation Platform*. Las deformaciones detectadas están relacionadas con una gran variedad de procesos, que incluyen subsidencia del terreno asociada a diferentes fenómenos (extracción de agua subterránea en acuíferos, compactación de residuos mineros y vertederos) y movimientos de ladera que afectan a presas, minas abandonadas y urbanizaciones costeras. Muchas de las zonas de deformación detectadas no eran previamente conocidas, lo que pone de relieve la importancia de generar mapas InSAR a gran escala para la prevención y gestión de los riesgos asociados.

Abstract

The detection and monitoring of land movements caused by different geological and anthropic processes is essential to better understand the phenomenon that cause them and mitigate their adverse consequences. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) allows to create almost continuous deformation maps, and thanks to the Sentinel-1 mission of the European Space Agency (ESA), any part of the Iberian Peninsula can be studied with a revisited frequency of 6 days. In this paper we present the results of a regional study focused on three pilot areas in Eastern Andalusia, Catalonia and Murcia. We have used data from the Sentinel-1 satellites (2015-2020 period) that were processed using tools from the ESA Geohazards Exploitation Platform. The deforming areas detected are related to a wide variety of processes, including land subsidence associated with different phenomena (groundwater extraction in aquifers, compaction of mining waste and dumps) and slow landslides affecting dams, abandoned mines and coastal urbanizations. Many of the deformation zones detected here were previously unknown, which highlights the importance of generating large-scale InSAR maps for the prevention and management of associated risks.

Desarrollo de sistemas fotogramétricos para la monitorización 4D de desprendimientos

Development of photogrammetric systems for 4D rockfall monitoring

X. Blanch[1], A. Abellan[2] y M. Guinau[1]

1 RISKNAT Research Group, GEOMODELS Research Institute, Faculty of Earth Sciences, Universitat de Barcelon. xabierblanch@ub.edu
2 Center for Research on the Alpine Environment (CREALP), Sion, CH-1950 Valais, Switzerland

Palabras clave: fotogrametría, desprendimientos, monitorización, *structure-from-motion*.

Resumen

La monitorización 3D de laderas es una de las mejores estrategias para detectar desprendimientos de roca, así como estudiar su comportamiento (Abellan *et al,* 2016). Con el objetivo de conocer mejor los desprendimientos y reducir el riesgo asociado, se han desarrollado en los últimos años numerosas técnicas de monitorización mediante sistemas LiDAR que han permitido el estudio de las laderas con un gran nivel de detalle (*e.g.* Abellan *et al,* 2014). No obstante, debido al elevado coste de estos sistemas, así como su complejidad para instalarlos en lugares remotos, el estudio de laderas a partir de sistemas fotogramétricos digitales está en aumento (Eltner *et al,* 2016). Este trabajo presenta los resultados obtenidos con dos sistemas fotogramétricos fijos instalados en la zona de estudio experimental de Puigcercós (Lleida) en la que se está analizando la actividad de desprendimientos a partir de la comparación de modelos 3D. Uno de los sistemas se ha desarrollado a partir de elementos de muy bajo coste (sistema Raspberry - 8 Mpx) mientras que el otro se ha desarrollado con el objetivo de obtener la máxima calidad posible (cámaras DSLR - 48 Mpx). Ambos sistemas son autosuficientes energéticamente y son capaces de realizar la transmisión de datos mediante conexión 4G. Estas capacidades permiten a los sistemas realizar la adquisición de datos con alta frecuencia temporal (más de una adquisición por día) para realizar monitorización 4D.

Abstract

Monitoring the evolution of natural slopes with 3D data is a key strategy for detecting and investigating rockfalls (Abellan et al, 2016). In order to improve our understanding of rock slope failures and to reduce the associated risk, different monitoring strategies have been developed during the last decade using LiDAR, allowing the study of the slopes with an unprecedented level of detail (Abellan et al, 2014). However, due to the high cost of these systems, as well as their complexity, the study of slopes from digital photogrammetric systems has also experienced a considerably growth recently (Eltner et al, 2016). This communication presents some lessons learned from the deployment of two photogrammetric systems installed in the experimental study area of Puigcercós (Lleida) allowing the semi-automatic generation of 3D models for studying the cliff together with preliminary results in terms of process investigation. While one system has been developed using low-cost components (Raspberry system - 8 Mpx), the second system has been developed aiming to obtain a highest level of detail (DSLR cameras - 48 Mpx). Both systems are autonomous and transmit images automatically with 4G connection. The systems are scheduled to perform high time frequency data acquisition (more than one acquisition per day) to facilitate 4D monitoring capabilities.

Referencias

Abellan, A., Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., Rosser, N.J., Lim, M., Lato, M.J., (2014). *Earth Surface Process Landforms* 39, 80–97.

Abellán, A., Derron, M. -H., & Jaboyedoff, M. (2016). *Remote Sensing* 8 (2), 130.

Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., Abellán, A., (2016). *Earth Surface Dynamics* 4, 359–389.

Flujo de trabajo para la obtención de modelos fotogramétricos de alta calidad con *time-lapse cameras*

A workflow to generate high-quality photogrammetric models using time-lapse cameras

X. Blanch[1], A. Abellan [2], M. Guinau[1], A. Eltner[3]

1 RISKNAT Research Group, GEOMODELS Research Institute, Faculty of Earth Sciences, Universitat de Barcelona. xabierblanch@ub.edu
2 Center for Research on the Alpine Environment (CREALP), Sion, CH-1950 Valais, Switzerland
3 Institute of Photogrammetry & Remote Sensing, TU Dresden, Germany

Palabras clave: fotogrametría, Metashape, precisión, *structure-from-motion*, PCStacking

Resumen

La obtención de nubes de puntos mediante técnicas fotogramétricas para la modelización 3D de superficies naturales ha aumentado significativamente en los últimos años (Eltner, *et al.* 2016). La facilidad para obtener fotografías, así como el bajo coste del conjunto del sistema (obtención imágenes y tratamiento) garantizan una mayor accesibilidad en comparación con las nubes de puntos LiDAR. Actualmente existen diferentes softwares tanto comerciales como *open-source* basados en algoritmos *Structure-from-motion* que permiten obtener modelos fotogramétricos a partir de series de fotografías. Esta comunicación presenta dos métodos de trabajo desarrollados recientemente para la monitorización de laderas. El primero combina la obtención recursiva de fotografías, la programación mediante la API de Python de Agisoft Metashape, códigos propios de procesado y aportaciones de otros autores como James Mike (2017) para obtener modelos fotogramétricos con resoluciones similares a los modelos obtenidos mediante LiDAR. El segundo método, denominado PCStacking, permite obtener modelos fotogramétricos con mayor exactitud respecto el flujo de trabajo estándar usando fotografías de baja resolución (sistema Raspberry – 8 Mpx) capturadas de un modo secuencial. Ambos flujos de trabajo han sido desarrollados con el objetivo de poder realizar comparaciones de nubes de puntos y análisis de procesos naturales con la máxima calidad posible.

Abstract

Using photogrammetric techniques for 3D modelling of natural surfaces has increased significantly in recent years (Eltner, et al. 2016). The easiness of obtaining photographs in an automated way, as well as the low cost of the whole photogrammetric system ensures a great usability when compared to LiDAR point clouds. Currently, there are different software, both commercial and open-source, based on Structure-from-motion algorithms allowing the generation of photogrammetric models from multiple images. This communication presents two workflows recently developed to monitor natural slopes. The first algorithm combines the recursive obtaining of photographs, the use of Agisoft Metashape's Python API, specific processing scripts and contributions of other authors as James Mike (2017) to obtain photogrammetric models with similar resolutions to the models obtained through LiDAR. The second method, called PCStacking, allows photogrammetric models to be obtained more accurately than the standard workflow using low resolution photographs (Raspberry system - 8 Mpx) by stacking 3D models captures sequentially. Both workflows have been developed with the aim of being able to make comparisons and analyses with the highest possible quality.

Referencias

Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., Abellán, A., (2016). *Earth Surface Dynamics*. 4, 359–389.

Mike, J., Robson, S., Smith, M., (2017). *Earth Surface Processes and Landforms*. 42, 1769-1788

La técnica DInSAR aplicada al estudio de inestabilidades de ladera en Asturias (Norte de España)

DInSAR technique applied to the landslides study in Asturias (N Spain)

J. Cuervas-Mons[1], M. J. Domínguez-Cuesta[1], F. Mateos-Redondo[2], O. Monserrat[3], A. Barra[3], P. Valenzuela[4]

1 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo 33005 Oviedo. jcuervas@geol.uniovi.es; dominguezcuesta@uniovi.es
2 GEA Asesoría Geológica – S. COOP ASTUR 33192 Llanera. felix@geaasesoriageologica.com
3 División de Geomática, Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña CTTC/CERCA 08860 Castelldefels. abarra@cttc.cat, omonserrat@cttc.cat
4 Tecnologías y Servicios Agrarios, Tragsatec S.A. 24008 León. pablo.valenzuela.mendizabal@gmail.com

Palabras clave: DInSAR, BAPA, Asturias, inestabilidades de ladera.

Resumen

En este trabajo se lleva a cabo el análisis de áreas afectadas por inestabilidades de ladera en la zona central de Asturias (N de España) utilizando la técnica DInSAR. Las inestabilidades registradas proceden de la Base de datos de Argayos del Principado de Asturias (BAPA) (Valenzuela *et al.* 2017). La metodología aplicada ha seguido las siguientes etapas: i) descarga y procesado de imágenes SAR tomadas por el satélite Sentinel-1 (de 2018 a 2020), ii) obtención de series temporales de deformación y mapas de velocidades del terreno, iii) comparación de los resultados DInSAR con el inventario de deslizamientos proporcionado por la BAPA. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que, en el área analizada, es posible detectar mediante DInSAR deformaciones del terreno asociadas a inestabilidades de ladera, con rangos de desplazamiento de mm-cm/año. La combinación de la tecnología DInSAR y el inventario BAPA ha permitido realizar una valoración fiable y crítica de las zonas con inestabilidades de laderas. Todo ello permite obtener información preliminar de susceptibilidad ante procesos de gravedad para la zona central del Principado de Asturias.

Abstract

In this work the analysis of areas affected by slope instabilities in the central part of Asturias (N of Spain) using the DInSAR technique is carried out. Landslide records come from the Principality of Asturias Landslide Database (BAPA) (Valenzuela et al. 2017). The methodology applied has followed the next stages: i) download and processing of SAR images taken by the Sentinel-1 satellite (from 2018 to 2020), ii) obtaining deformation time series and ground velocity maps, iii) comparison of the DInSAR results with the inventory of landslides provided by the BAPA. The results of this study can show that, in the analysed area, it is possible to detect by means of DInSAR ground deformations identified as slope instabilities with displacement ranges of mm-cm/year. The combination of DInSAR technology and the BAPA inventory has allowed a reliable and critical assessment of areas with slope instabilities. All this allows obtaining preliminary information on susceptibility of gravity processes for the central area of the Principality of Asturias.

Referencias

Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M. J., Mora García, M. A. and Jiménez-Sánchez, M. (2017). *Geomorphology* 293, 11-23.

La temperatura como trazador de la recarga de acuíferos: el caso de Tenerife

Temperature as a tracer for aquifer recharge: the case of Tenerife

A. Eff-Darwich[1,4], J.P. Díaz[2], J.A. Rodríguez-Losada[3,4]

1 Dpto. Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de La Laguna, 38206 Tenerife. adarwich@ull.edu.es
2 Dpto. Física, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna, 38206 Tenerife. jpdiaz@ull.edu.es
3 Dpto. Biología Animal, Edafología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna, 38206 Tenerife. jrlosada@ull.edu.es
4 Instituto Volcanológico de Canarias, 38206 Tenerife.

Palabras clave: Aguas subterráneas, recarga, temperatura.

Resumen

La distribución en profundidad de la temperatura en la zona no saturada del acuífero central de la isla de Tenerife está siendo analizada desde hace más de 7 años para intentar establecer una relación entre la recarga de agua y el nivel freático. Para ello, se utilizan 3 sondeos existentes en la zona, en los que se han instalado una serie de sensores térmicos a varias profundidades. Los datos meteorológicos necesarios (precipitaciones, temperatura del aire, etc.) se han obtenido de las estaciones de la AEMET que se encuentran en la zona a estudio y del modelo climático WRF (Weather Research and Forecasting model). El objetivo final de este proyecto es poder predecir el comportamiento futuro del acuífero a partir de los resultados de los modelos climáticos locales calculados mediante WRF.

Abstract

The temperature distribution as a function of depth in the unsaturated area of the central aquifer on the island of Tenerife has been analyzed for more than 7 years, in an attempt to establish a relationship between water recharge and the water table level. In this sense, a series of thermal sensors have been installed at various depths in 3 existing boreholes. The necessary meteorological data (rainfall, air temperature, etc.) have been obtained from the AEMET stations in the area under study and from the WRF (Weather Research and Forecasting model) climate model. The final objective of this project is to assess the capability to predict the future behavior of the aquifer based on the results of local climate models calculated using WRF.

Caracterización y modelización de la subsidencia asociada a extracción de agua subterránea mediante InSAR, Alto Guadalentín (Murcia)

Characterization and modeling of subsidence related to groundwater pumping using InSAR, Alto Guadalentín (Murcia)

P. Ezquerro[1,2,8], R. Tomás[1,2,4], M. Béjar-Pizarro[1,2], J.A. Fernández-Merodo[1,2], C. Guardiola-Albert[1,2,5], A. Staller[6], J.A. Sánchez-Sobrino[7], G. Herrera[1,2,3]

1 Geohazards InSAR Laboratory and Modeling Group (InSARlab), Geoscience Research Department, Geological Survey of Spain (IGME), Alenza 1, 28003 Madrid, Spain; p.ezquerro@igme.es, g.herrera@igme.es, m.bejar@igme.es, jose.fernandez@igme.es, c.guardiola@igme.es
2 Spanish Working Group on Ground Subsidence (SUBTER), UNESCO, 03690 Alicante, Spain; roberto.tomas@ua.es
3 Earth Observation and Geohazards Expert Group (EOEG), EuroGeoSurveys, the Geological Surveys of Europe, 36-38, Rue Joseph II, 1000 Brussels, Belgium
4 Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, P.O. Box 99, 03080 Alicante, Spain.
5 Environmental Geology and Geomathematics, Geoscience Research Department, Geological Survey of Spain (IGME), Alenza 1, 28003 Madrid, Spain
6 Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía. Campus Sur, 28031 Madrid, Spain. a.staller@upm.es
7 Instituto Geográfico Nacional (IGN), Geodesy Department
8 Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Caminos, Canales y Puertos C/ Profesor Aranguren s/n, 28040 Madrid, Spain

Palabras clave: InSAR, Subsidencia, Extracción de agua subterránea, Gestión de acuíferos.

Resumen

En el presente contexto de cambio climático, la gestión de las aguas subterráneas y los problemas asociados a su extracción han cobrado relevancia, especialmente en aquellas zonas de baja pluviometría como el Arco Mediterráneo Peninsular. En este trabajo se presentan los últimos resultados de monitorización de la cuenca del Alto Guadalentín, empleando técnicas remotas (InSAR) e in-situ (GNSS), para el control de uno de los mayores casos Europeos de subsidencia relacionada con la extracción de agua subterránea. Los desplazamientos obtenidos mediante el procesado de dos satélites diferentes han servido para detectar una componente horizontal en los desplazamientos de la cuenca, validada por los datos GNSS. Apoyándose en los modelos hidrogeológicos previamente generados en la zona, se han actualizado los modelos empíricos de deformación para calcular la posible evolución de los niveles piezométricos en los últimos años.

Abstract

In the current climate change framework, groundwater management and related problems have become important, especially in drought areas like Spanish Mediterranean Arc. In this work, we present last monitoring results in the Alto Guadalentín basin, using remote sensing (InSAR) and in-situ (GNSS) techniques, to control one of the largest European subsidence areas related to groundwater extraction. Displacements obtained processing two different satellites have allowed to detect a horizontal component in the basin displacement, validated using GNSS data. Supported by previous hydrogeological models over the area, empirical deformational models have been updated to calculate the possible evolution of groundwater levels during the last years.

La e-infraestructura EPOS (The European Plate Observing System)

The e-infrastructure EPOS (The European Plate Observing System)

J.L. Fernandez-Turiel[1], I. Bernal[2], A. G. Camacho[3], R. Carbonell[1], J. J. Curto[4], J. Fernández[3], J. Díaz[1] y A. Geyer[1]

1 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA, CSIC, Barcelona. jlfernandez@ictja.csic.es
2 DIGITAL.CSIC, CSIC, Madrid. isabel.bernal@bib.csic.es
3 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM. Madrid. jft@mat.ucm.es, jose.fernandez@csic.es, antoniocamacho@mat.ucm.es
4 Observatori de l'Ebre (OE), CSIC-Universitat Ramon Llull, Roquetes, Tarragona. jjcurto@obsebre.es.

Palabras clave: EPOS. ESFRI, e-infraestructura, datos, servicios.

Resumen

EPOS (*the European Plate Observation System*, https://www.epos-ip.org/) es una infraestructura electrónica de ESFRI, el Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación (https://www.esfri.eu/), dirigido a facilitar y promover el uso integrado de datos, productos de datos, servicios e instalaciones de infraestructuras de investigación distribuidas internacionalmente dedicadas a investigar la Tierra Sólida. Esta infraestructura electrónica está comprometida en abordar soluciones viables para los retos científicos de la Tierra Sólida. Es un plan a largo plazo que integra las infraestructuras de investigación de diferentes países europeos en una única plataforma interoperable a través de diferentes servicios centrales temáticos (por ejemplo, sismología, datos satelitales, observaciones de volcanes y laboratorios multiescala). El nodo EPOS español está coordinado por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) que alberga su propio repositorio institucional, DIGITAL.CSIC (https://digital.csic.es/). EPOS gestiona los archivos de datos siguiendo los principios FAIR: hallable, accesible, interoperable y reutilizable. Por lo tanto, los datos son ampliamente accesibles para su reutilización para otros investigadores, industria, enseñanza, formación y para el público en general.

Este trabajo es una contribución del Proyecto EPOS Sustainability Phase (EPOS-SP), financiado por la Comisión Europea (Acuerdo de subvención nº: 871121 - EPOS SP-H2020-INFRADEV-2018-2020 / H2020-INFRADEV-2019-2).

Abstract

EPOS (the European Plate Observation System, https://www.epos-ip.org/) is an e-infrastructure of ESFRI, the European Strategy Forum on Research Infrastructures (https://www.esfri.eu/), aimed at facilitating and promoting the integrated use of data, data products, services and facilities from internationally distributed research infrastructures for Solid Earth Science. This e-infrastructure is greatly committed to tackle viable solutions for Solid Earth challenges. It is a long-term plan that integrates research infrastructures of different European countries into a single inter-operable platform through different thematic core services (e.g., Seismology, Satellite data, Volcano Observations, and Multi-Scale Laboratories). The Spanish EPOS node is coordinated by CSIC (the Spanish National Research Council) that hosts its own institutional repository, the DIGITAL.CSIC (https://digital.csic.es/). EPOS supports that data archives follow the FAIR principles of data management: Findable, Accessible, Interoperable and Reusable. Therefore, data are broadly accessible to reuse for other researchers, industry, teaching, and training and for the general public.

This work is a contribution of Project EPOS Sustainability Phase (EPOS-SP), funded by the European Commission (Grant Agreement no: 871121 - EPOS SP-H2020-INFRADEV-2018-2020/H2020-INFRADEV-2019-2).

Cartografía de los materiales antropogénicos. Sierra de Cartagena-La Unión. España

Cartography of anthropogenic materials. Sierra de Cartagena-La Unión. Spain

C. García-García[1], V. Robles-Arenas[1], A.V. Caparrós[2], A. Alcolea[2] y R. Rodríguez-Pacheco[3]

1 Departamento de Ingeniería Minera y Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, Murcia, Spain. cristobal.garcia@upct.es
2 Universidad Politécnica de Cartagena. SAIT. Edificio I+D+i, 30202 Cartagena, Murcia, Spain ana.caparros@sait.upct.es; alberto.Alcolea@upct.es
3 Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera. Instituto Geológico y Minero de España. La Calera 1, Tres Canto. 28760 Madrid, Spain. roberto.roriguez@igme.es

Palabras clave: residuos mineros, lodos de flotación, presas de relaves, riesgo ambiental.

Resumen

En este artículo se presenta una metodología para cartografiar materiales antropogénicos. Esta se aplica a una zona afectada por actividades mineras e industriales. La Sierra de Cartagena–La Unión (SE España), es un distrito minero de 2.500 años de antigüedad. Ocupa un área de 100 km^2. La cartografía antropogénica ilustra la existencia de 12 cortas mineras, 1.902 pozos mineros, 2.351 depósitos de residuos, incluidas 89 presas de relaves. Los materiales antropogénicos predominantes son residuos mineros, metalúrgicos e industriales. Ocupan un área de 9 km^2 y tienen un volumen aproximado de 200 Mm^3. De acuerdo a los datos mineralógicos, físicos y químicos se distinguen nueve tipos de residuos: estériles de corta, lodos de flotación (lodos mineros), rechazo de concentración gravimétrica, gossan, escoria de fundición metalúrgica, estériles de pozos mineros, lodos de flotación depositados en las bahías de Portman y Gorguel.

Abstract

This article presents a methodology for mapping anthropogenic materials. This is applied to an area affected by mining and industrial activities. The Sierra de Cartagena–La Unión (SE Spain), a 2,500-year-old mining district extending over an area of 100 km^2. The anthropogenic cartography illustrates the existence of 12 open-pits, 1,902 mining wells, 2,351 waste deposits, including 89 tailing dams and waste rock derived from mining processes. Mine wastes occupy an area of 9 km^2 and have an approximate volume of 200 Mm^3. Mineralogical, physical and chemical data distinguish nine different types of mine and metallurgical wastes: open pit spoils, post-flotation wastes, gravity concentration spoils, gossan, molten slag, pre-concentration wastes, mine spoils, well borings, post-flotation sludge in Portman and Gorguel Bay.

Referencias

Alcolea, A. (2015). *Geoavailability of Ni, Cu, Zn, As, Cd and Pb in the Sierra de Cartagena la Unión*. Tesis doctoral Univ. Politécnica de Cartagena, 351 p.

García, C. (2004). *Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra Minera de Cartagena la Unión*. Tesis doctoral Univ. Politécnica de Cartagena, 423 p.

Robles-Arena, V.M., Rodríguez. R., García, C., Manteca, J.I. Candela, L. (2006). *Environmental Geology* 51, 47-64.

Inventario geomorfológico del temporal Gloria (19-23 enero 2020): Movimientos de ladera, procesos fluviales y litorales

Geomorphological inventory of the Gloria storm (January 19-23, 2020): Mass movements, fluvial and coastal processes

M. González[1], J. Pinyol[1], M.J. Micheo[1], R. Carles[1], E. Pi[1], E. Soldevila[1], J. Picart[1], G. Subiela[1], J. Peña[1], J. Reixach[1], E. Sánchez[1], M. Vila[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Parc de Montjuïc s/n. 08038 Barcelona. Marta.Gonzalez@icgc.cat, Jordi.Pinyol@icgc.cat, Fus.Micheo@icgc.cat, Rosa.Carles@icgc.cat, Eulalia.Pi@icgc.cat, Emma.Soldevila@icgc.cat, Joan.Picart@icgc.cat, Guillem.Subiela@icgc.cat, Jordi.Pena@icgc.cat, Elena.Sanchez@icgc.cat, joan.reixach@icgc.cat, Miquel.Vila@icgc.cat

Palabras clave: Temporal Gloria, inventario geomorfológico, dinámica fluvial, dinámica litoral, movimientos de ladera.

Resumen

Entre el domingo 19 y el jueves 23 de enero de 2020 se produjo un temporal de levante calificado como histórico en Cataluña, no sólo por la multiplicidad de fenómenos (viento, lluvia, nieve y oleaje) que se sucedieron de forma simultánea (Meteocat, 2020), sino por su extensión, afectando a todo el territorio catalán. Desde el punto de vista geomorfológico, los daños se han producido por distintos procesos: principalmente por el desbordamiento de los cursos fluviales y por procesos de erosión y transporte en sus márgenes; por la variación de la línea de costa, con erosión y acumulación de sedimentos en las playas e infraestructuras antrópicas; por el transporte de flotantes, tanto en los cursos fluviales como en el litoral; por la inundación marina y por movimientos de ladera. Desde el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC), con el objetivo de tener una visión general de los efectos que ha producido el temporal se ha realizado un trabajo de recopilación de la información geomorfológica y sus consecuencias. En el momento de la redacción de este resumen el número de municipios afectados por algún proceso geomorfológico asciende a 388, de los 947 que conforman el territorio, y se han inventariado más de 450 movimientos de ladera.

Abstract

From Sunday 19th to Thursday 23rd of January 2020, a storm from the east occurred in Catalonia, which was classified as historical, not only because of the multiplicity of phenomena (wind, rain, snow and waves) that happened simultaneously, but also because of the extension, affecting the entire Catalan territory. From the geomorphological point of view, damages have been produced by different kind of natural processes, mainly due to slope, fluvial and coastal dynamics. In order to have an overview of the effects of the storm, the Institut Cartogràfic i Geològic of Catalonia is carrying out an information-collecting work of the geomorphological impact and its consequences. At the time of writing this abstract the number of municipalities affected by some geomorphological process, amounts to 388, of the 947 municipalities that make up the territory of Catalonia and more than 450 landslides have been inventoried.

Referencias

González, M.; Pinyol, J.; Micheo, M. J.; Carles, R.; Pi, E.; Soldevila, E.; Picart, J.; Subiela, G.; Peña, J.; Reixach, J.; Sánchez, E., i Vilà, M. (2020). El temporal Gloria (19-23/01/2020): *Els efectes dels processos geològics sobre el territori*. Monografia tècnica 8. ICGC. D.L.: B. 14 835-2020. ISBN: 978-84-18199-34-9

Meteocat (2020). *Balanç d'una llevantada històrica a Catalunya*. Comunicado de prensa del Servei Meteorològic de Catalunya 24/01/2020.

Evolución de la monitorización InSAR en zonas mineras: nuevos satélites y servicios de procesado en la nube

Evolution of InSAR monitoring in mining areas: new satellites and cloud-based processing services

J. López-Vinielles[1, 2], P. Ezquerro[1], R. Sarro[1], J.C. García-Davalillo[1], V. Rodríguez-Gómez[1], M. Béjar-Pizarro[1], G. Herrera[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Área de Riesgos Geológicos. C/ Alenza 1, 28003 Madrid. jlvinielles@hemav.com; p.ezquerro@igme.es; r.sarro@igme.es; jc.garcia@igme.es; v.rodriguez@igme.es; m.bejar@igme.es; g.herrera@igme.es

2 HEMAV SL. Carrer d'Esteve Terrades 1, 08860 Castelldefels, Barcelona.

Resumen: El presente trabajo ilustra las nuevas posibilidades que ofrece la aplicación de técnicas de interferometría radar (InSAR) satélite a la monitorización de movimientos del terreno en zonas mineras. Gracias a los avances producidos a lo largo de las últimas décadas, motivados por el lanzamiento de nuevas plataformas satélite y el desarrollo de nuevos servicios de procesado, el estudio de movimientos del terreno en zonas mineras puede hoy llevarse a cabo mediante InSAR satélite. Este trabajo compara los resultados de varios procesados InSAR sobre la Sierra Minera de Cartagena (Murcia), obtenidos mediante el procesado de imágenes radar de banda C adquiridas con los satélites ERS-Envisat y Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea. Para ello se ha hecho uso de la cadena de procesado SUBSOFT, así como de las cadenas de procesado FASTVEL y P-SBAS disponibles en la plataforma online "*Geohazards Exploitation Platform*". El análisis comparativo de dichos procesados ha permitido evaluar las ventajas que ofrece Sentinel-1 en comparación con ERS-Envisat, asociadas esencialmente al menor tiempo de revisitado del primero (6 días frente a 35), así como las ventajas que ofrecen FASTVEL y P-SBAS en relación a la explotación de datos radar por usuarios no expertos.

Palabras clave: minería, inestabilidades de talud, monitorización satélite, interferometría radar (InSAR), Sentinel-1.

Abstract: *The present work illustrates the new possibilities offered by the application of satellite radar interferometry (InSAR) techniques to monitor ground movements in mining areas. Thanks to the advances produced over the last decades, motivated by the launch of new satellite platforms and the development of new processing services, the study of mining-related ground movements can be tackled today by means of InSAR satellite. This work compares the results of several InSAR processing datasets over the Sierra Minera of Cartagena (Murcia), obtained by processing C-band radar images acquired with the satellites ERS-Envisat and Sentinel-1 of the European Space Agency. For this purpose, the SUBSOFT processing chain has been used, as well as the FASTVEL and P-SBAS processing chains available on the online platform "Geohazards Exploitation Platform". The comparative analysis of these datasets has allowed us to evaluate the advantages offered by Sentinel-1 compared to ERS-Envisat, essentially associated with the shorter revisit time of the former (6 days vs. 35), as well as the advantages offered by FASTVEL and P- SBAS regarding the exploitation of radar data by non-expert users.*

Keywords: *mining, slope instabilities, satellite monitoring, radar interferometry (InSAR), Sentinel-1.*

INTRODUCCIÓN

Las inestabilidades de taludes en cortas e instalaciones de residuos mineros producen incontables pérdidas económicas y daños significativos en numerosas explotaciones alrededor del mundo. Para reducir su impacto se puede aplicar, entre otras técnicas, la teledetección satélite, que permite identificar laderas inestables y movimientos precursores previos al colapso de un talud. En este trabajo utilizamos técnicas de monitorización satélite InSAR para detectar inestabilidades en taludes en la Sierra Minera de Cartagena (Murcia), una zona de minería metálica abandonada situada unos 50 km al sureste de Murcia, cerca de la localidad de La Unión. La actividad extractiva en la Sierra Minera de Cartagena comienza a desarrollarse en tiempos romanos, aunque es entre la segunda mitad del siglo XIX y las primeras dos décadas del siglo XX cuando se produce la actividad minera más intensa. Durante este período, la explotación de los depósitos de sulfuro se lleva a cabo mediante minería subterránea, en su mayor parte a través de sistemas de cámaras y pilares. No obstante, algunas minas ubicadas en las afueras de La Unión permanecen en activo hasta principios de la década de 1980. Además, varias minas a cielo abierto permanecen activas hasta la década de 1990 en las concesiones ubicadas entre las localidades de La Unión, Portman y Llano del Beal. El distrito minero, de 5 por 5 km, se encuentra en la Sierra de Cartagena, que forma parte de las zonas internas de la Cordillera Bética. El marco geológico del distrito incluye

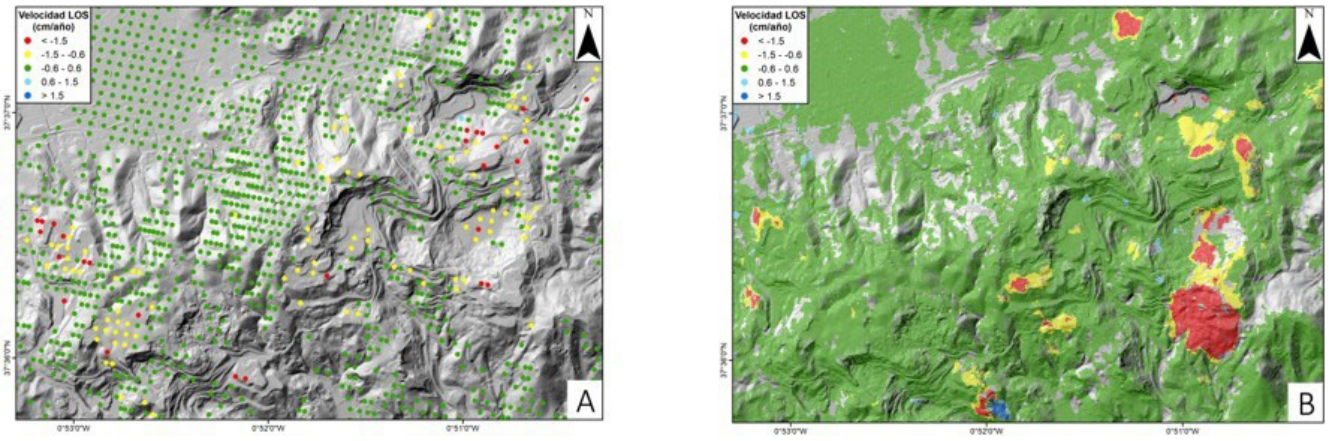


FIGURA 1. Procesados obtenidos con SUBSOFT utilizando imágenes (A) ERS-Envisat y (B) Sentinel-1.

un basamento caracterizado por la presencia de los complejos Nevado Filábrides y Alpujárrides, sobre los que se disponen rocas sedimentarias del Mioceno y Plioceno, y volcánicas del Mioceno. Las unidades volcánicas incluyen mayoritariamente rocas dacíticas con andesitas subordinadas. Desde el punto de vista metalogénico, los cuerpos más relevantes son los domos dacíticos de origen magmático-subvolcánico, profundamente alterados y con mineralización en forma de filones de blenda y galena. Finalmente, un nivel poco potente de depósitos aluviales cuaternarios cubre los materiales más antiguos.

De acuerdo con Herrera *et al.* (2010), tras el abandono de la minería y desde el año 1999, la zona se ve afectada por procesos de subsidencia, inducidos por el colapso de galerías mineras. Además, aparecen inestabilidades de ladera, algunas relacionadas con dichos colapsos, que afectan a diversas cortas e instalaciones de residuos mineros. Herrera *et al.* (2010) analizan dichas inestabilidades por medio de tres procesados InSAR obtenidos mediante la cadena de procesado SUBSOFT a partir de imágenes radar adquiridas con los satélites ERS y Envisat, cubriendo los períodos 1998–2000, 2003–2004 y 2003–2008. Este trabajo compara, partiendo de los resultados obtenidos por Herrera *et al.* (2010), los resultados del procesado ERS-Envisat obtenido con SUBSOFT para el período 2003–2008, con los resultados de tres procesados Sentinel-1 obtenidos con SUBSOFT, FASTVEL y P-SBAS para los períodos 2014–2016, 2014–2018 y 2017–2018, respectivamente.

METODOLOGÍA

La cadena de procesado SUBSOFT (Mora *et al.*, 2003; Blanco-Sànchez *et al.*, 2008), desarrollada por el Laboratorio de Teledetección de la Universidad Politécnica de Cataluña, representa una solución operativa y probadamente robusta de procesado InSAR, que proporciona velocidades y series temporales de deformación sobre el área de estudio. FASTVEL y P-SBAS, dos cadenas de procesado desarrolladas por la Agencia Espacial Europea (ESA) que se encuentran en período de prueba, constituyen en cambio servicios experimentales de procesado InSAR dirigidos a facilitar la explotación de datos radar a usuarios no expertos. FASTVEL (Berardino *et al.*, 2002) proporciona velocidades de deformación con una resolución espacial de 30 por 30 m, mientras que P-SBAS (Casu *et al.*, 2014; de Luca *et al.*, 2015) proporciona tanto velocidades como series temporales de deformación, aunque con menor resolución (100 por 100 m nominales). En cuanto a los tres satélites mencionados (ERS, Envisat y Sentinel-1), todos ellos de emisión en banda C (λ = 5.8 cm), conviene destacar el gran avance que ha supuesto la entrada en funcionamiento de Sentinel-1 para la monitorización de movimientos del terreno en comparación con la antigua generación de satélites ERS-Envisat, debido tanto al reducido tubo orbital del primero, como a su corto período de revisitado. Aunque la resolución espacial de las imágenes radar es similar en los tres casos (4 por 20 m para ERS-Envisat y 3 por 14 m para Sentinel-1), los períodos de revisitado difieren significativamente entre ERS-Envisat (35 días) y Sentinel-1 (6 días). Esto se traduce en una menor decorrelación temporal que mejora la coherencia de los procesados Sentinel-1.

Para el análisis comparativo realizado en este estudio, se han utilizado cuatro mapas de velocidad de deformación en línea de vista del satélite (LOS) obtenidos en geometría de adquisición descendente (a lo largo de la órbita descendente del satélite). Dichos mapas son los siguientes: (i) procesado SUBSOFT obtenido a partir de 54 imágenes ERS-Envisat adquiridas entre el 26/04/2003 y el 06/09/2008 (Fig. 1A); (ii) procesado SUBSOFT obtenido a partir de 37 imágenes Sentinel-1 adquiridas entre el 30/10/2014 y el 03/07/2016 (Fig. 1B); (iii) procesado FASTVEL obtenido a partir de 156 imágenes Sentinel-1 adquiridas entre el 30/11/2014 y el 22/09/2018 (Fig. 2A); (vi) procesado P-SBAS obtenido a partir de 79 imágenes Sentinel-1 adquiridas entre el 16/07/2017 y el 02/11/2018 (Fig. 2B).

Conviene señalar que, tanto para Sentinel-1 como para ERS-Envisat, el umbral teórico de detección de desplazamiento entre dos imágenes es $\lambda/4$ = 1.45 cm. Por tanto, para Sentinel-1, considerando un tiempo de revisitado de 6 días, la velocidad de deformación máxima teórica que puede medirse entre píxeles vecinos es de en torno a 85.5 cm/año. En cambio, este umbral es de unos 14.5 cm/año para

ERS-Envisat. En consecuencia, mientras que el procesado de imágenes ERS-Envisat no permite registrar movimientos muy rápidos por cuestiones de decorrelación temporal, el procesado de imágenes Sentinel-1 conserva la coherencia incluso con este tipo de movimientos, posibilitando su detección y monitorización de manera mucho más precisa. Todo ello, sumado al reducido tubo orbital de Sentinel-1, permite la aplicación de técnicas InSAR de pequeña línea de base espacial ("small baseline InSAR approaches"), otorgando a Sentinel-1 mejores prestaciones en comparación con ERS-Envisat para la monitorización de movimientos del terreno asociados a explotaciones mineras, que habitualmente consisten en movimientos rápidos o de cierta magnitud que afectan a taludes naturales o antrópicos.

RESULTADOS

A partir de la comparación cuantitativa de los cuatro procesados señalados, se ha realizado un análisis comparativo (Tabla I). Analizando la tabla, pueden hacerse varias observaciones: el procesado Sentinel-1 con SUBSOFT permite trabajar con la máxima resolución espacial; trabajar a dicha resolución no es posible procesando ERS-Envisat con SUBSOFT, dado que la mayor decorrelación temporal precisa una pérdida de resolución espacial (mooltilook) para mejorar la coherencia; procesar Sentinel-1 con FASTVEL y P-SBAS también requiere multilook, aunque en estos casos se hace más por cuestiones de optimización del procesado (la necesidad de obtener resultados en un corto tiempo con el menor consumo de recursos implica perder densidad de PSs en favor de una mayor flexibilidad, velocidad de procesado y extensión del mismo).

De esta forma, la densidad de PSs obtenidos es máxima para el procesado Sentinel-1 con SUBSOFT; para el resto de procesados, la densidad de PSs es máxima para el procesado Sentinel-1 con FASTVEL (7% de la densidad del procesado Sentinel-1 con SUBSOFT), intermedia para el procesado Sentinel-1 con P-SBAS (14% de la densidad del procesado FASTVEL) y mínima para el procesado ERS-Envisat con SUBSOFT (7% de la densidad del procesado FASTVEL). Por último, aunque todas las cadenas de procesado proporcionan velocidades de deformación LOS, únicamente SUBSOFT y P-SBAS permiten obtener series temporales de deformación. Sin embargo, este aspecto, que representa a priori una desventaja de FASTVEL, se contrarresta con el tipo de servicio que proporcionan tanto FASTVEL como P-SBAS. Nótese que estos últimos constituyen servicios de procesado en la nube que posibilitan, a usuarios no expertos, el procesado de datos radar evitando el uso intensivo de recursos tecnológicos y la descarga masiva de datos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas InSAR satélite para la monitorización de movimientos del terreno en zonas mineras es ahora posible utilizando Sentinel-1, que proporciona excelentes resultados en términos de resolución espacial y temporal en comparación con la antigua generación de satélites ERS-Envisat. En este trabajo, el uso de Sentinel-1 ha permitido detectar y mapear con precisión las inestabilidades investigadas por Herrera *et al.* (2010) en la Sierra Minera de Cartagena (Murcia).

Las mejoras en tecnología y procesado han permitido que las limitaciones en densidad de resultados y velocidades máximas detectadas se hayan superado. Por otra parte, gracias a los nuevos servicios de procesado desarrollados por la ESA, entre otros, FASTVEL y P-SBAS, usuarios poco familiarizados con la aplicación de técnicas InSAR pueden llevar a cabo análisis preliminares. Estas herramientas permiten realizar una evaluación previa, tanto si se estudian grandes zonas y deformaciones no lineales (P-SBAS), como si se investigan zonas de menor tamaño que requieren mayor densidad de datos (FASTVEL). Además, sirven de base para facilitar, en fases de estudio más avanzadas, la obtención de procesados de alta calidad y resolución, al proporcionar una primera estimación de la extensión y valores de la deformación monitorizada. Ambos servicios permiten procesar los datos evitando el uso de excesivos recursos tecnológicos y la descarga masiva de datos, si bien es necesario aplicar técnicas complementarias (nivelación, GPS diferencial, etc.) para validar los resultados.

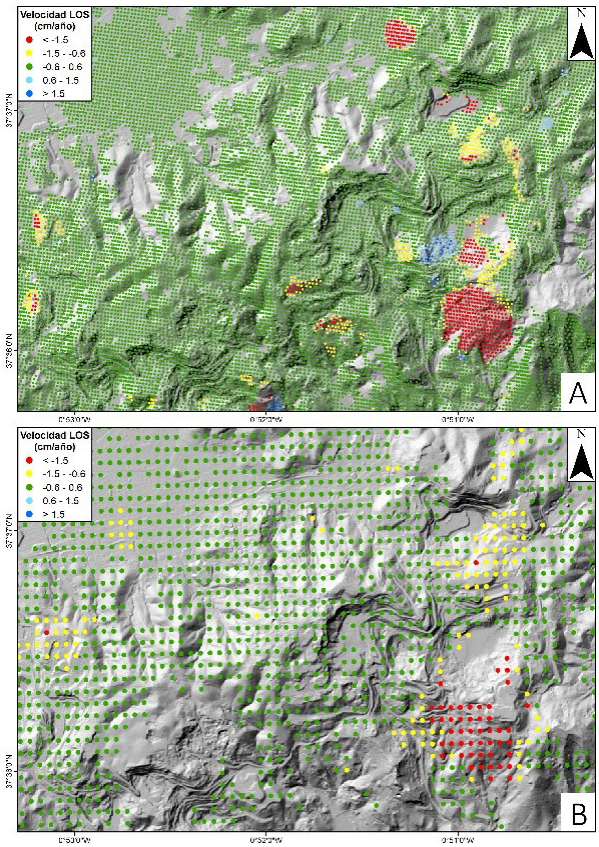


FIGURA 2. Procesados obtenidos con (A) FASTVEL y (B) P-SBAS utilizando imágenes Sentinel-1 mediante la plataforma online "Geohazards Exploitation Platform".

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer su apoyo a HEMAV SL y al Instituto Geológico y Minero de España durante el desarrollo de este trabajo.

Satélite	Software	Res. Espacial (m x m)	Res. temporal (días)	Área (km^2)	Densidad PS (PS/km^2)	Velocidad LOS	Serie temporal	Servicio online
ERS-Envisat	SUBSOFT	80 x 80	35	127	52	X	X	-
Sentinel-1	SUBSOFT	3 x 14	6	34	11205	X	X	-
Sentinel-1	FASTVEL	30 x 30	6	138	784	X	-	X
Sentinel-1	P-SBAS	75 x 90	6	12671	111	X	X	X
Sentinel-1	P-SBAS	75 x 90	6	12671	111	X	X	X

TABLA 1. Comparación de los resultados de los procesados InSAR satélite utilizados.

REFERENCIAS

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. y Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11): 2375–2383.

Blanco-Sànchez, P., Mallorquí, J. J., Duque, S. y Monells, D. (2008). The Coherent Pixels Technique (CPT): An Advanced DInSAR Technique for Nonlinear Deformation Monitoring. En: *Earth Sciences and Mathematics*. Birkhäuser Basel, 1167–1193.

Casu, F., Elefante, S., Imperatore, P., Zinno, I., Manunta, M., De Luca, C. y Lanari, R. (2014). SBAS-DInSAR parallel processing for deformation time-series computation. IEEE *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(8): 3285–3296.

de Luca, C., Cuccu, R., Elefante, S., Zinno, I., Manunta, M., Casola, V., Rivolta, G., Lanari, R. y Casu, F. (2015). An on-demand web tool for the unsupervised retrieval of earth's surface deformation from SAR data: The P-SBAS service within the ESA G-POD environment. *Remote Sensing*, 7(11): 15630–15650.

Herrera, G., Tomás, R., Vicente, F., Lopez-Sanchez, J. M., Mallorquí, J. J. y Mulas, J. (2010). Mapping ground movements in open pit mining areas using differential SAR interferometry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(7): 1114–1125.

Mora, O., Mallorqui, J. J. y Broquetas, A. (2003). Linear and nonlinear terrain deformation maps from a reduced set of interferometric SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 41(10 PART I): 2243–2253.

Integración del uso de drones y la simulación numérica para elestablecimiento de medidas correctoras frente a desprendimientos: Caso de estudio Ayna (Albacete)

Integration of drones uses and numerical simulation for the establishment of corrective measures against rockfalls: Case study Ayna (Albacete)

M. Martínez-Corbella[1], R. Sarro[1], I. G. Gallo[2], J. López-Vinielles[1, 3], M. Hérnandez[1], J.C. García-Davalillo[1], C. Lorenzo[1], R. M. Mateos[1], J. Mulas[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Departamento de Investigación y ProspectivaGeocientífica. Área de Riesgos Geológicos. C/ Alenza 1, 28003 Madrid.m.martinez@igme.es; r.sarro@igme.es; m.hernandez@igme.es;jc.garcia@igme.es; c.lorenzo@igme.es; rm.mateos@igme.es;j.mulas@igme.es

2 Universitádella Calabria. Department of Biology, Ecology and Earth Science – DiBEST. galloilenia94@gmail.com

3 HEMAV SL, Carrerd'EsteveTerrades 1, 08860 Castelldefels, Barcelona, Spain. jlvinielles@gmail.com

Resumen: En el presente trabajo se muestra un ejemplo de integración del uso de drones y la simulación numérica para llevar a cabo un correcto establecimiento de medidas correctoras y reducir el riesgo a estos fenómenos de inestabilidad de ladera. Gracias a ambas técnicas, ha sido posible caracterizar el desprendimiento, reconocer bloques que podrían producir nuevos desprendimientos, determinar qué elementos están expuestos al riesgo y hacer una primera estimación del dimensionamiento de las medidas correctoras. Para realizar el análisis del desprendimiento rocoso, se ha utilizado el software RocPro3D para determinar y reproducir las trayectorias seguidas por los bloques en 3-dimensiones, las velocidades estimadas y las energías alcanzadas, así como las alturas, impactos y los puntos de parada o máximo alcance. El caso de estudio que se presenta es la zona de los Cárcavos en el término municipal de Ayna (Albacete) dónde se produjo un desprendimiento el 17 de noviembre de 2018 que generó un gran impacto social.

Palabras clave: desprendimientos, RPAS, modelos 3D, simulación, medidas correctoras.

Abstract: *In the present work, an example of the integration of drones uses and numerical simulation is shown to determine the appropriate correcting measurements as well as to reduce the risk posed by rockfalls. By applying both techniques, it was possible the recognition and characterization of the rockfall source areas, the potential ones as well as the unstable blocks on the slope. In addition, we can determine the exposed elements at risk (buildings, facilities, infrastructures, etc.) and a first estimate of the dimensioning of the correcting measurements. To perform the rockfall analysis, the RocPro3D software was used to determine and reproduce the paths followed by the blocks (runouts in 3D), to estimate speeds and energies reached by the blocks, as well as their heights, impacts andstopping points. The case study here presented is the area of the Cárcavos in the municipality of Ayna (Albacete) where a rockfall occurred on November 17, 2018, whichgenerated a great social impact.*

Keywords: *rockfalls, RPAS, 3D models, simulation, corrective measures*

INTRODUCCIÓN

Desde hace ya más de una década en la que comenzaron a emplearse los drones y la fotogrametría como herramientas de trabajo dentro de las ciencias de la Tierra, han sido muchos los avances conseguidos; permitiendo la reducción de los tiempos de adquisición de datos en campo, el posterior procesado y visualización tridimensional; sin olvidar que se han convertido en herramientas muy útiles y versátiles en zonas remotas, de difícil acceso. Por otra parte, se están mejorando los niveles de predicción de los modelos de simulación de desprendimientos; y se viene demostrando que sus resultados suelen ajustarse muy bien a la realidad. Todo esto está desembocando en una mejora y optimización de los sistemas de protección y corrección frente a desprendimientos.

El paraje de los Cárcavos se ubica a unos 5 km al sureste de la localidad de Ayna, dentro de la provincia de Albacete (Castilla-La Mancha). Geológicamente, se ubica en el dominio de la sierra de Alcaraz; dentro de la cordillera Bética, en la zona Prebética y más concretamente en el Prebético externo (Fallot, 1948). Forma parte del arco estructural Cazorla – Alcaraz – Hellín, responsable de que los relieves existentes estén afectados por intensos procesos de plegamiento y fracturación a consecuencia de la orogenia Alpina. En el área de estudio afloran fundamentalmente calizas jurásicas, materiales aluviales y coluviones cuaternarios. El paraje de los Cárcavos está situado en parte baja de la ladera izquierda del profundo valle por el que discurre el río Mundo. Esta ladera de dirección N55E está orientada al SE, presenta un desnivel medio de unos 300 m (entre aprox. 950 y 650 m.s.n.m.) y una pendiente media de 35º.

En esta zona de estudio, el día 17 de noviembre de 2018, se produjeron unos desprendimientos de rocas que afectaron a la infraestructura viaria AB-5005 y a diversos bienes de naturaleza urbana y rústica del paraje (Fig.1). No hubo heridos ni pérdidas humanas. En esta zona es recurrente la ocurrencia de desprendimientos como evidencia el evento acontecido en diciembre de 2016, de mucha mayor magnitud al del 2018, que afecto a la localidad de Ayna, provocando el corte de la carretera autonómica CM-3203.



FIGURA 1. Daños producidos por el desprendimiento del 17 de noviembre de 2018. Fuente: El Digital de Albacete

METODOLOGÍA

Después de producirse el desprendimiento, se planificó una campaña de campo (Martínez-Corbella *et al.*,2019). Durante esta campaña en primer lugar, se llevó a cabo la toma de puntos de control mediante la utilización de GPS. Se dispusieron de 15 GPC (Ground Control Points) en bloques de roca fragmentados, afloramientos rocosos in situ y viales. Los trabajos elaborados con GPS, se complementaron con el empleo de estación total para la toma de puntos de control en el escarpe vertical. Los puntos obtenidos posteriormente, se utilizaron para referenciar y mejorar la precisión del modelo digital 3D. A continuación, se realizaron varios vuelos fotogramétricos con RPAS en modo automático y manual, con los que se obtuvieron videos y fotografías de la zona del desprendimiento y talud. Con las fotografías adquiridas, aplicando técnicas fotogramétricas Structure from Motion (SfM), se generaron las nubes de puntos, y un modelo digital de superficie de 0,1 m x 0,1 m de la zona del desprendimiento. Los vuelos manuales sirvieron para visualizar las zonas altas del escarpe, que desde la base eran visualmente inapreciables. También han permitido la obtención de fotografías frontales y cenitales de los puntos de control existentes en la cara vertical del escarpe, para minimizar errores.

Gracias a los trabajos de campo también ha sido posible cartografiar los siguientes elementos: (i) cicatriz del desprendimiento, (ii) bloques desprendidos, identificandose más de 600 bloques, (iii) masas inestables; zonas en las que podrian individualizarse bloques a futuro; por la existencia de grietas abiertas, voladizos prominentes, presencia de signos de circulacion de agua, (iv) bloques sueltos en la cabecera y parte media del escarpe, y bloques individualizados del conjunto del macizo; y (v) bloques sueltos pretéritos, es decir bloques ya caidos que presentan signos evidentes de alteración o disgregación y se encuentran sobre superficies inestables.

Con la informacion obtenida, a continuación se realizó la simulación de los desprendimientos mediante el uso del software RocPro3D. RocPro3D permite la simulación de las trayectorias producidas por la caída de rocas en 3-dimensiones, mediante una aproximación probabilística que considera las variaciones de la forma de los bloques, las características del suelo y las irregularidades del terreno. Los datos de entrada necesarios fueron el modelo digital de elevaciones de la zona a una buena resolución (formato raster), la localización de las áreas fuente de los desprendimientos, las características geométricas de los bloques de roca, y las propiedades de cada una de las unidades litológicas que conforman el suelo (parámetros de restitución tangencial y normal, y el coeficiente de fricción principalmente). El modelo digital del terreno se obtuvo a partir de la nube de puntos 3D de la zona de estudio adquirida con RPAS. En una segunda fase, fue necesario eliminar aquellos puntos considerados como vegetación densa, para minimizar la incertidumbre que los resaltes derivados de estos puntos, podrían influir en los resultados de la simulación. El modelo utilizado tenía una resolución de 0,2 x 0,2 m. Las áreas fuente fueron delimitadas en campo teniendo en cuenta la existencia, densidad y continuidad de discontinuidades o fracturas en el macizo rocoso, la presencia de signos de alteración en las juntas y la existencia de voladizos en determinadas zonas del escarpe. A partir del análisis de las fotografías aéreas obtenidas en la zona,se definieron las areas fuente.

Antes de proceder a la asignación de valores a los distintos coeficientes del terreno, se combinaron las unidades litológicas existentes en el mapa geológico y los usos del suelo reconocidos sobre el terreno para determinar las clases de terreno existente. Para determinar los valores de cada uno de ellos,se partió de la bibliografía existente (Budetta and Santo, 1994; Guzzetti *et al.*, 2003; Pfeiffer and Higgins, 1990; Mateos *et al.*, 2016), y trabajos anteriores desarrollados en zonas con unas características geológico-estructurales y geomorfológicas similares (Sarro *et al.*, 2014; 2018). Se seleccionaron unos valores iniciales, y tomando como referente el evento acontecido, se realizaron sucesivas simulaciones, hasta lograr el ajuste más preciso con los datos identificados en campo.

RESULTADOSY DISCUSIÓN

A partir de la interpretación de los datos obtenidos en la campaña de campo con el uso de drones, las fotografías aéreas y el modelo 3D de la ladera; se infiere que el desprendimiento de rocas, se produjo tras el deslizamiento planar tipo “cuña” de un bloque de roca caliza de unos 260 m^3 y 700 toneladas de peso, situado en la parte más alta del escarpe subvertical, que al desplazarse hacia el borde, sufriría un vuelco y posterior caída libre de unos 90 m hasta la base del mismo. El bloque impactó contra la parte

baja de este escarpe, lo que dio lugar a una hendidura en el terreno o "cráter de impacto" de dimensiones estimadas en 11.5 metros de largo, 7.7 metros de ancho y 1 metro de profundidad y la subsecuente fragmentación de la roca en multitud de bloques (estimados en más de 600 unidades) de dimensiones variables. Estos bloques, por efecto de la pendiente existente, rodaron ladera abajo, siguiendo un canal preferente; alcanzando entre otros puntos; la carretera, cochera y zonas aterrazadas de la vega del río.

Las simulaciones realizadas han servido para determinar la peligrosidad a la que están expuestas las diferentes infraestructuras (carretera y edificaciones) existentes. Así, se han generado mapas de trayectorias (Fig. 2) que muestran el recorrido y alcance de los bloques, mapas de densidades que evidencian los corredores preferenciales de bloques, mapas de energías de impacto, que muestran las distintas energías de impacto; siendo la más elevada de 65000 KJ, coincidente en la ubicación del cráter, a pie del escarpe y mapas de puntos de impacto. Con la información obtenida, se evaluó el efecto que tendría la implantación de barreras dinámicas en la protección de las infraestructuras expuestas a futuros desprendimientos rocosos. Como ubicación mas óptima se seleccionó el camino existente en la zona baja del escarpe, al permitir un rápido emplazamiento de maquinaria. Se asignó una altura de barrera y se definióla capacidad de retención en unidades de energía.

Ademas, por medio de la integración de los trabajos con drones y de la simulación numérica, se ha constatado que el paraje de los Cárcavos podría estar expuesto a la ocurrencia de nuevos desprendimientos de roca por lo que, es necesario desarrollar varias actuaciones encaminadas a reducir el riesgo. En este sentido, analizando las imágenes tomadas con el dron, se han identificado bloques sueltos en la cabecera del escarpe que podrían producir futuros desprendimientos. Además, se ha evidenciado la presencia de un gran voladizo en la parte intermedia del escarpe, estimado en 24 metros de largo, 7 metros de fondo y 14 metros de alto.

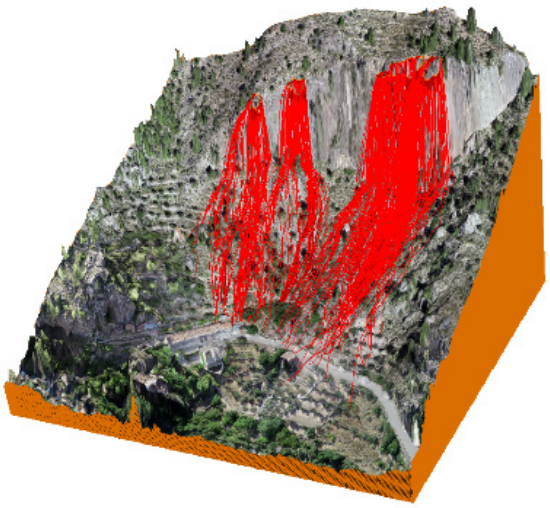


FIGURA 2. Trayectorias obtenidas a partir de la simulación de los desprendimientos

Se ha constatado la eficacia que tiene la vegetación en la retención de los bloques desprendidos. La reforestación de la ladera es una medida correctora a aplicar, con la finalidad de aprovechar los efectos de pantalla natural ante pequeños desprendimientos y de fijación de suelo, con mejores capacidades de amortiguación que el coluvión desnudo durante los impactos de los bloques caídos. En la zona baja del escarpe, se encuentran localizados dos bancales destinados a los cultivos, que se vieron sensiblemente dañados. En las simulaciones llevadas a cabo se ha demostrado que son estructuras muy importantes, al tener capacidad para retener bloques y así, evitar su avance hacia las casas. Además, estos elementos, favorecen que se disipe la energía generada por los bloques en su caída y en consecuencia, mitigar el riesgo.

CONCLUSIONES

Las nuevas técnicas de teledetección, como el uso de fotogrametría a partir de imágenes tomadas con drones, han mejorado la calidad y la resolución de la información necesaria para analizar la ocurrencia de desprendimientos. Gracias al uso combinado de drones con la simulación numérica, ha sido posible proponer una serie de medidas protectoras para mitigar el riesgo por desprendimientos. La fase de calibración, necesaria en cualquier modelo, ha evidenciado la existencia de una correlación muy precisa con respecto a las observaciones de campo y la cartografía del inventario de bloques.

Finalmente, con las simulaciones realizadas ha quedado demostrado, que el paraje de los Cárcavos está expuesto a la ocurrencia de nuevos desprendimientos de roca cuyas dimensiones y ocurrencia no pueden definirse con exactitud. Se han identificado las áreas fuente en la parte NE del macizo rocoso; y a partir de éstas, en caso de nuevas caídas, se han estimado trayectorias de bloques que son capaces de traspasar la carretera y llegar a la zona de la vega del río Mundo. Con los modelos, también ha sido posible identificar cuáles son los corredores preferenciales de los bloques y órdenes de magnitud de energías de impacto; datos necesarios para el correcto dimensionamiento de las barreras dinámicas; como una de las medidas más eficaces y seguras existentes en el mercado para detener la caída de rocas.

La combinación de ambas técnicas, abre por tanto la posibilidad de poder proporcionar información de apoyo a los técnicos que trabajan en la gestión del riesgo por desprendimientos, suponiendo un gran avance para la labor de los expertos en estas situaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha y al Instituto Geológico y Minero de España su apoyo en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Budetta, P., & Santo, A. (1994). Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (southern Italy): A case study. Engineering Geology,36(3-4), 197-210.

Fallot, P. (1948). Les Cordilleres Bétiques. Es:. Geo/., núm. 8, pp. 83-172.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., &Wieczorek, G. F. (2003). Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(6), 491-503.

Mateos, R. M., García-Moreno, I., Reichenbach, P., Herrera, G., Sarro, R.; Rius, J., Aguiló, R., Fiorucci, F., (2016). Calibration and validation of rockfall modelling at regional scale: application along a roadway in 541 Mallorca (Spain) and organization of its management. Landslides 13, 751–763.

Martínez Corbella, M., Hernández, M., García– Davalillo, J.C., Rodriguez Pascua, M.A., Sarro, R. (2019). El desprendimiento de rocas ocurrido el 17 de noviembre de 2018 en “Carcabos” (Ayna – Albacete). Informe inédito. Servicio Medio Natural y Biodiversidad. Junta de Comunidades de Castilla La Mancha.

Pfeiffer, T. J., & Higgins, J. D. (1990). Rockfall hazard analysis using the Colorado rockfall simulation program. *Transportation Research Record*, (1288).

Sarro, R., Mateos, R. M., García-Moreno, I., Herrera, G., Reichenbach, P., Laín, L., & Paredes, C. (2014). The Son Poc rockfall (Mallorca, Spain) on the 6th of March 2013: 3D simulation. Landslides, 11(3), 493-503.

Sarro, R., Riquelme, A., García-Davalillo, J.C., Mateos, R.M., Tomás, R., Pastor, J.L., Cano, M., Herrera, G. (2018). Rockfall Simulation Based on UAV Photogrammetry Data Obtained during an Emergency Declaration: Application at a Cultural Heritage Site. Remote Sens. 10, 1923.

Geología y Cambio Climático
Geology and Climate Change

W. Martínez del Olmo

Oil and Gas Capital s. l. C / Ángel Muñoz 3, Madrid . wmartinez@oilandgascapital.com

Resumen: Desde que Keeling en 1978, midió y publicó el ascenso de la concentración del $C0_2$ en la atmósfera terrestre, hemos leído cientos de publicaciones que tratan el cambio climático. Unas son formales, pues proceden de instituciones con reconocido prestigio, otras provienen de organizaciones que, ni estudian, ni saben Geología y Astronomía. Y llama la atención el casi absoluto silencio de la comunidad geológica que, desde los registros sedimentarios y los testigos del hielo antártico conoce la historia del Planeta, pero no se posiciona en cuestiones clave como: el origen, causas, desarrollo, principio y posible final del, muy mediático, cambio climático. ¿Qué motiva este silencio?: 1. Un total acuerdo con lo publicado, caso difícil de admitir porque desde Geología conocemos cambios climáticos anteriores a la revolución industrial y mucho más severos que el actual. 2. Desacuerdos, difíciles de trasmitir a los medios. 3. Precaución por las consecuencias mediáticas de significarse parcial o totalmente en contra, lo que llama la atención porque ya no hay tribunales de la inquisición y hace casi 400 años del enjuiciamiento de Galileo Galilei. Las líneas precedentes expresan suficientes motivos para que nuestra comunidad geológica trate de explicar lo que de paleo-climas conoce y lo que es más importante, como tratar de revertirlo o aminorarlo.

Palabras clave: Cambio Climático, Origen, Debate.

Abstract: *Keeling (1978) published the rise of the $C0_2$ concentration in the Earth's atmosphere, we are receiving dozens of publications dealing with climate change. Some are formal, because they come from institutions with recognized prestige, while others come from organizations, which neither study nor know Geology. At the same time, it draws attention the almost absolute silence of the national and international geological community, that from sedimentary records and Antarctic ice knows the history of the planet, nevertheless, it does not focus on key issues such as: origin, causes, development and end of climatic change. What motivates this silence?: 1. A total agreement with the much published, case difficult to admit because from Geology we know numerous climate changes prior to the industrial revolution and much more severe than the current one. 2. Disagreements, difficult to convey to the media. 3. Caution for the media consequences of a partially or totally disagreement it, which is striking because there are no the inquisition courts and almost 400 years ago of the prosecution to Galileo Galilei. The above lines express enough reasons for our geological community to try to explain it knowns over paleoclima.*

Keywords: *Climatic Change, Origin, Controversy*

INTRODUCCIÓN

Desde que Ch. D. Keeling (1978) midió la cantidad de CO_2 presente en la atmósfera terrestre y presentó la llamada curva del "palo de golf" que muestra el aumento del mismo desde la revolución industrial, el CO_2 emitido por la quema del carbono ha sido atribuido como único responsable del cambio climático. Una verdad a medias que admite matices frecuentemente olvidados o silenciados, ya que: 1. Desde los registros sedimentarios se conoce que los cambios del nivel marino han sido una constante a lo largo de millones de años (Haq *et al.*, 1987) lo que traduce que el planeta manifiesta un ritmo propio que no podemos obviar y que en gran medida es independiente de la llamada culpabilidad del carbono o de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas, matiz, frecuentemente olvidado por aquellos que, no estudian Geología y parece que no conocen que las posiciones orbitales del Planeta (precesión, oblicuidad y excentricidad) y la actividad solar, modulan y condicionan los cambios climáticos (Milankovitch, 1920; Berger, 1980); 2. Podemos asegurar que el actual cambio climático es uno más de las decenas de ellos ocurridos en la historia del Planeta, y que el inter-glacial que vivimos (450 ppm de CO_2) significa un registro muy inferior a las 3.500 ppm del Paleoceno (Pearson and Palmer, 2000 Zachos *et al.*, 2001) tiempo en el que nosotros, los mamíferos aceleramos nuestro desarrollo. También conviene conocer que numerosos paleontólogos aseguran que el crecimiento de la capacidad cerebral, del Australopithecus al Sapiens, estuvo inducida por ciclos climáticos de 400.000 años y el actual es posible que se corresponda con uno de ellos, por lo que deseamos que nuestros paleontólogos acierten y así crezca el cerebro a los que trasmiten una única visión del Cambio Climático.

Es evidente que los geólogos creemos en el cambio climático y no podemos negarlo, pero sí que estamos obligados a trasmitir a las jóvenes generaciones que no todo lo que les llega es una absoluta verdad, y este, no otro, es el propósito de esta nota.

DATOS GEOLÓGICOS

Sea desde los registros sedimentarios o desde los testigos cortados en el hielo antártico (Mitchum *et al.*, 1977; Haq

et al., 1987; Etheridge *et al.*, 1996; Ledesma, 2000; Luthi *et al.*, 2008; Martínez del Olmo y Martín, 2016) o desde sencillas reconstrucciones que demuestran que el calentamiento global se anticipa a las elevadas concentraciones del $C0_2$ (Pomar, 2018), hoy conocemos numerosos cambios climáticos que sin duda provocaron la dinámica de los océanos y que por su edad no podemos culpar de ellos a los combustibles fósiles. También conocemos que bruscas caídas del nivel marino conocidas en Geología como *forced regressions* (Posamentier *et al.*, 1992; Watts, 1982) y otras causas, intra y extraterrestres, como tectónica global y subsidencia local, erupciones volcánicas y caída de meteoritos, impulsaron enormes cambios climáticos que en algunos casos provocaron la extinción del 80-90 % de los seres vivos que poblaban el Planeta, pero que este se recuperó y la vida, de nuevo, se abrió paso con fuerza.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En líneas precedentes se ha expresado que numerosos conocimientos aportados por la Geología y las tecnologías de muy variado tipo, pueden llegar a debatir-discutir el origen y devenir del actual cambio climático, y es por ello por lo que proponemos a la comunidad geológica que participe en la difusión de sus datos, porque así podremos avanzar en el origen del mismo, su futuro y en lo que conocemos y que podremos utilizar para combatirlo (Martínez del Olmo, 2018 y 2019) y ello, sea cual sea nuestra posición sobre lo publicado: un total acuerdo o desacuerdos parciales que son difíciles de exponer a la opinión pública.

Conclusión, rechazamos el terror que difunden los desinformados medios y lo poco que, en ocasiones, contribuyen al conocimiento del cambio climático por el que transitamos.

REFERENCIAS

Berger, A. L. (1980): Time Milankowicht astronomical theory of paleoclimates: a modern rewiew. Vistas in Astronomy. 24:103-122.

Eteridge, D. M., Steele, L. P., Langfields, R. L., Barnolas, T. M., Morgan, V. I. (1996): Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO_2 over last 1,000 years from air in Antartic ice and firm. *Journal of Geophysical Research*, 101: 4115

Haq. B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R., 1987. The Chronologies of the fluctuating sea level since the Triassic. *Science* 235: 1156-1167.

Keeling, Ch. D. (1978): The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmosferic C02 Research. In *Mauna Loa Observatory a 20 th Anniversary Report* (J. Miller, Ed), NOAA Special Report 36-54.

Ledesma, S. (2000): *Astrobiocronología y estratigrafía de alta resolución del Neógeno de la Cuenca Guadalquivir-Golfo de Cádiz.* Tesis Universidad de Salamanca. 464 p.

Luthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T. F. (2008): High-resolution carbon dioxide concen- tration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, 453(7193), 379-382.

Martínez del Olmo, W. (2018): Geología, cambio climático y como tratar de aminorarlo. *XIV Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales, Sevilla*, 10 p.

Martínez del Olmo, W. (2019): Cambio Climático, acuerdos de París y trampas geológicas donde secuestrar el CO_2 en España. Revista de la Sociedad Geológica de España. 32 (2): 87-106.

Milankovitch, M. (1920): *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. Gauthier-Villars, Paris, 339 p.

Mitchum, R. M. Jr., Vail, P. R. and Sangree, J. B. (1977): Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea levels. *American Association Petroleum Geologist. Mem*, 26: 117-146.

Pearson, P. N. and Palmer, M. R. (2000): Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. *Nature*, 406: 695-699.

Pomar, Ll. (2018): El CO_2 no causa el calentamiento global. *El Heraldo de Aragón.*

Posamentier, H. W., Allen, G. P., James, D. P. and Tesson, M. (1992): Forced regressions in a sequence stratigraphic. *American Association Petroleum Geologist Bulletin*. 76, 1687-1709.

Watts, A. B. (1982): Tectonic subsidence, flexure and global changes of sea-level. *Nature*, 297: 469-474

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. (2001): Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 millons years to present. *Science*, 292, 686-693



Figura 1.- La curva del palo de golf mostrando el incremento del CO_2 desde el inicio de la revolución industrial.

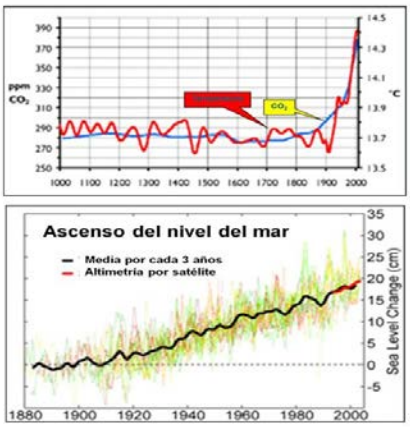


Figura 2.- Temperatura, CO_2 y el ascenso del nivel marino medido en 23 estaciones fijas /1 m. en 50 años. (Panel de Cambio Climático).

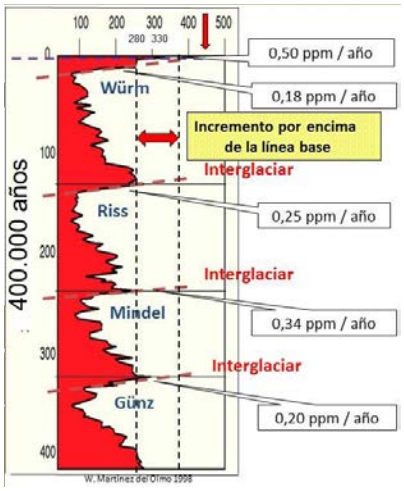


Figura 3.- Desde los datos facilitados por los testigos del hielo antártico, los ritmos del incremento del $C0_2$ en Günz, Mindel, Riss y Würm, y como sus líneas base han sido sobrepasadas en los últimos 250 años.

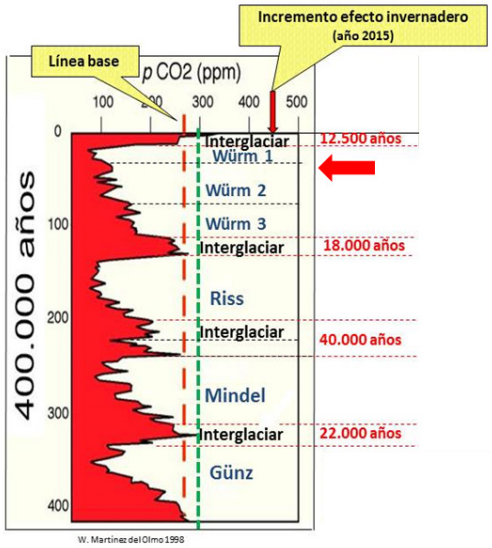


Figura 4.- Duración de los interglaciares y expansión del homo sobre el Paneta (flecha roja) merced a la aparición de los puentes intercontinentales, hecho decisivo para la biodiversidad humana.

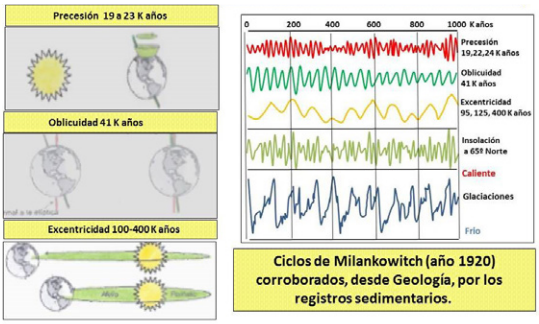


Figura 5.- ¿Gobiernan y modulan el clima del Planeta? (Modificado de Berger, 1980)

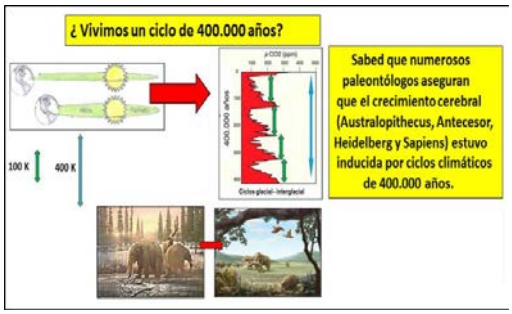


Figura 6.- ¿Vivimos un ciclo de excentricidad (100.000-400.000 años y culpamos de sus consecuencias al desarrollo industrial?

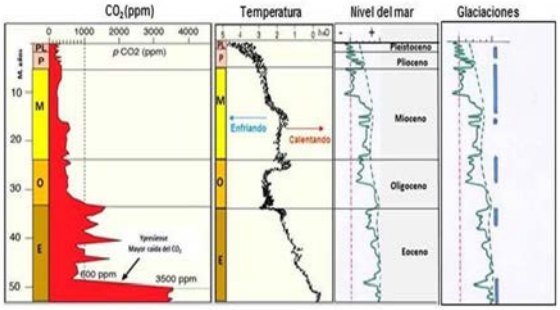


Figura 7.- Cincuenta millones de años enfriando y $C0_2$ bajando desde el máximo termal (Paleoceno-Eoceno) con 3.500 ppm a los 429 actuales. (Zachos *et al.*, 2001)

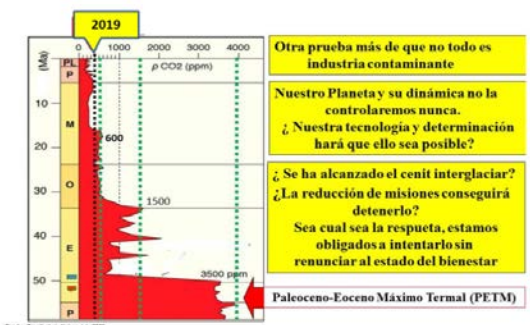


Figura 8.- Para aminorar el cambio climático (no controlar) ¿tendremos que renunciar al estado del bienestar? (Modificado de Trapiti *et al*, 2005, Pagani *et al.*, 2005, Pearson and Palmer, 2005)

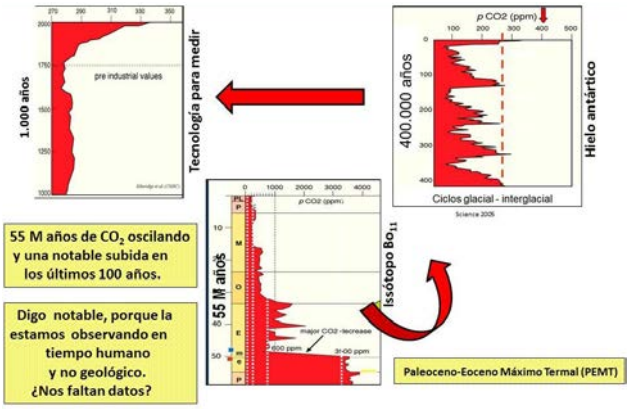


Figura 9.- Tecnología para medir el ascenso del CO_2 en los últimos 100 años y ausencia de datos en tiempo geológico. (modificado de Zachos *et al.*, 2001)

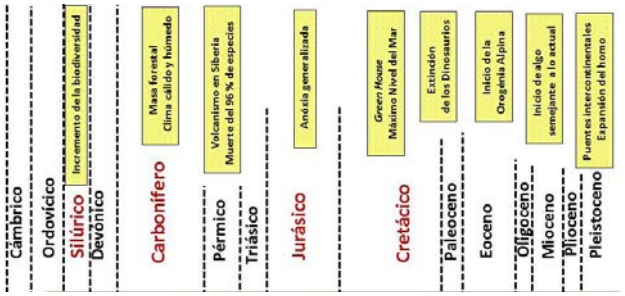


Figura 10.- La dinámica del Planeta y algunos de los acontecimientos que modificaron su biodiversidad y los contenidos atmosféricos de $C0_2$.

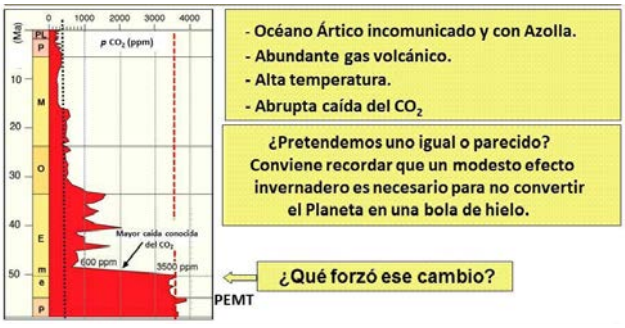


Figura 11.- El máximo termal (PEMT) del Paleoceno-Eoceno: un Ártico con agua dulce y el espectacular desarrollo del helecho flotante Azola. (modificado de Brinkuis Bujak,2006)

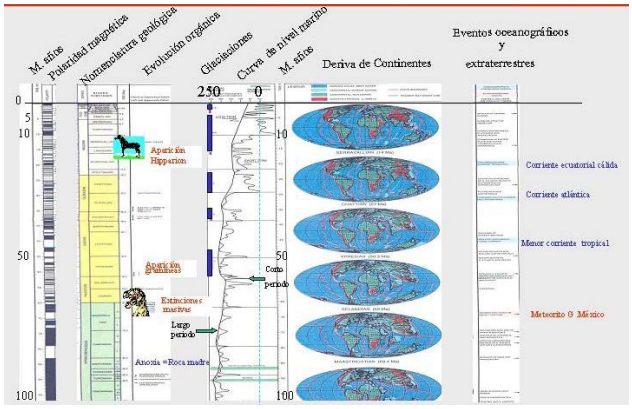


Figura 12.- La dinámica del Planeta que no controlaremos nunca.

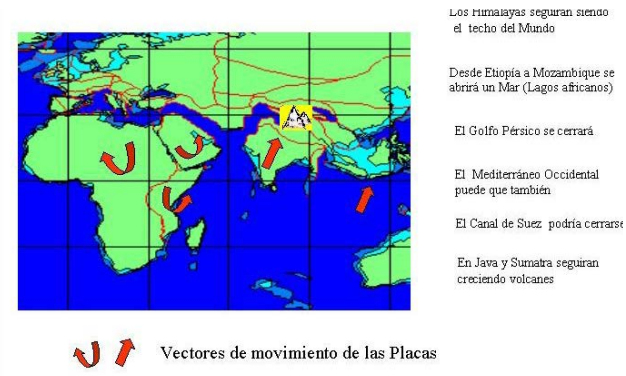


Figura 13.- Sólo se habla del cambio climático y ni una palabra de la movilidad del Planeta y sus efectos sobre el clima

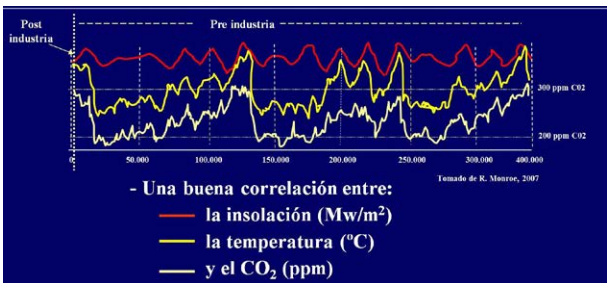


Figura 14.- Cuatrocientos mil años de hielo antártico y un corto tiempo de industria contaminante. ¿Suficiente para obtener conclusiones geológicas? (modificado de Monroe, 2007. Science)

ADATools: Conjunto de herramientas para el análisis de mapas de movimientos del terreno obtenidos con Interferometría SAR.

ADATools: set of tools for the analysis of ground displacement maps obtained by SAR interferometry.

O. Monserrat [1], A. Barra [1], C. Reyes-Carmona[2], M. Bejar[2], J. Navarro[1], R. Tomás[3], J.P. Galve[4], L. Solari[1], R. Sarro[2], R.M. Mateos[2], J.M. Azañón[4]

1 Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC/CERCA), Division of Geomatics, Av. Gauss 7, E-08860 Castelldefels, Barcelona, Spain; omonserrat@cttc.cat (O.M.)
2 Geohazards InSAR laboratory and Modelling group (InSARlab), Geoscience Research Department, Geological Survey of Spain (IGME), Alenza 1, 28003 Madrid, Spain; rm.mateos@igme.es (R.M.M)
3 Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Alicante, Alicante, Spain.; roberto.tomas@ua.es
4 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Avda. del Hospicio, s/n, 18010 Granada, Spain; jpgalve@ugr.es (J.P.G.)

Palabras clave: PSI, movimientos del terreno, monitoreo, DInSAR, Sentinel-1.

Resumen

La técnica Persistent scatterer (PSI) basada en datos SAR interferométricos se ha consolidado como una importante herramienta de monitoreo de los movimientos de la superficie terrestre. Un claro ejemplo de esto ha sido la aparición de varios servicios regionales/nacionales e incluso continentales para el monitoreo sistemático de movimientos del terreno. El proyecto European Ground Motion Service generará un mapa de desplazamiento en toda Europa una vez al año. Pese a la consolidación de la técnica, su uso operativo todavía está en manos de usuarios con la experiencia suficiente para interpretar correctamente los resultados PSI. La generación de herramientas y metodologías que faciliten la gestión de la enorme cantidad de datos por analizar y su análisis es fundamental. Las ADATools son un primer paso en esta dirección. Son herramientas sencillas y rápidas para extraer de forma automática y proporcionar una interpretación preliminar de las principales Áreas de Deformación Activa (ADA) detectadas. ADATools incluye: (i) el ADAFinder, que detecta las ADA principales, las delimita espacialmente y les asigna un índice de calidad; (ii) LOS2hv, se usa en caso de que tengamos mapas de geometrías ascendentes y descendentes para derivar la componente horizontal (este-oeste) y vertical del movimiento; (iii) el ADAClassifier que se encarga de clasificar preliminarmente en base al tipo de movimiento esperable. En esta presentación, se presentan los procedimientos utilizados por el ADATools y algunos ejemplos de aplicación. En concreto, se comentarán algunos resultados sobre una zona de la región de Granada, conseguidos en el marco del Proyecto RISKCOAST (Ref: SOE3/P4/E0868) (Programa Interreg Sudoe a través del Fondos FEDER).

Abstract

The Persistent scatterer (PSI) technique based on interferometric Synthetic Aperture Radar data is nowadays a consolidated tool for monitoring the movements of the Earth's surface. A clear example of this has been the development of various regional, national and even continental services for the systematic monitoring of ground movements. The European Ground Motion Service project will generate a displacement map across Europe once a year. Despite the consolidation of the technique, its operational use is still conditioned to the users' experience and knowledge of the interferometric technique to correctly interpret PSI results. The generation of tools and methodologies that ease the management of the big amount of data and its analysis is essential. ADATools are a set of tools easy to use allowing for the automatic extraction and preliminary interpretation of the main Active Deformation Areas (ADA) detected. ADATools includes: (i) the ADAFinder, which detects the main ADA and spatially delimit them and gives a quality index; (ii) LOS2hv, it is used in case we have maps of ascending and descending geometries to derive the horizontal (east-west) and vertical components of the movement; (iii) the ADAClassifier that is in charge of preliminary classification based on the type of expected movement. In this presentation, the procedures used by the ADA tools are presented. Some results will be commented on an area of the Granada region, achieved within the framework of the RISKCOAST Project RISKCOAST (Ref: SOE3/P4/E0868), funded by the Interreg Sudoe Program through the FEDER Funds).

Aplicación de un sistema electro-magnético en dominio de frecuencias (FDEM) para la caracterización de suelos contaminados por arsénico

Application of an electro-magnetic system in frequency domain (FDEM) for the characterization of soils affected by arsenic contamination

A. Muñoz-Martín[1,3], M.L. García Lorenzo[2], E. Crespo[2], J.M. Ruiz-Roso[3], J.L. Granja[1] y P. Castiñeiras[2]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Fac. de CC Geológicas (U. Complutense de Madrid), c/ Jose Antonio Novais, 12, 28040 Madrid. amunoz@ucm.es

2 Grupo de Geoquímica de Exploración y Ambiental. Fac. de CC Geológicas (U. Complutense de Madrid), c/ Jose Antonio Novais, 12, 28040 Madrid

3 Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), c/ Severo Ochoa, 7. 28040 Madrid.

Palabras clave: geofísica, geoquímica, suelo, contaminación, arsénico.

Resumen

Las técnicas geofísicas son cada vez más utilizadas para determinar la contaminación de suelos en estudios ambientales, gracias a que son técnicas no invasivas, y que permiten realizar y obtener alta densidad de información a un bajo coste. Este estudio analiza el potencial de un sistema EM en dominio de frecuencias (FDEM) para caracterizar el subsuelo de una antigua zona minera en Guadalix de la Sierra (Madrid) con presencia de arsénico en el suelo. Se ha realizado una campaña de campo que ha permitido la caracterización de resistividades aparentes y componente en fase del terreno hasta 3.3 m de profundidad. Los datos obtenidos han permitido realizar mapas de estas dos variables a tres profundidades diferentes, así como inversiones tomográficas en 2D del subsuelo en las principales zonas anómalas. Los resultados se han comparado con los datos geoquímicos previos, y se ha analizado la viabilidad de dicha técnica geofísica para determinar zonas con mayor potencial de contaminación. Los resultados geofísicos obtenidos permiten discriminar cuatro tipos de materiales: a) rellenos de pasivos mineros, b) roca fresca (gneises), c) suelos y d) zonas de fractura en el basamento. Los datos geoquímicos muestran que los altos contenidos en As coinciden con zonas de pasivos mineros y/o suelos. Los resultados geofísicos y geoquímicos apoyan el uso de esta técnica geofísica FDEM para cartografiar de manera rápida zonas con alto potencial de contaminación en este tipo de contexto geológico.

Abstract

Geophysical techniques are increasingly used for determining the pollution of soils in environmental studies, since they are non-invasive techniques, and let to obtain a high amount of information at a low cost. The potential of an EM system in frequency domain (FDEM) has been used to characterize the subsoil of an ancient mining area in Guadalix de la Sierra (Madrid) with presence of arsenic. A field campaign was carried out, allowing to obtain the apparent resistivities and in-phase component in the soils up to 3.3. m deep. Acquired data have been represented, and maps of these variables at three different depths have been created, as well as 2D tomographic resistivity sections across the main anomalous areas. The results have been compared with previous geochemical data (Ruiz-Roso, 2018), and the viability of the FDEM technique has been analyzed in order to determine areas with high potential of arsenic contamination. Geophysical results allow to discriminate four types of materials: a) passive mining infillings, b) fresh rock (gneises), c) soils and d) fractured zones in the basement. Geochemical results suggested that the highest arsenic contents are coincident with areas of passive mining infillings and /or soils. Geophysical and geochemical results support the use of this FDEM geophysical technique in the screening of areas with potential heavy metal contamination.

Elevadas dosis de radón (^{222}Rn) y terremotos en la Sima del Vapor (Murcia)

High radon (^{222}Rn) dose and earthquakes in the Vapor Cave (Murcia)

R. Pérez-López[1], A. Fernández-Cortés[2], S. Cuezva[3], Á. Sánchez-Malo[4], E. Sanz[4], S. Sánchez-Moral[5], J.M. Calaforra[2], T. Martín-Pozas[5], A. Marcos-Nuez[6], E. Bañón[7]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. SPAIN. r.perez@igme.es
2 Departamento de Bilogía y Geología. Universidad de Almería. acortes@ual.es, jmcalaforra@ual.es
3 Department of Biology, University of Antwerp, Belgium. soledad.cuezvarobleno@uantwerpen.be
4 GEOMNIA NATURAL RESOURCES. Madrid. asanchezmalo@geomnia.es, esanz@geomnia.es
5 Departamento de Geología. MNCN-CSIC – Museo Nacional de Ciencias Naturales. ssmilk@mncn.csic.es, tmpozas@mncn.csic.es
6 GERA, Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid. simarcosnuez@gmail.com
7 Espeleoclub Resaltes de Murcia. tritom_99@yahoo.es

Palabras clave: radón, terremotos, cuevas, sima del Vapor, Murcia.

Resumen

La sima del Vapor se relaciona con la Falla de Alhama de Murcia y presenta elevadas concentraciones de radón (^{222}Rn) (Murcia, Pérez-López *et al.*, 2016). Se ha monitorizado la concentración de radón del interior entre el año 2017 y 2019 con trazadores portátiles de partículas α (SARAD - Home), y medidas puntuales con monitores de alta resolución RAD7 y ALPHAGUARD. La concentración media es: 52,9 +/- 6,1 kBq/m^3, con un valor mínimo de 35,6 y máximo de 67,8 kBq/m^3. Entre -50 y -80 m de profundidad se han detectado con el ALPHAGUARD picos en la concentración de radón superior a 70 kBq/m^3. Estos valores sitúan a la Sima del Vapor como la cueva natural más radiactiva de España, ligeramente por encima de Castañar de Ibor (concentración media: 34.6+/- 5.6 kBq/m^3, Álvarez-Gallego *et al.*, 2015). Además, se han obtenido varias series temporales cada 4 h y se han comparado con los terremotos registrados en campo cercano (10 km diámetro) y campo lejano (50 km). Desde 2017, se han registrado 99 terremotos en total, siendo el terremoto máximo en campo lejano de M 3,5 y en campo cercano M 2,4.

Abstract

Vapor Cave shows a high radon air concentration related to the Alhama de Murcia Fault (Pérez-López et al., 2016). A time series (2017 – 2019) of radon emission was obtained by monitoring with handled alpha-counter loggers (SARAD-home) and by using high-resolution devices RAD7 and ALPHAGUARD. Averaged concentration of ^{222}Rn was 52.9 +/- 6.1 kBq/m^3, oscillating between 35.6 and 67.8 kBq/m^3. This value implies that Vapor Cave is the Spanish cave with the highest natural radon dose, higher than Castañar de Ibor (average concentration of 34.6+/- 5.6 kBq/m^3, Álvarez-Gallego et al., 2015). Also, we have compared time series of ^{222}Rn with earthquakes recorded in near-field (10 km diameter) and far field (50 km diameter). The maximum recorded earthquakes during this period were M 3.5 in far-field and M2.4 in near-field.

Referencias

Alvarez-Gallego, M., Garcia-Anton, E., Fernandez-Cortes, A., Cuezva, S., Sanchez-Moral, S. (2015). J*ournal of Environmental Radioactivity,* 145: 19-29.

Pérez-López R., Sánchez-Moral, S., Cuezva, S., Martínez-Díaz, J.J., Quiles, L., Bañon, E. y Marcos-Nuez A. (2016). *Geo-Temas*, 16 (1), 363-366.

Déficit de oxígeno y temperatura en superficie en cavidades de la zona centro de la Península Ibérica

Oxygen depletion and surface temperature in caves from central Iberian Peninsula

R. Pérez-López[1], S. Sánchez-Moral[2], T. Martín-Pozas[2], A. Fernández-Cortés[3], S. Cuezva[4], A. Marcos-Nuez[5]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. SPAIN. r.perez@igme.es,
2 Departamento de Geología. MNCN-CSIC – Museo Nacional de Ciencias Naturales. ssmilk@mncn.csic.es, tmpozas@mncn.csic.es
3 Departamento de Bilogía y Geología. Universidad de Almería. acortes@ual.es
4 Department of Biology, University of Antwerp, Belgium. soledad.cuezvarobleno@uantwerpen.be
5 GERA, Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid. simarcosnuez@gmail.com

Palabras clave: oxígeno, cuevas someras, ventilación, temperatura, calentamiento anual medio.

Resumen

Se han realizado una serie de muestreos de aire y mediciones ambientales en la Sima CJ-3 (-80 m, Soria) entre 2014 y 2019, y en la Sima de la Tierra Muerta (-45 m, Cuenca) entre 2017 y 2019. En ambas cavidades se detectaron valores de O_2 muy por debajo de los habituales (20-21%) en estos ambientes. En la CJ-3 el valor mínimo fue de 16% a -75 m de profundidad. En la Sima de la Tierra Muerta el límite inferior de oxígeno fue de 16,1% a -45 m. Los datos muestran una tendencia temporal descendente del perfil de O_2 desde el comienzo de las mediciones (2014), relacionado con el incremento de la temperatura media mensual del exterior de las cavidades que provoca un descenso de las tasas de intercambio de aire entre al ambiente subterráneo y el exterior. Esta menor tasa de ventilación favorece la acumulación de altas concentraciones de CO_2 en el interior de ambas simas, con valores que alcanzan el 4,5% y provocan la sub-oxigenación estacional por sustitución del O_2 en su interior. La señal isotópica de la fuente de CO_2 ($\delta^{13}CO_2$), con valores entre -21,5 y -24,0 ‰, indicaría que el gas acumulado puede generase en la zona vadosa inmediatamente superior y estar relacionado con actividad microbiana propia de este tipo de cavidades hipóxicas, diferente de la que se produce en otras cavidades más someras y con niveles atmosféricos de oxígeno.

Abstract

Air samplings and an environmental monitoring program have been conducted at Sima CJ-3 (-80 m, Soria) between 2014 and 2019, and Sima de la Tierra Muerta (-45 m, Cuenca) from 2017 to 2019. In both cavities, O_2 values were detected well below the usual ones (20-21%) in these environments. In the CJ-3 the minimum value was 16% at -75 m deep. In the Sima de la Tierra Muerta, the lowest oxygen value was 16.1% at -45 m. The data show a downward trend in the O_2 profile since 2014, related to the increase in the average monthly temperature outside the cavities that causes a decrease in air exchange rates between the underground environment and outside atmosphere. This lower ventilation rate favours the accumulation of high concentrations of CO_2 inside (4.5%) and cause seasonal under-oxygenation by replacing of O_2. The isotopic signal of the CO_2 source ($\delta^{13}CO_2$) ranging from -21.5‰ to -24,0 ‰, could indicate that CO_2 can be generated mainly in the immediately superior vadose zone and be related to special microbial activity of hypoxic cavities, which is different from that produced in other shallower oxygenated cavities.

El Sistema de Información Dinámica del Litoral (SIDL): una herramienta para la gestión de los riesgos costeros en Cataluña.

The Dynamic Coastal Information System (SIDL): a tool for managing coastal risks in Catalonia

J. Pinyol[1] y M. González[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Parc de Montjuïc 08038 Barcelona. Jordi.Pinyol@icgc.cat y Marta.Gonzalez@icgc.cat

Palabras clave: dinámica litoral, geoinformación, cambio climático

Resumen

El litoral de Cataluña concentra la mitad de la población residente y gran parte de la actividad económica. Estas características lo convierten en una zona altamente vulnerable expuesta a los peligros de la dinámica marítima, como la erosión y la inundación. Es ejemplo de ello el impacto de los últimos temporales (González *et al.*, 2020). A la dinámica natural se le superpone la acción humana, alterando el funcionamiento natural de las playas con una intensa urbanización y la construcción de infraestructuras como puertos, diques, espigones y vías de comunicación. Además, en el litoral se prevén importantes impactos del cambio climático, especialmente en zonas topográficamente bajas, como el Delta del Ebro.

El proyecto "Sistema de Información de la Dinámica Litoral (SIDL)" recoge el guante del proyecto PIMA (MITECO) al que se le suma la experiencia adquirida por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya en la observación del territorio (ICGC, 2021) y del análisis de su dinámica (Rodriguez *et al.* 2017). EL SIDL se ha concebido como una interfaz de visor de mapas que centralizará el conocimiento geolocalizado de la costa, monitorizando la evolución costera. El objetivo final es el de poner a disposición de las administraciones, de la ciudadanía y de las empresas, la información de base necesaria para la realización de los estudios imprescindibles para hacer frente a las vulnerabilidades de la costa catalana en un futuro escenario, muy cercano, de emergencia climática, siempre persiguiendo su sostenibilidad.

Abstract

The coast of Catalonia concentrates half of the resident population and a large part of the economic activity. These characteristics make it a highly vulnerable area exposed to the dangers of maritime dynamics, such as erosion and flooding. An example of this is the impact of recent storms (González et al., 2020). The urbanization of a large part of the coastal, with ports, breakwaters, roads and railways, have altered the natural functioning of the beaches. In addition, in these areas a greater impact of climate change is expected, especially in the Ebro Delta. It's inspired by the PIMA project (MITECO) adding the cartographic (ICGC, 2021) and geological (Rodriguez et al. 2017) experience acquired by the ICGC. SIDL has been conceived as a map viewer interface that will centralize geolocated knowledge of the Catalan coast, monitoring coastal evolution. The final objective of the SIDL is to make available to administrations, citizens and companies, the basic information necessary for carrying out the essential studies to face the vulnerabilities of the coast in a future scenario of climatic emergency, always pursuing its sustainability.

Referencias

González, M.; Pinyol, J.; Micheo, M. J.; Carles, R.; Pi, E.; Vilà, M.; Soldevila, E.; Picart, J.; Subiela, G.; Peña, J.; Reixach, J; Sánchez, E. (2020). El temporal Gloria (19-23/1/2020): Els efectes dels processos geològics sobre el territori. Monografia 8. ICGC. D.L.: B. 14 835-2020.

ICGC (2021). Visor de l'evolució de la costa. https://visors.icgc.cat/costa/ .

Rodriguez, X., Vilà, M., Pi, R., Mora, O., Pérez-Aragüés, F. And Marturià, J. (2018) Subsidence Susceptibility of the Ebro Delta Plain. Project Ebro ADMICLIM, European Commission LIFE Programme: LIFE13 ENV/ES/001182.

Validación del Mapa para la Prevención de los Riesgos Geológicos de Cataluña mediante el inventario de fenómenos sucedidos con posterioridad a la cartografía.

Validation of the Hazard Prevention Map of Catalonia through the phenomena inventory that occurred after mapping.

J. Pinyol[1] y M. González[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Parc de Montjuïc 08038 Barcelona. Jordi.Pinyol@icgc.cat y Marta.Gonzalez@icgc.cat

Palabras clave: cartografía de riesgos geológicos, peligrosidad, inventario.

Resumen

El Mapa para la Prevención de los Riesgos Geológicos (MPRG25M) del ICGC es un mapa multi-peligrosidad que ofrece una visión de conjunto de los peligros geológicos, su grado de peligrosidad y recomendaciones sobre la realización de estudios de detalle (Oller *et al.*, 2011). Se representan los fenómenos e indicios de actividad, y la peligrosidad natural de los procesos generados por las geodinámicas externa e interna. Los fenómenos considerados son: movimientos de ladera (desprendimientos, deslizamientos, flujos torrenciales...), aludes, hundimientos (subsidencias y colapsos), inundaciones y terremotos. El plan de cartografía está constituido por 304 hojas 1:25.000 (32.000 km^2), unos 140 km^2 por hoja. Se han finalizado 56 hojas (20% del territorio) y otras 13 están en fase de trabajo. En paralelo al MPRG25M, en el Sistema de Información de Riesgos Geológicos (SIRG) se recogen los fenómenos geológicos en diferentes bases de datos (BD): BD de movimientos del terreno (LLISCAT), BD del MPRG25M, la BD de eventos documentados por los Agentes Rurales y la BD de información histórica (González *et al.* 2017). Para validar las hojas publicadas se ha partido de 1300 fenómenos documentados en el SIRG desde 2010. Se han utilizado únicamente aquellos producidos con posterioridad a la cartografía de campo para certificar si los nuevos fenómenos se encuentran en zonas diagnosticadas con peligrosidad y comprobar el grado asignado según las especificaciones técnicas de realización (González *et al.* 2016).

Abstract

The MPRG25M, made by ICGC, is a multi-hazard map at 1:25000 scale. It includes the representation of evidence, phenomena and hazard of geological processes (Oller et al., 2011). The phenomena considered are slope movements (landslides, landslides, torrential flows ...), avalanches, subsidence and collapses, floods and earthquakes. The mapping plan is made up of 304 1: 25,000 sheets (32,000 km^2), about 140 km^2 per sheet. 56 sheets have been completed (20% of the territory) and another 13 are in the working phase. At the same time, the ICGC collects the geological phenomena that have happened in the Geological Hazard Information System (SIRG) in several databases (González et al. 2017). For the validation of the published sheets, 1300 documented phenomena have been used since 2010, using only those produced after the field surveying to certify if the new phenomena are in dangerous areas and to verify the degree of hazard (González et al. 2016).

Referencias

Oller, P., González, M., Pinyol, J., Barberà, M. y Martínez, P. (2011). En *Landslide Science and Practice* (C. Margottini, P. Canuti, K. Sassa, eds.), Vol 1. Springer-Verlag, Heidelberg: 473-480.

González, M., Pinyol, J., Ramisa, J., Querol, N., y Marturià, J. (2017). En: *IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Comunicaciones, 651-662 pp.

González, M., Pinyol, J. y Oller, P. (2016). *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice* (Aversa *et al.*, Eds.) AGI, Rome, 999-1002 pp.

Estimación del volumen del deslizamiento de Mencui (Pirineos catalanes) mediante LiDAR aereotransportado

Estimation of Mencui (Catalan Pyrenees) landslide volume using airborne LiDAR

J. Pinyol[1], M. González[1] y J. Montilla[2]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Parc de Montjuïc 08038 Barcelona. Jordi.Pinyol@icgc.cat y Marta.Gonzalez@icgc.cat
2 Geologo. jmp.9486@gmail.com

Palabras clave: deslizamiento, LIDAR, cálculo de volumen, Modelo Digital del Terreno (MDT).

Resumen

El deslizamiento de Mencui (Pallars Sobirà) es el movimiento de ladera más importante, por sus dimensiones, afecto un área de 6,1 ha (Pinyol *et al.*, 2019), ocurrido durante la temporada extraordinariamente lluviosa de 2018. Para caracterizar el deslizamiento y estimar el volumen de material movilizado se ha realizado su cartografía geomorfológica y una comparación espacio-temporal de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) de antes y después del evento, obtenidos mediante LiDAR aéreo. Se han utilizado datos de: a) Trabajos de campo, b) LiDAR aerotransportado en avioneta de 2009 y 2016, para obtener ortofotos (resolución espacial de 0,5 m), y MDT (tamaño de celda de 2 x 2 m) previos al movimiento; c) LiDAR aerotransportado en UAV, para obtener ortofoto de alta resolución (resolución espacial de 0,1 m) y MDT (tamaño de celda de 0,15 x 0,15 m) de después del deslizamiento (abril de 2019).

El deslizamiento se ha clasificado como un movimiento complejo, con una componente de deslizamiento rotacional en la parte superior y un comportamiento fluidal en la parte inferior. El análisis de los MDT de 2009 y 2016 ha permitido comprobar que la ladera ya presentaba movimiento antes de la rotura, hecho observado en 2017 por un ingeniero forestal. De la comparación de los MDT de 2009 y 2019 se ha obtenido un modelo de diferencia de elevaciones (Chen *et al.*, 2014) con valores máximos de acumulación de 23 m de potencia y erosiones de 19 m. Mediante la unión de este modelo con la interpretación de la superficie de rotura, se ha obtenido un volumen total del deslizamiento de 357.000 ± 11.700 m^3.

Abstract

The Mencui's landslide is a complex type (rotational-flow) and is the largest landslide occurred during the rainy season of 2018. To characterize the landslide and estimate the volume of mobilized material, we have been carried out a geomorphological mapping and a space-time comparison of the Digital Terrain Models (DTM) before and after the event, obtained by aerial LiDAR. Data have been used from: a) Field work, b) Airborne LiDAR in light aircraft from 2009 and 2016, to obtain orthophotos (0.5 m spatial resolution) and MDT (cell size of 2 x 2 m) prior to the movement; c) Airborne LiDAR in UAV, to obtain high resolution orthophoto (0.1 m spatial resolution) and MDT (0.15 x 0.15 m cell size) after the landslide (April 2019).

By comparing the DTMs obtained from airborne data LiDAR of 2009 and 2016, we have observed that the slope moved before the failure. Comparing the DTMs of 2009 and 2019, this last obtained from UAV data LiDAR, we have obtained a difference in elevation map. To know the total volume mobilized in the event, the surface of rupture has been interpreted from all available information. We have obtained 357,000 m^3 ± 11.700 m^3as a total landslide volume.

Referencias

Chen, Z., Zhang, B., Han, Y., Zuo, Z i Zhang, X. (2014). *Remote Sensing* 6, 1514–1537.

Pinyol, J., Montilla, J. y González, M., (2019). MUSLOC (Multi-scales analysis of the slopes under climate change. A cross-disciplinary workshop).

Relación entre exhalación de radón e índice de actividad radioactivo en rocas volcánicas del Archipiélago Canario

Relationship between radon exhalation rate and radioactive activity index in volcanic rocks of the Canary Archipelago

J.A. Rodríguez-Losada[1,3], A. Eff-Darwich[1,3], L.E. Hernández Gutiérrez[3] y R. Viñas Pérez[4]

1 Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife. Islas Canarias, España. jrlosada@ull.edu.es.
2 Gobierno de Canarias. Consejería de Obras Públicas y Transporte. Santa Cruz de Tenerife. Islas Canarias, España.
3 "Instituto Volcanológico de Canarias" (INVOLCAN). Tenerife, Islas Canarias, España.
4 Gobierno de Canarias. Consejería de Educación y Universidades. Santa Cruz de Tenerife. Islas Canarias, España.

Palabras clave: radon, exhalacion, rocas volcánicas, Archipiélago Canario, índice de actividad.

Resumen

Se ha determinado la tasa de exhalación de radón en 37 muestras de rocas volcánicas del Archipiélago Canario cubriéndose un amplio espectro litológico. Mujahid *et al.* (2008), definieron un índice de riesgo radiológico que cuantifica la exposición interna al radón cancerígeno denominado índice de actividad interna. En este trabajo, se trató de obtener una relación entre el índice de actividad interna de las muestras y su tasa de exhalación de radón. Los resultados indican un aumento de la tasa de exhalación de radón con el incremento del índice de actividad interna.

Abstract

The radon exhalation rate has been determined in 37 samples of selected volcanic rocks of the Canary Archipelago covering a wide lithological spectrum. Mujahid et al. (2008), defined a risky radiological index that quantifies the internal exposure to carcinogenic radon named as internal activity index. In this work, we tried to obtain a relationship between the internal activity index of the samples and their radon exhalation rate. The results indicate that there is an increase of the radon exhalation rate as the internal activity index increases.

Referencias

Mujahid, S.A., Rahim, A., Hussain, S. y Farooq, M. (2008). *Radiation Protection Dosimetry*, 130, 206-212.

Fallas de flujo en presas de lodos mineros por licuefacción estática: 14 casos

Flow failure of tailings dams due to static liquefaction: 14 cases

R.L. Rodríguez-Pacheco[1], Ángel Brime[2], A. Muñoz-Moreno[3] y Cristóbal García-Garcia[4]

1 Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera. Instituto Geológico y Minero de España. La Calera 1, Tres Canto. 28760 Madrid, España roberto.roriguez@igme.es; angel.brime.barrios@alumnos.upm.es
2 Escuela Técnica Superior de Energía y Minas. Universidad Politécnica de Madrid. C/Ríos Rosas nº21, 28003, Madrid, Spain
3 Área: Geología, Geomorfología y Cartografía. La Calera 1, Tres Canto. 28760 Madrid (Spain). a.mmoreno@igme.es
4 Departamento de Ingeniería Minera y Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, Murcia, Spain. Cristobal.garcia. cristobal.garcia@upct.es

Resumen: Durante el siglo XX la industria minera española sufrió 14 casos de fallas de flujo por licuefacción estática (FFLE) en presas de lodos mineros, cuatro de ellas con consecuencias catastróficas debido a: liberación de grandes volúmenes de agua y lodos contaminados (4 Mm^3), muerte de 25 personas, la contaminación de varios ríos: Agrio, Guadiamar, Besaya y Urumea, degradación de suelos por la liberación de relaves altamente contaminados. Los principales mecanismos de disparo de la FFLE son: fallos en el sistema de drenaje, sobrepaso, colapso de la fundación, erosión interna, etc. La investigación posterior al desarrollo de FFLE muestra que tienen varios aspectos en común: a) los presas han sido construidos por el método de llenado hidráulico; b) Los lodos estaban saturados en el momento de la licuefacción y desarrollo de FFLE; c) El nivel de agua en las presas fue más alto que el de proyecto en diferentes momentos de la construcción, llenado y en el momento de la falla.

Palabras clave: Presa de lodos mineros, licuefacción estática, sobrepaso, erosión interna, investigaciones post fallo

Abstract:

Throughout the twentieth century, in the Spanish mining industry there have been 14 cases of flow failures due to static liquefaction (FFSL) in tailings dams, four of them with catastrophic consequences due to the release of large volumes of water and tailings (TDs), 25 deaths, the affectation of rivers such as Agrio, Guadiamar, Tinto, Besaya, Urumea and large areas of soils due to the release of 4 Mm^3 of tailings to the environment. The main triggering mechanisms of FFSL are: failures in the drainage system, overtopping, foundation failure, piping, etc. The failure investigation of TDs after FFSL shows that they have several aspects in common: a) TDs have been built by the hydraulic fill method; b) Tailings are saturated at the time of liquefaction and flow failure; c) The water level in the TDs was higher than prescribed at different times of construction and fill, etc.

Keywords: *Tailings dam or impoundment, static liquefaction, overtopping, seepage, post failure investigation*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo muestra 14 casos de fallas de flujo debido a la licuefacción estática ocurridas en presas de lodos mineros (relaves) en España durante el siglo XX. A pesar de la importancia de estos no se les ha prestado atención, ni se realizaron investigaciones posteriores, salvo en el caso de Aznalcóllar 1998 (Alonso y Gens, 2006). Los 14 casos son fruto de la cartografía e inventario de residuos de la industria extractiva en España, al ser aplicada la Directiva Europea (2006/21/CE) sobre la gestión de residuos de las industrias extractivas (Real Decreto 975/2009). España es uno de los pocos países que tiene un inventario público de presas de lodos (www.igme.es). En España hay 610 presas de lodos mineros (TD). El método predominante de construcción en España es el de aguas arriba, aproximadamente el 98%. En el cien por cien de las presas la descarga y deposición de los lodos mineros se ha realizado por el método de relleno hidráulico. Del total existente solo el 12 por ciento se clasifican como una gran presa, de acuerdo a los siguientes criterios: 1) un dique con una altura igual o superior a 15 metros, 2) el volumen de almacenamiento de lodos mineros es de más de un millón de metros cúbicos o 3) el dique de la presa tiene una longitud superior a 500 metros de largo, una presa para ser clasificada como gran presa puede cumplir uno, dos o los tres criterios señalados (Oldecop y Rodríguez 2006).

MATERIALES Y METODOS

El inventario y la cartografía de las presas de lodos mineros se desarrollaron según la metodología desarrollada por el IGME (Macho *et al.* 2014).

RESULTADOS

De acuerdo a los resultados cartográficos, 19 presas de lodos mineros muestran evidencia de licuefacción (diques de arena y / o volcanes), 17 de ellos han fallado, 14 han desarrollado fallas de flujo debido a la licuefacción estática y en cuatro el fallo ha tenido consecuencias catastróficas. En la Tabla 1 se describen las principales características de cada una de ellas y los mecanismos de disparo de la licuefacción. A continuación, analizamos los más significativos.

Presa La Luciana, Torre La Vega, Cantabria 1960

La presa fallo a las 22:30 horas del 17 de agosto de 1960, Torre La Vega. Cuando los habitantes comprobaron que la luz se fue y escucharon un ruido tremendo, como una explosión, el presagio les hizo correr hacia el puente de Torres. No les dejaron pasar: el lodo amontonado cortó la carretera e hizo de cruel informador. El puente de La Barquera había desaparecido y al ferrocarril minero se lo había tragado la tierra. Se liberaron al medio ambiente unos 300000 m^3. El mecanismo de fallo nunca ha sido investigado. Solo hay un trabajo que hace referencia al estado actual de la presa y la licuefacción y falla de flujo de los relaves debido al incremento de la presión de poros, problemas de drenaje, licuefacción estática, la presencia de diques de arena y posible fallo de los materiales de la fundación (Fernández-Naranjo *et al.*, 2015).

Presas Cerro de San Cristóbal, Mazarrón, Murcia 1961

El fallo de las presas se produjo a las 16:20 de 17 de octubre de 1961. Tras unas lluvias de 40 mm. La falla de flujo fue resultado del deslizamiento de la escombrera de gravimetría en el vaso de la presa de lodos aguas arriba, la cual provoco el sobrepaso del dique y la destrucción de este, invadiendo el vaso de la presa de lodos aguas abajo y sobrepasando el dique y erosionándolo por dos partes. La escombrera de gravimetría se encontraba y encuentra afectada actualmente por grandes procesos de piping (erosión interna). Las dos presas de lodos estaban saturadas y activas. Este es un caso particular pues no se ha reportado ninguno similar en la literatura científica internacional. La avalancha de 30000 m^3 de agua y lodos sepulto un pozo minero aguas debajo de más de 100 metros de profundidad, 60 metros de galería y ferrocarril minero y se desplazó aguas abajo unos 800 metro hasta la rambla de Las Moreras.

Presa Ortuella, La Orconera, Vizcaya, 1964

La presa fallo el 11 de octubre de 1964, en la localidad de la Orconera, Vizcaya. La avalancha de 90000 m^3 de lodos inundo un área de 2 km^2. La ola de 5 metros de alto sepulto el barrio de Granada y termino con la vida de 6 personas. El talud de la presa tenía una altura media de 13 metros. La longitud del frente de deslizamiento es aproximadamente 50 metros.

El mecanismo o mecanismo de disparo del fallo al parecer fue la combinación de varios factores: la balsa se encontraba sobre una escombrera (El Zarzal, construida en 1890). Los materiales de la escombrera de la fundación eran materiales no consolidados, observándose en el macizo de la escombrera varios terraplenes y desniveles con distinta granulometría y discontinuidad lateral. La balsa de decantación se ubicaba muy al borde del dique debido a que la capacidad del drenaje era insuficiente. Los tres días previos al accidente, fueron días de fuertes lluvias, llegando a contabilizarse unos 72 litros por metro cuadrado. Al parecer de acuerdo a la documentación disponible las causas más probables del fallo fue la combinación de fallo del sistema de drenaje, con sobrepaso del talud y erosión interna.

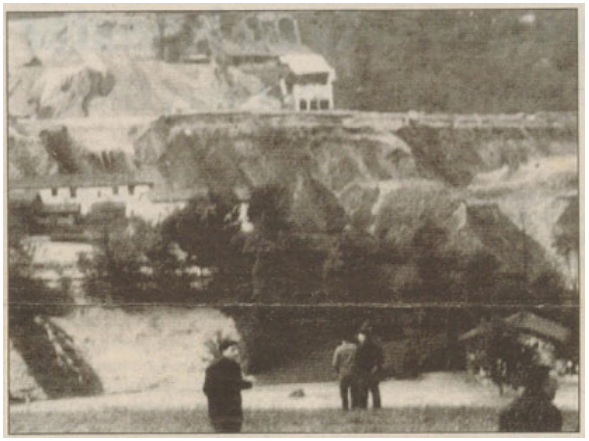


FIGURA 1. Fallo de la presa de Ortuella (Foto periódico El correo, 12/10/1964).

Presa El Descargador, La Unión, Murcia, 1963

La presa falló a las 7:45 el lunes 14 de octubre de 1963 (distrito minero Cartagena-La Unión. Murcia. España). El fallo se desarrolló en cinco puntos diferentes (Fig. 2). En el momento de la falla tenía una altura de 42 metros con cinco lagunas de decantación. La altura del deslizamiento principal era de 27 metros en vertical. Se liberaron al medio ambiente 67000 metros cúbicos de relaves que afectaron: un área de 4.0 km^2, diferentes infraestructuras (carretera Cartagena-Cabo de Palos, ferrocarril Cartagena-Los Blancos), 3) 7 km de cauces de la rambla Matilde y Beal y las aguas llegaron a la laguna "El Mar Menor". La causa de la rotura fue un fallo en el sistema de drenaje (Fig. 3). Se puede observar que el tubo está lleno de lodos (Fig. 3b). Este a su vez se encontraba dentro de la masa de lodos, por lo que estaba sometido a mayor deformación por la carga vertical. El escape de agua provoca un incremento de presión de poros en el interior de la masa de relaves y una redistribución de vacíos (índice de poros). Esto a su vez provoca un cambio tensional del masivo y lo que se puede llamar una falla progresiva. Las evidencias de licuefacción se manifiestan en la presencia de diques de arena en la superficie de la laguna uno (Lg1) que quedo intacta (Fig. 3c) y en los diques de arena que cortan verticalmente los estratos horizontales (Fig. 3d). Los diques de arena están presentes en todos los planos de deslizamientos (LL1-5). En la Fig. 3 se puede apreciar el área ocupada por los lodos en diferentes áreas alrededor de la presa.

Presa Brunita, La Unión, Murcia, 1972

La presa fallo a las 18:15 del 20 de octubre de 1972. Como consecuencia del fallo fueron liberados al medio ambiente 70000 m^3 de lodos. Estos cortaron la carretera Nacional Cartagena-Alicante, destruyo parte de la tubería de agua potable que abastece al municipio La Unión y zonas aledañas, corto el tráfico ferroviario FEVE que une Cartagena-La Unión-Cabo de Palos, rompió la cerca exterior del cementerio inundando parte del mismo y provoco la muerte de una persona. Corto la comunicación telefónica entre Cartagena-La Unión, las aguas liberadas afectaron el cauce de la rambla (Fig. 4).

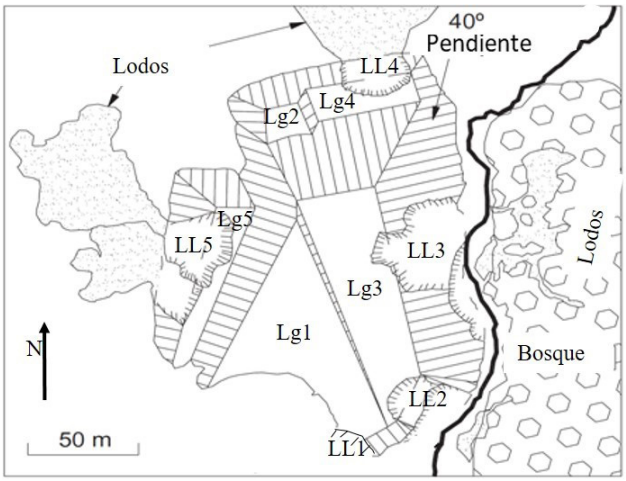


FIGURA 2. La imagen muestra las zonas las lagunas de decantación (Lg), deslizamiento (LL) y una porción del área afectada por los lodos liberados. Los números indican el número de lagunas y deslizamientos.

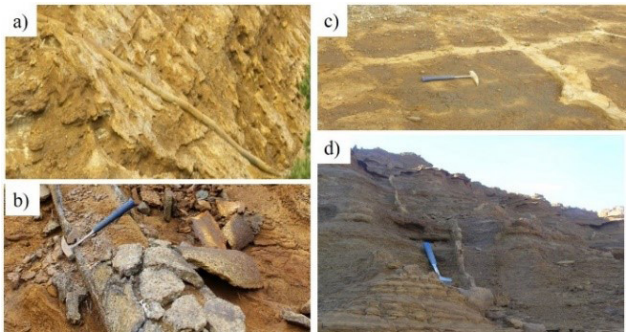


FIGURA 3. a) Sistema de drenaje rígido, b) tubería rota rellena de lodos, d) diques de arena en la superficie de la laguna, d) dique de arena en la superficie de deslizamiento que cortan verticalmente los estratos horizontales. La flecha blanca indica la dirección del flujo.

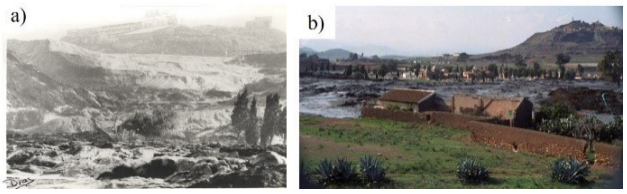


FIGURA 4. a) Frente del deslizamiento, b) lodos que han invadido el cementerio.

Las causas del fallo son varias: fallo del sistema de drenaje y el desarrollo de erosión interna debido al gran temporal los días previos (17, 18 y 19) al accidente, donde se registraron 237 mm en la estación pluviométrica de Cabo de Palos y 119 mm en El Algar.

Presas Goizueta, Navarra, 1983

En agosto de 1983, tras unas intensas lluvias se produjo la rotura de la presa de Goizueta (norte de Navarra), abandonada desde 1970. La cusa fue el fallo del sistema de drenaje. Ello provoco el vertido de 10.000 kilos de residuos ricos en plomo, altamente contaminantes, al río Urumea. El nivel de contenido de plomo superó en más de 10 veces los niveles aconsejables en ríos protegidos. El viejo sistema de drenaje por chimeneas de la balsa no pudo absorber el aumento del caudal de agua y lodo (Ayala-Carcedo y Del Valle de Lersundi, 1983).

Presas de Aznalcóllar, Sevilla, 1998

La presa fallo a las 03:30 del 25 de abril de 1998. Constituye el mayor desastre ambiental en la historia de la minería española pues vertió 3 Mm^3 de relaves al medio ambiente. Es un caso muy bien estudiado y documentado (Alonso y Gens, 2006; Oldecop y Rodríguez, 2006).

DISCUCIÓN Y CONCLUSIONES

En la totalidad de los casos se ha podido comprobar que eran presas de lodos provenientes de la industria metálica. De las 14 presas 13 habían sido construida por el método de aguas arriba, solo el caso de Aznalcóllar era por el método de aguas abajo. En todas las presas los lodos fueron vertidos por el método de relleno hidráulico. El sistema de drenaje de los lodos era variado, pero normalmente por el fondo de la presa y atravesando el dique. En todos los casos eran de material rígido. La proporción de sólidos/líquido normalmente es entre 30 y 40% y la del líquido entre 60-70. En todas las presas se ha podido comprobar que están presentes las estructuras de escape de agua como diques y volcanes de arenas indicativos de que el lodo había licuefactado. Se puede asegurar que la licuefacción es estática pues en ninguno de los casos se produjo terremoto alguno que hubiera producido efecto de licuefacción dinámica. El estudio de la estratificación y la alternancia de estratos de diferente composición granulométrica y propiedades físicas muestran que el nivel de agua en las presas fue más alto que el de proyecto en diferentes momentos de la construcción, llenado. Hay que señalar que para que la falla de flujo ocurra los lodos mineros o relaves tienen que estar saturados, ser contractivos, las tenciones efectivas se tienen que hacer iguales a cero y la tensión de corte tiene que ser superior a la resistencia residual del material. Hay que señalar que la causa del fallo de las presas en ningún caso es un solo factor, sino la combinación de varios normalmente más de tres. Las causas más observadas del fallo de las presas fue la combinación de fallo del sistema de drenaje, con sobrepaso del talud y erosión interna. Se ha podido comprobar

que la rigidez del sistema de drenaje facilita su desacople y fallo ante la carga de los lodos depositados.

REFERENCIAS

Alonso, E., Gens, A. (2006): Aznalcóllar dam failure. Part 1: Field observations and material properties, *Géotechnique*. 56: 165–183

Ayala-Carceddo, F.J., Del Valle de Lersundi, J. (1983): Análisis de la rotura de un depósito de residuos de minería de plomo abandonado y de la contaminación producida al río Urumea. En: *VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*, comunicaciones 8, 77-87.

Fernández-Naranjo, F.J., Rodríguez-Gómez, V., Rodríguez. R., Alberruche-del Campo. M.E., Arranz-González. J.C., Vadillo. L. (2015): Liquefaction susceptibility assessment and study of "La Luciana" tailings dam fault (Spain, 1960) based on historical documents. *Dyna*, 82:189-198.

Macho, A., Vadillo, L., Rodríguez, R., Fernández-Naranjo, F.J., Arranz-González, J.C., Alberruche Del Campo, M.E., Rodríguez-Gomez, V. (2014): Metodología para la realización de un inventario de instalaciones de residuos mineros cerradas o abandonadas. 261 pp. Editor. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España. https://www.researchgate.net/publication/277006709

Oldecop, L., Rodríguez, R. (2006): Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros. En: *Los residuos minero metalúrgicos en el medio ambiente* (R. Rodríguez, A. García-Cortés, eds.) Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 197-243

	Presas	Coordenadas	Mecanismo de disparo del fallo	V (m^3)	Fecha del fallo	Muertos
1*	La Peraleja, La Unión	37º36´13.70´´N 0º53´55.82´´O	Licuefacción estática, diques de arena			
2*	San Quintín, Ciudad Real	37º37´00.45´´N 0º51´45.34´´O	Erosión interna, fallo del talud y falla de flujo	92000		
3**	Brunita, La Unión	37º36´35.21´´N 0º53´19.18´´O	Fallo del Sistema de drenaje (FSD), piping, licuefacción estática y falla de flujo (LEFF)	88000	20/10/1972	1
4**	Peña del Águila, La Unión	37º36´14.51´´N 0º50´03.13´´O	FSD, piping, LEFF	20000	1972	
5**	Carcavón, Portman	37º35´19.98´´N 0º52´03.33´´O	FSD, piping, LEFF	10051	1972	
6**	Descargador, La Unión	37º37´00.45´´N 0º51´45.34´´O	FSD, piping, LEFF	39558	14/10/1963	
7**	San Cristobal, Mazarrón	37º36´00.49´´N 1º19´42.97´´O	Deslizamiento de una escombrera de gravimetría en el vaso de la presa, desarrollo de una ola, sobrepaso, LEFF	20000	17/10/1961	
8**	San Cristobal 2 Mazarrón		FSD, piping, LEFF	10000	17/10/1961	
9**	Luciana, Cantabria	43º20´42.75´´N 4º04´16.56´´O	Colapso de la fundación debido a galerías mineras antiguas y karst, contaminación de las aguas subterráneas. El acuífero subió el nivel freático 20 m	328065	1962	18
10**	Tomasa, La Unión	37º36´30.70´´N 0º50´30.72´´O	Fallo de la fundación, FFSL	9866	1991	
11**	Aznalcóllar, Sevilla	37º29´25.93´´N 6º13´41.35´´O	FSD, piping, LEFF	3000000	25/04/1998	
12***X	Aquisgrana	38º17´52.92´´N 03º36´14.45´´O	FSD, piping, LEFF	15000	2014 se estima?	
13*	Sobrado arriba	42º31´09.33´´N 06º44´00.42´´O		2430		
14	Sobrado abajo	42º31´09.33´´N 06º44´00.42´´O	FSD, piping, LEFF	3372		
15**X	Mina Orconera, Ortuella, Barrio Granada, País Vasco (Vizcaya)		FSD, LEFF, contaminación del río Urumea con plomo		11/10/1964	6
16*	Goizueta, Navarra		Deslizamiento local y LEFF, afectando las marismas de Mendaña	7000	1983	
17**	Fosfoyesos. Huelva, Sevilla	37º14´42.24´´N 06º54´54.62´´O				

TABLA I. Casos de fallo de presas de lodos mineros en España. FSD: fallo del sistema de drenaje. LEFF: licuefacción estática y falla de flujo. Las que tiene un asterisco (*) están abandonadas en el momento de la falla, dos (**) activas con descarga diaria de lodos y tres (***) restauradas. Las que tienen una cruz (X) están desmanteladas

Estudios de polarización de ondas sísmicas generadas por avalanchas de nieve

Polarization studies of seismic waves generated by snow avalanches

P. Roig[1], E. Suriñach[1,2], M. Tapia[1,2], C. Pérez-Guillén[1,3]

1 Grup d'Allaus del RISKNAT. Institut Geomodels. Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. Barcelona. p.roig@ub.edu
2 Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF). Institut d'Estudis Catalans (IEC). Barcelona.
3 WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF. Davos, Switzerland.

Palabras clave: avalanchas de nieve, señal sísmica, polarización de ondas

Resumen

El grupo de Avalanchas del RISKNAT (Universidad de Barcelona) lleva mas de dos décadas desarrollando nuevas metodologías para la detección y la caracterización de la dinámica de las avalanchas de nieve con el uso de señal sísmico (Suriñach *et al*. 2001). Estas metodologías también han sido aplicadas por el grupo en el estudio de movimientos de ladera (Tapia *et al.* 2020). El análisis de datos registrados en el sitio experimental de Vallée de la Sionne (Suiza, SLF) nos ha permitido encontrar patrones en las vibraciones generadas por las avalanchas de nieve, asignables a distintos tipos de flujo y tamaños de avalancha (Pérez-Guillén *et al.* 2016). Aprovechando las actuales capacidades de computación y usando una base de datos sísmicos de más de siete temporadas invernales, reconocemos la evolución de frecuencias dominantes durante el paso de la avalancha sobre de los sensores sísmicos y observamos patrones en la polaridad del movimiento de la partícula -sensores de 3 componentes-, relacionados con la interacción de la avalancha con el suelo y/o con el manto nivoso. Nuestros resultados muestran que es posible distinguir automáticamente el tipo de régimen de flujo cuando la avalancha pasa por encima el sensor. Además, la polarización de las ondas nos permite reconocer las areas de salida de la avalancha. Estos métodos podrían aplicarse en el desarrollo de sistemas automáticos de monitorización de avalanchas en zonas montañosas.

Abstract

Snow Avalanche Research Group from RISKNAT (University of Barcelona) has been developing in the last decades new methodologies for snow avalanche detection and their dynamic characterization using seismic signal (Suriñach et al. 2001). These methodologies have been applied also to other mass movements (Tapia et al. 2020). Analyzing data from snow avalanches recorded at Vallée de la Sionne test site (Switzerland, SLF), we recognized seismic signatures from snow avalanche generated vibrations, linkable to different flow regimes and avalanche sizes (Pérez-Guillén et al. 2016). Using actual computation abilities and processing a database of more than seven winter seasons, we achieve to recognize the dominant frequency evolution along the snow avalanche seismic signal flowing over the seismic sensor and determine the polarity of the particle motion -3 component sensors- showing its relation with the interaction of the snow avalanche with the ground or the snow cover. Our results show that it is feasible to automatically distinguish avalanche flow regimes over seismic sensors. In addition, the particle motion polarization allowed us to estimate the location of the snow avalanche release area. These results can be applied to develop automatic avalanche monitoring systems in mountain regions.

EPILATES: una aplicación para el cálculo de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera sismo-inducidos

EPILATES: a software for computing seismic-induced landslide hazard maps

J.C Román-Herrera[1], J. Delgado[2], M.J. Rodríguez-Peces[1], J.A. Peláez[3] y C. Bonal[2]

1 Dpt. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, C/José Antonio Novais 12, 28040 Madrid, Spain. jorom01@ucm.es, martinjr@ucm.es.
2 Dpt. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante, jose.delgado@ua.es, cbl25@alu.ua.es.
3 Dpt. Física, Campus Las Lagunillas, Universidad de Jaén, 23071 Jaén, Spain. japelaez@ujaen.es.

Palabras clave: inestabilidad de ladera, terremotos, mapas de peligrosidad, árbol lógico.

Resumen

Se presenta un programa desarrollado específicamente para la elaboración de mapas previsores de inestabilidades de ladera sismo-inducidas superficiales mediante la metodología del árbol lógico. El programa requiere como inputs especificar las propiedades geotécnicas medias de los materiales presentes en el territorio, su variabilidad (percentiles 10 y 90), las dimensiones de las inestabilidades (profundidad de la superficie de rotura), la posición del nivel freático, el escenario sísmico a evaluar (mapas de Aceleración Pico/Intensidad Arias esperada y/o magnitud del evento a analizar), y se pueden seleccionar simultáneamente hasta 10 relaciones empíricas para estimar el Desplazamiento de Newmark. El software realiza automáticamente todas las combinaciones posibles de parámetros y evalúa el mapa previsor correspondiente. Finalmente, se ponderan los mapas obtenidos con cada rama del árbol para así obtener el mapa final de peligrosidad. Esta herramienta permite automatizar la evaluación de la peligrosidad de forma eficiente.

Abstract

A program developed specifically for the computing shallow seismic-induced landslide hazard maps is presented. The code is based on the logic-tree methodology. Inputs of the program are average geotechnical properties of the materials, their variability (10th and 90th percentiles), size of instabilities (depth of the failure surface), position of the water table and the seismic scenario to evaluate (Peak Acceleration / Arias Intensity maps expected and / or magnitude of the event to be analyzed). Up to 10 empirical relationships can be selected simultaneously to estimate the Newmark displacement. The software automatically performs all possible combinations of parameters and evaluates the corresponding forecast map. Finally, the maps obtained with each branch of the tree are weighted to obtain the final hazard map. This tool allows automating the hazard assessment efficiently.

Aplicación de técnicas *Big Data* en la elaboración de mapas de peligrosidad de deslizamientos sismo-inducidos

Implementation of Big Data techniques in the development of seismic-induced landslide hazard maps

J.C. Román-Herrera[1] y M.J. Rodríguez-Peces[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid 28040 Madrid. jorom01@ucm.es

Palabras clave: machine learning, clasificación binaria, terremoto, deslizamiento.

Resumen

Actualmente estamos inmersos en una revolución digital e industrial, donde los datos han adquirido una importancia innegable. Es por ello, que la geología se haya visto afectada positivamente por los avances existentes hasta el momento. Un ejemplo de ello es la implementación de nuevas técnicas de aprendizaje estadístico empleadas para modelar y comprender conjuntos de datos complejos (Gareth *et al*., 2013), como son el *Big Data Analysis* (BDA) o *Machine Learning* (ML) aplicados al campo de los riesgos geológicos, en particular en la elaboración de mapas de peligrosidad de deslizamientos sismo-inducidos. Autores como Rodríguez-Peces *et al.* (2013) realizaron extensos inventarios de deslizamientos provocados por terremotos, anotando numerosas características, con el fin de obtener la relación de factores influyentes en ellos. Gracias a estos trabajos previos, se ha podido demostrar que la clasificación binaria de deslizamientos, haciendo uso de algoritmos de *machine learning*, permiten clasificar con mayor exactitud los deslizamientos ocurridos. Esta labor constituye una de las fases previas a la obtención de mapas de peligrosidad de estos deslizamientos, como el realizado por Rodríguez-Peces *et al*. (2020), puesto que para evaluar la precisión del modelo los resultados de clasificación binaria de deslizamientos son utilizados como elemento de contraste de un riesgo predicho frente a un riesgo ocurrido.

Abstract

We are currently immersed in a digital and industrial revolution, where data has acquired an undeniable importance. For this reason, geology has been positively affected by the current advances. One example of this is the implementation of new statistical learning techniques used to modelling and understanding complex datasets (Gareth et al., 2013), such as Big Data Analysis (BDA) or Machine Learning (ML) implemented in the field of geological hazards, in particular in the development of seismic-induced landslide hazard maps. Some authors, such as Rodríguez-Peces et al. (2013), develop extensive seismic-induced landslide inventories, listing some characteristics, to obtain a set of factors that influence their occurrence. Thanks to these previous works, it has been shown that the binary classification of landslides making use of machine learning algorithms allow to classify the landslides that have occurred with greater accuracy. This classification constitutes one of the previous phases prior to obtaining landslide hazard maps, like the one made by Rodríguez-Peces et al. (2020), due to evaluate the precision of the model the results of the binary classification of landslides are used as a contrast element of a predicted hazard versus an occurred hazard.

Referencias

Gareth, J., Witten, D., Hastie, T. y Tibshirani, R. (2013). Springer New York Heidelberg Dordrecht London.

Rodríguez-Peces, M.J., García-Mayordomo, J. y Martínez-Díaz, J.J. (2013). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 1961-1976.

Rodríguez-Peces, M.J., Román-Herrera, J.C., Peláez, J.A., Delgado, J., Tsige, M., Missori, C., Martino, M. y Garrido, J. (2020). *Engineering Geology*, 275.

Flujos de aire fresco en cuevas tectónicas y gravitacionales: una aproximación multidisciplinar

Cool airflows in tectonic and gravitational caves: a multidisciplinary approach

M. Sánchez-Gómez[1], D. Gil[1], J.M. Gómez-López[2], J. Tovar-Pescador[3], J.L. Pérez-García[2], T. Fernández[2], T. Guerra[1], G. Garrido[4] y J.R. Jiménez-Pérez[4]

1 Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. msgomez@ujaen.es, dgil@ujaen.es, tguerra@ujaen.es

2 Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. jglopez@ujaen.es, jlperez@ujaen.es, tfernan@ujaen.es,

3 Departamento de Física, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. jtovar@ujaen.es

4 Departamento de Informática, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. ggluque@ujaen.es, rjimenez@ujaen.es

Resumen: Los flujos descendentes de aire fresco que salen al exterior de las cavidades son un proceso conocido, pero poco estudiado. La presente comunicación incorpora los resultados preliminares de las investigaciones de un equipo multidisciplinar para caracterizar y analizar estos flujos, sus implicaciones medioambientales y la información que suministran del interior de macizos kársticos fracturados. Se han realizado medidas in situ de temperatura, humedad y velocidad del viento, y medidas de temperatura mediante cámaras de infrarrojo térmico (TIR) terrestres y transportadas en drones. Se han estudiado dos sectores con diferentes características geológicas en Sierra Mágina (Jaén). En ambos sectores, la salida de aire fresco ha resultado ser un fenómeno generalizado que se produce durante más de 4 meses al año en múltiples puntos. La temperatura del aire saliente es casi constante para cada boca a lo largo de la estación cálida, pero en cambio pueden variar de una boca a otra próxima. El estudio de este fenómeno tiene aplicaciones directas en espeleología y análisis de riesgos, mediante la localización de bocas y fracturas preferentes. Son necesarias posteriores investigaciones, que incluyan su modelización, para poder determinar los factores del interior del macizo que controlan la temperatura y caudal de salida.

Palabras clave: cuevas tectónicas, TIR, dron, microclima subterráneo.

Abstract: *The downflowing cool air that goes outside the cavities is a known process, but barely studied. This communication incorporates preliminary results of a multidisciplinary-team research to characterize and analyze these airflows, their environmental implications and the information they provide from the interior of fractured karst massifs. In situ measurements of temperature, humidity and wind speed, have been carried out together with image captures by handheld and carried-UAV thermal infrared (TIR) cameras. Two sectors in Sierra Mágina (Jaén, S. Spain) with different geological characteristics have been studied. In both sectors, the expelled cool airflow has turned out to be a widespread phenomenon that occurs for more than 4 months a year at multiple points. The temperature of the outgoing air is almost constant for each entrance throughout the warm season, but instead it can vary from one entrance to the next. The study of this phenomenon has direct applications in speleology and risk analysis, by locating entrances and preferential fractures. In order to determine the factors inside the rock massif that control the process characteristics, future research are necessary, including its modeling.*

Keywords: *tectonic caves, TIR, UAV, cave microclimate.*

INTRODUCCIÓN

El Medio Subterráneo supone una parte muy importante del Medio Ambiente, aunque poco conocida y estudiada. Por ello suele ser obviada, si bien cada vez adquiere mayor relevancia. Las cavidades por su parte constituyen una parte significativa de este medio, en donde los pasajes conocidos son en realidad una fracción pequeña de todos los espacios subterráneos teóricamente accesibles, y estos a su vez corresponden a una ínfima parte de todos los huecos en los que el karst puede albergar fluidos. Esta circunstancia ha hecho que se ensayen diversas técnicas geofísicas con las que descubrir y caracterizar los huecos (Martínez-Moreno *et al.*, 2013 y referencias allí incluidas). Sin embargo, la mayor parte de las técnicas geofísicas convencionales, por ejemplo, gravimetría, sólo son útiles para los espacios mayores y sólo para determinadas geometrías (Gambetta *et al.*, 2011).

Uno de los procesos más dinámicos en ciertos tipos de cavidades es el flujo de aire. Los flujos de aire ascendente se producen cuando el aire del interior de la cavidad, que mantiene una temperatura promedio durante todo el año, está relativamente más cálido que el del exterior y es, por lo tanto, menos denso (Faimon y Lang, 2013). Este hecho ha sido utilizado tradicionalmente en el ámbito de la exploración

espeleológica para localizar entradas de cavidades, por ejemplo, durante las primeras nevadas. Diversos trabajos científicos han testeado la utilidad del uso de cámaras térmicas, también con un fin esencialmente localizador (Rinker, 1975; Wynne *et al.*, 2008), aunque recientemente, y gracias al avance del uso de los drones, ha sido posible la obtención de ortoimágenes térmicas que abren la posibilidad de un análisis cuantitativo de este fenómeno (Pérez-García *et al.*, 2018).

Por el contrario, el flujo descendente de aire relativamente fresco, aunque igualmente conocido (Dematteis, 1972) ha sido mucho menos publicado. Estos flujos, se deben a la misma razón que los flujos de aire relativamente templado: el aire en el interior de las cavidades a una temperatura casi constante se vuelve más pesado que el aire exterior durante el verano. No hay una razón clara para la diferencia del número de estudios sobre uno u otro proceso, pero sería esperable encontrar causas que hicieran del flujo descendente de aire fresco algo menos frecuente, intenso o evidente.

Este trabajo pretende ser una primera aproximación al conocimiento de estos flujos descendentes de aire fresco y su interacción con la atmósfera en la superficie. Proponemos su estudio mediante diversas metodologías: (a) una monitorización microclimática de las entradas a las cavidades y su entorno; (b) una caracterización a través de imágenes térmicas terrestres, una zonación espacial mediante ortoimágenes térmicas obtenidas por cámaras transportadas en drones; y (c) técnicas informáticas de evaluación que determinen de forma semiautomática el peso de los diferentes factores en el control microclimático de las cavidades.

Hemos escogido para este estudio cavidades generadas por a fracturación denominadas cavidades tectónicas, pues su desarrollo esencialmente vertical formando simas, acentúan mediante el efecto chimenea los flujos de aire. Dentro de este tipo de cavidades, hemos considerado también las cuevas dilatacionales formadas en escarpes rocosos por tensión, que deben considerarse en sentido estricto como gravitacionales (Margielewski y Urban, 2017). Ambos tipos de cuevas son abundantes en la Cordillera Bética, y a diferencia de otras cavidades su formación es independiente de las condiciones climáticas (pluviométricas) en las que se encuentren, y en cierta medida de la litología. Además, la existencia en toda la extensión de la cordillera de un clima mediterráneo con un fuerte contraste de temperaturas verano-invierno, hace suponer a priori que los flujos de aire fresco son un fenómeno generalizado que controla una parte importante del intercambio de gases entre el subsuelo y la atmósfera.

SITUACIÓN Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Para la presente comunicación se presentan dos zonas de estudio en Sierra Mágina, en la provincia de Jaén (Fig. 1). Una en la Serrezuela de Pegalajar, como ejemplo de un sistema complejo de simas debidas a fracturas puramente tectónicas (fallas y diaclasas), formando ángulos altos respecto a la orientación de la ladera (Fig. 1), y otra en el Torcal de Arbuniel, como ejemplo de simas dilatacionales debidas a la distensión de un escarpe en retroceso.

La Serrezuela de Pegalajar constituye un acuífero kárstico fracturado sobre calizas prebéticas de edad Cretácica (González-Ramón, 2007). Presenta una alta densidad de simas, accesibles hasta 10-40 m de profundidad, aunque existe un gran número de fracturas no practicables, pero con circulación de aire. Por su parte El Torcal de Arbuniel está formado a partir de un cuerpo tabular de travertinos Pliocuaternarios, con más de 50 m de espesor formado sobre materiales triásicos impermeables (Fig. 1). Se observan abundantes abrigos asociados a la propia formación de la toba calcárea y simas desarrolladas sobre fracturas subparalelas al perímetro de la meseta de travertinos.

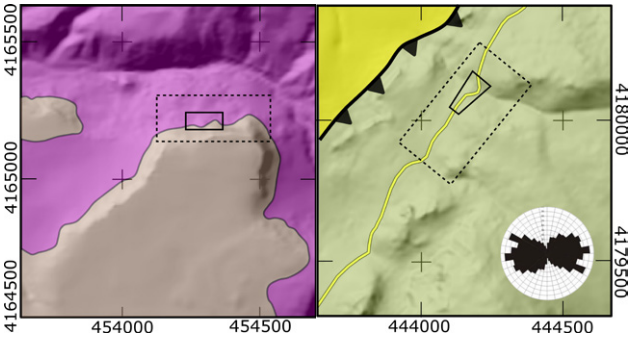


FIGURA 1. Geología sobre el modelo de sombras de las zonas de estudio en el Torcal de Arbuniel (izquierda) y la Serrezuela de Pegalajar (derecha). Cuadrícula UTM30 de 500 m. Leyenda: Morado= Triásico; verde= carbonatos cretácicos; amarillo= margas miocenas; castaño= travertinos pliocuaternarios. Las zonas de vuelo dron con cámaras TIR corresponden a los rectángulos de líneas discontinuas. Se indica la posición de la ortoimagen y fotografía de la Fig. 2. La distribución de fracturas de la Serrezuela está tomada de González-Ramón (2007).

METODOLOGÍA

La caracterización microclimática de las cavidades se ha realizado siguiendo dos protocolos. Según se midiera la temperatura (T) y humedad, o la velocidad del flujo de aire. La temperatura in situ se ha obtenido de forma continua, mediante registradores de datos comerciales con una precisión de 0.5 ºC y una resolución de 0.1 ºC, con los que se realiza una calibración cruzada cada campaña de medidas, alcanzando una precisión relativa de ± 0.1 º C. Un sensor en una campaña típica registra un dato de T cada 10 minutos durante 3 meses. Los sensores se sitúan en tres posiciones normalizadas, en la entrada, a 2 m y a 7-10 m de profundidad. Cuando es posible se sitúan sensores a mayor profundidad, buscando la zona homotérmica de la cavidad. La velocidad de flujo de aire se toma de forma discreta, mediante sensores de molinete o de hilo caliente, con una resolución mínima de 0.1 m/s y un umbral de 0.4 m/s. En cada sector se han monitorizado varias bocas a diferentes alturas, con una diferencia de hasta 60 m; concretamente 5 en el Torcal y 8 en la Serrezuela. Además, se ha situado un sensor en el exterior de cada sector para establecer una referencia de T, presión y humedad.

Para la obtención de ortoimágenes térmicas se ha seguido la metodología propuesta en Pérez-García *et al.* (2018),

consistente en realizar una captura de imágenes mediante UAV con sensor fotográfico convencional y otra con sensor térmico. Una vez procesado fotogramétricamente las fotografías del vuelo visible, se puede pasar la georreferenciación de éste bloque, al bloque de imágenes térmicas mediante el uso de puntos homólogos. Finalmente, una vez orientado el bloque de imágenes térmicas se procede a la obtención de la ortoimagen térmica a partir del modelo de detalle obtenido en el vuelo visible y las imágenes correspondientes al vuelo térmico. Las imágenes térmicas terrestres se han adquirido empleando una cámara FLIR SC660 equipada con un microbolómetro con un rango espectral de 7,5-13 µm.

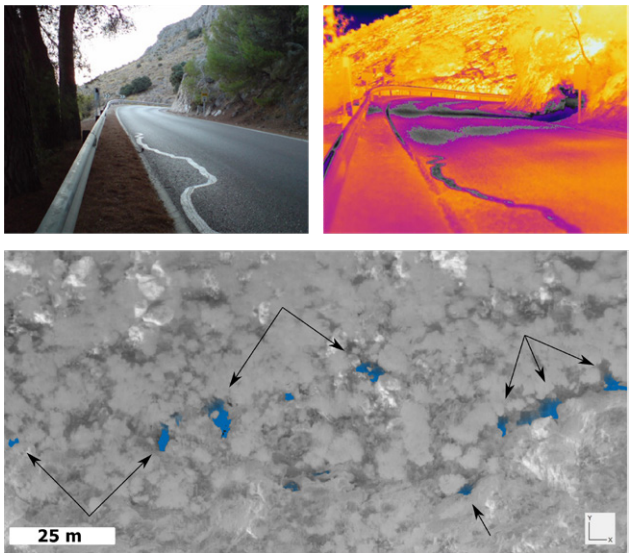


FIGURA 2. Ejemplo de imágenes en infrarrojo térmico, Situación en Fig. 1. Arriba: Imagen con cámara de mano en la Serrezuela de Pegalajar (arriba), donde se observa el efecto de un chorro de aire fresco sobre la carretera (las fotografías visible y TIR están tomadas a la vez por la cámara). Tonos más oscuros a 10ºC, más brillantes a 30ºC. Abajo: Ortoimagen del Torcal de Arbuniel (abajo), los tonos azules indican zonas con menos de 12ºC mientras que el fondo de la imagen la escala de grises oscila entre 20ºC y 40ºC (puntos brillantes).

Por último, se ha realizado un tratamiento de los datos microclimáticos para generar un modelo descriptivo del fenómeno estudiado. Este tratamiento de los datos se ha desarrollado utilizando la herramienta KNIME y siguiendo un proceso clásico de minería de datos. En primer lugar, se preprocesan los datos para eliminar redundancias, valores anómalos y tratar valores perdidos. Una vez validados los datos por atributo, se lleva a cabo un proceso de normalización que unifica las métricas de cada sensor y las adecúa a una misma escala temporal. A continuación, se seleccionan los atributos más relevantes mediante un proceso semiautomático de reducción de dimensionalidad que tiene en cuenta el conocimiento experto. Sobre el conjunto de datos resultante, se realiza un análisis exploratorio que permite reconocer patrones destacados en relación con los parámetros que controlan el flujo de aire.

RESULTADOS

Los sectores estudiados fueron escogidos por conocerse en ellos sendas simas denominadas del Aire o Viento, sin embargo, las primeras ortoimágenes térmicas (Fig. 2) mostraron que la salida de aire relativamente frío no era una singularidad de las entradas conocidas, sino que era un proceso generalizado en ciertas posiciones de las laderas. Por ejemplo, en el Torcal de Arbuniel, se encontraron 9 salidas adicionales de aire fresco en la ladera norte. Esto permitió una monitorización in situ más exhaustiva considerando bocas antes desconocidas o impracticables, pero que permitían la colocación de al menos dos sensores siguiendo el protocolo establecido. Estas salidas de aire fresco dejan una marca térmica ostensible en superficie (Fig. 2) ocasionada por el escurrimiento del aire más pesado ladera abajo. Estas marcas suelen perderse si hace viento o hay una insolación directa que enmascara el efecto del aire fresco.

El comportamiento térmico de las bocas muestra diferencias muy marcadas en cada estación (Fig.3). Durante el invierno, la distribución de T del sensor a 0 m, sigue un patrón normal, similar al del sensor exterior, con la misma moda, pero sin los valores extremos. En cambio, durante el verano la T del exterior tienen una fuerte oscilación de más de 30ºC, mientras que la entrada de la cueva la oscilación es de sólo unos pocos grados, con modas extremadamente marcadas (Fig. 3), que pueden considerarse la T característica de esa entrada.

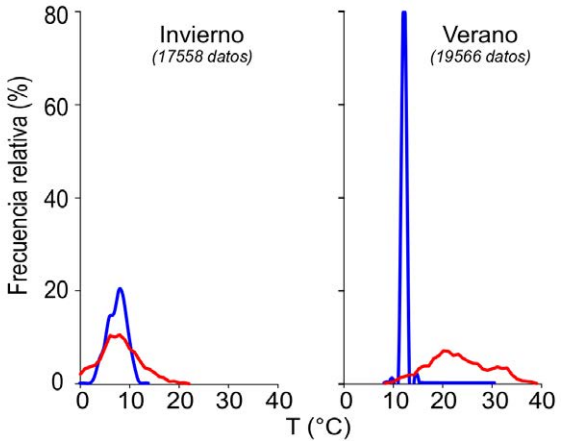


FIGURA 3. Comparación entre los histogramas de T a la entrada de la Sima del Aire (azul) y en su exterior (rojo) en la Serrezuela de Pegalajar. Los histogramas corresponden al registro de temperatura cada 10 min durante dos años, cuatro meses cada estación, aunque muchos datos se pierden por problemas con los sensores.

La velocidad de salida del aire oscila entre una brisa inapreciable con los sensores empleados, es decir, por debajo de 0.4 m/s, y ráfagas de 4 m/s en los momentos de más calor. No obstante, la velocidad promedio en ambas zonas de estudio para una salida típica es de 2 m/s con una T exterior de 35ºC. Este valor puede variar también en función de la geometría de la boca.

La estabilidad de la T de salida de una boca concreta contrasta con la variabilidad observada en distintas bocas

próximas de un mismo sector. Así en la Serrezuela de Pegalajar donde la cavidad mostrada en la Figura 3 tiene una T característica de 12ºC, existen salidas de aire a 15-16ºC y a 9ºC, situadas a menos de 100 m de distancia. La distribución de la T característica no depende de la altura topográfica de la salida. Por el contrario, salidas a diferentes alturas, pero alineadas según una posible fractura, presentan T características similares.

El análisis de los factores que condicionan las T y velocidad del flujo está todavía en un estadio preliminar, aunque se están obteniendo algunos resultados prometedores. Como ejemplo, la Figura 4 muestra la relación entre la T interior de una cavidad en el Torcal de Arbuniel, donde se concentra un flujo fresco, y la T del exterior. Se observa que en invierno la T del interior se corresponde con la exterior. Por el contrario, en el resto de estaciones, especialmente verano, la T interior se desliga de la exterior, estabilizándose a la T característica de esa cueva. No obstante, en verano y otoño existen "excursiones de T", que analizadas corresponden a entradas de aire por fuertes vientos del W, predominantes en la región, que homogenizan la T del interior.

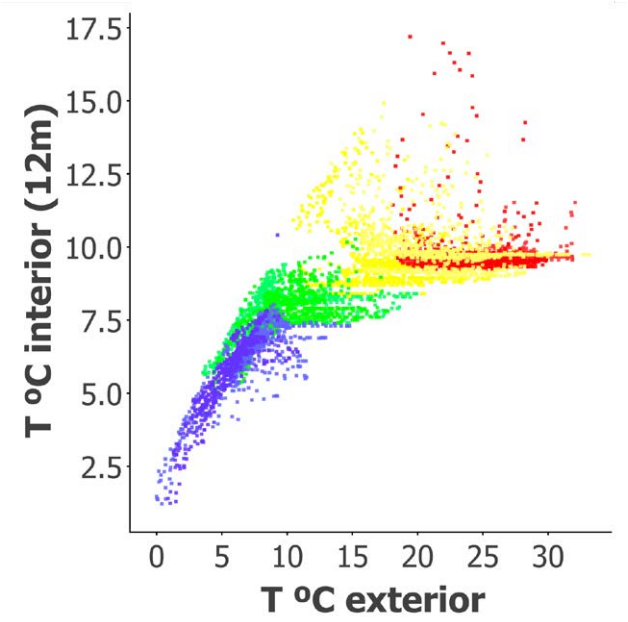


FIGURA 4. Comparación entre las temperaturas del exterior y el interior de una cavidad del Torcal de Arbuniel, durante 2019. Tonos: azul= invierno, verde= primavera, rojo= verano, amarillo= otoño. La línea superpuesta corresponde a la pendiente igual a 1.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las salidas de aire relativamente frío (fresco) desde cavidades ha demostrado ser un fenómeno generalizado a todas las escalas. El avance tecnológico de sensores, cámaras y drones permite descubrir, observar y monitorizar el proceso en amplias extensiones y durante largos periodos de tiempo. En los días de verano, el flujo de aire del interior estabiliza la T de los sensores situados en las entradas independientemente del calor que haga en el exterior. De hecho, un análisis más pormenorizado indica que a mayor T exterior, menos oscilaciones en la T del sensor, ya que está afectado por un volumen mayor de aire.

Se han observado velocidades del flujo sostenidas de 2 m/s, valor muy por encima de los registrados en conductos similares de cavidades principalmente turísticas. Esto es debido al desarrollo esencialmente vertical de las simas tectónicas, incluyendo las que se originan tras los escarpes de procesos gravitacionales.

Las diferencias de T observadas en salidas próximas, no pueden explicarse por razones climatológicas, pues se encuentran en las mismas laderas y a alturas similares. La causa más probable debe ser la diferente geometría de la red de fracturas por la que circula el aire descendente. Esto abre la puerta a utilizar el análisis espacio-temporal de las salidas de aire fresco para conocer mejor el interior del karst tectónico.

Por otra parte, las ortoimágenes térmicas, que ya se han demostrado útiles para la detección y caracterización de salidas de aire templado (Pérez-García *et al.*, 2018), son igualmente útiles para detectar el número y distribución de las salidas de aire fresco. Este trabajo muestra por primera vez su existencia en sectores amplios utilizando esta técnica. La exploración espeleológica y medioambiental, y los estudios de peligrosidad en macizos rocosos, podrán beneficiarse de esta metodología para identificar cavidades y resaltar las fracturas más importantes.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha financiado mediante una ayuda del Instituto de Estudios Giennenses y los grupos RNM-325 y TEP-213 de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

Dematteis, G. (1972): *Manuale di esplorazione sotterranea*. (P. Gribaudi, Ed.) (1st ed.). Turín.

Faimon, J., y Lang, M. (2013): Variances in airflows during different ventilation modes in a dynamic U-shaped cave. *International Journal of Speleology*, 42: 115–122.

Gambetta, M., Armadillo, E., Carmisciano, C., Stefanelli, P., Cocchi, L., y Tontini, F. C. (2011): Determining geophysical properties of a near-surface cave through integrated microgravity vertical gradient and electrical resistivity tomography measurements. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73: 11–15.

González-Ramón, A. (2007): *Hidrogeología de los Acuíferos Kársticos de las Sierras de Pegalajar y Mojón Blanco (Jaén).* Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 304 p.

Margielewski, W., y Urban, J. (2017): Gravitationally induced non-karst caves: Tectonic and morphological constrains, classification, and dating; Polish Flysch Carpathians case study. *Geomorphology*, 296: 160–181.

Martínez-Moreno, F. J., Pedrera, A., Galindo-Zaldívar, J., López-Chicano, M., Azor, A., Martín-Rosales, W., *et al.*

(2016): The Gruta de las Maravillas (Aracena, South-West Iberia): Setting and origin of a cave in marbles from dissolution of pyrite. *Geomorphology*, 253: 239–250.

Pérez-García, J. L., Sánchez-Gómez, M., Gómez-López, J. M., Guerra, T., Gil, D., y Fernández, T. (2018): Georeferenced thermal infrared images from UAV surveys as a potential tool to detect and characterize shallow cave ducts. *Engineering Geology*, 246: 277–287.

Rinker, J. N. (1975): Airborne infrared thermal detection of caves and crevasses. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 41: 1391–1400.

Wynne, J. J., Titus, T. N., y Chong Diaz, G. (2008): On developing thermal cave detection techniques for earth, the moon and mars. *Earth and Planetary Science Letters,* 272: 240–250.

La interacción entre Protección Civil y los Servicios Geológicos en Europa: hacia una colaboración más estrecha

The interaction between Civil Protection Authorities and Geological Surveys in Europe: forward to closer collaboration

R. Sarro[1], R. M. Mateos[1], M. Béjar-Pizarro[1], G. Herrera[1], A. Barra[2], O. Monserrat[2], R. Perez-Lopez[1], M. Martínez-Corbella[1], A. Potenciano[3], L. Saenz de San Pedro[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Área de Riesgos Geológicos. C/ Alenza 1, 28003 Madrid, España. r.sarro@igme.es; rm.mateos@igme.es; m.bejar@igme.es; g.herrera@igme.es; r.perez@igme.es; m.martinez@igme.es

2 División Geomática, Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), Avinguda Carl Friedrich Gauss 7, 08860 Castelldefels, Barcelona, España. abarra@cttc.cat; omonserrat@cttc.cat

3 Dirección General de Protección Civil y Emergencias, C/Quintiliano, 21 - 28002 Madrid, España. apotenciano@procivil.mir.es; lsaenz@procivil.mir.es

Resumen: A pesar de los avances en el desarrollo de herramientas de mitigación, predicción y sistemas de alerta temprana, las emergencias por riesgos geológicos, como desprendimientos o inundaciones, siguen generando un fuerte impacto social y causando importantes pérdidas económicas en todo el panorama internacional. El aumento de la población, y su mayor concentración en zonas urbanas peligrosas, está incrementando los daños y afecciones relacionados con los peligros geológicos. En este sentido, en la actualidad se ha producido un cambio significativo respecto a la gestión tradicional del riesgo, pasando de estar supeditado a entidades especializadas a ser asumido por el conjunto de la sociedad. La sociedad demanda más información que responda a las preguntas de cómo, cuándo y por qué se producen estos procesos, y requieren respuestas eficientes que los protejan frente ellos. En este sentido, cómo de sólidas sean las relaciones entre los diferentes actores implicados, determinará la efectividad de la respuesta frente a estos riesgos. En el presente trabajo se muestra como es la interacción entre Protección Civil y los Servicios Geológicos en diferentes países de Europa, con respecto a las actividades de prevención de riesgos geológicos. Para este propósito se ha diseñado un cuestionario, con el que se ha buscado describir como es la colaboración entre ambas entidades actualmente, y cómo esta relación podría fortalecerse en el futuro.

Palabras clave: Emergencias, Protección Civil, Servicios Geológicos, Desastres naturales, Movimientos del terreno.

Abstract: *In spite of the advances made in the development of mitigation tools, and early warning systems, emergencies caused by geohazards, such as landslides or floods, generate a strong social impact and cause significant economic losses throughout international framework. The increase concentration of people in urban areas, is increasing the damages and precursor stages. In this sense, currently there has been a significant change in relation to the traditional management of risk, going from being subject to specialized entities being assumed by the whole society. Society demands more information that answers the questions of how, when and why these processes occur, and require efficient answers to protect them against them. As the relationships between the different actors involved are solid, it will determine how effective the response can be given to these risks. This work shows how the interaction between Civil Protection and Geological Services at different countries in Europe is, regarding to geohazards prevention activities. For this purpose, a questionnaire has been designed, to describe what the current collaboration in geohazard prevention activities is and how this relationship could be strengthened to increase in the future.*

Keywords: *Emergency, Civil Protection, Geological Surveys, Natural disasters, Landslides.*

INTRODUCCIÓN

Minimizar los daños ocasionados por los fenómenos geológicos, y en consecuencia mitigar el riesgo asociado a los mismos, es un tema crítico que requiere de un compromiso político y de responsabilidad por parte de la sociedad y de las Administraciones para lograrlo. El objetivo principal de todas las iniciativas desarrolladas en esta línea, se focaliza en disminuir la vulnerabilidad de las personas y los bienes que se encuentran expuestos a los peligros. Para ello, es necesario canalizar los esfuerzos hacia el análisis y gestión de los factores involucrados en los desastres naturales, tales como (i) controlar la exposición a través de la gestión correcta (Sarro *et al.*, 2019) y del uso sostenible del suelo y los recursos naturales, la ordenación del territorio, incluida la planificación urbanística (Mateos *et al.*, 2020), y la protección del medio ambiente, (ii) implantar sistemas de alerta temprana y (iii) mejorar las estrategias de gestión que incluyan la previsión y evaluación del impacto de los diferentes riesgos. Sin embargo, estas acciones implican

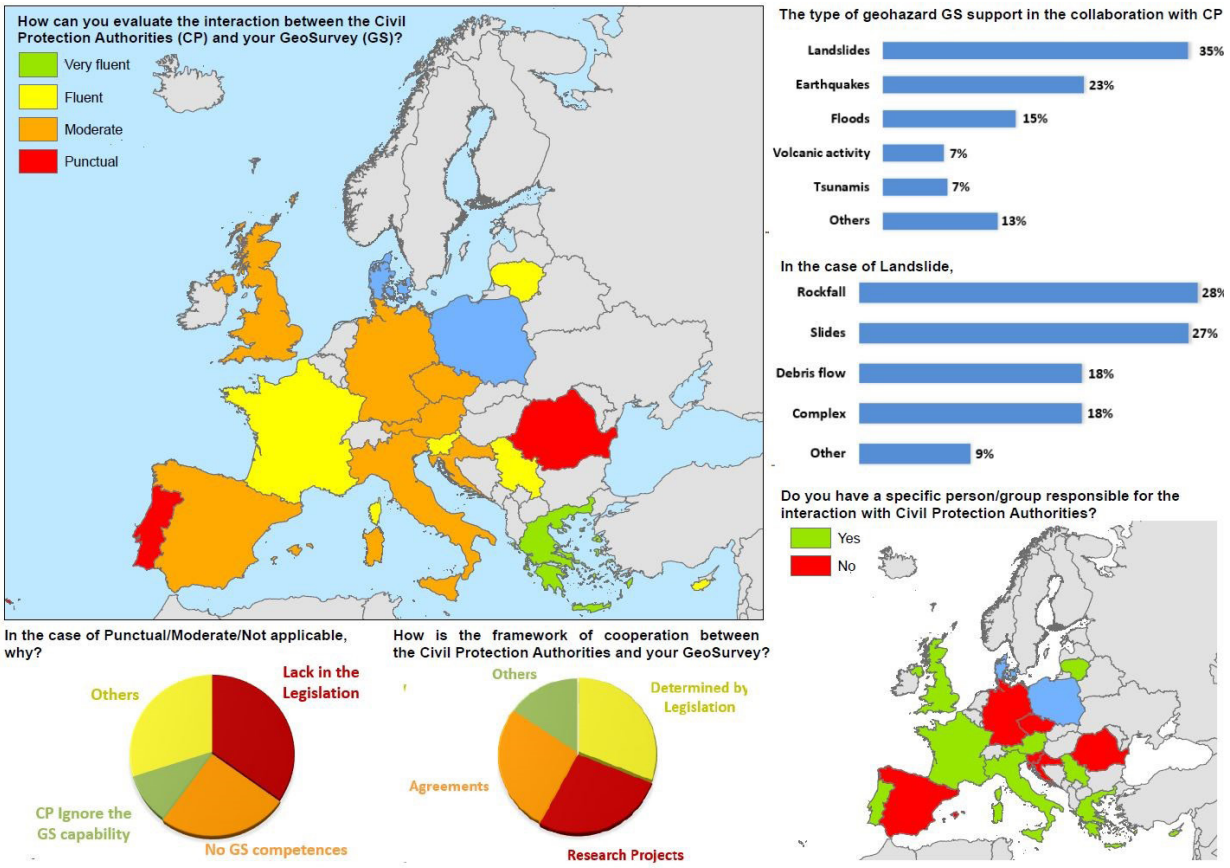


FIGURA 1: Resultados obtenido en el cuestionario para la sección sobre "Información General".

involucrar a diferentes actores, que van desde las Administraciones Públicas, a escala nacional, regional o local, hasta las Servicios Geológicos (GS) o de Protección Civil (CPA).

La Protección Civil, cuyo objetivo principal es proteger a las personas y bienes, contribuye a dar una respuesta adecuada ante los distintos tipos de emergencias y catástrofes, y promueve la colaboración con entidades gubernamentales para abordar políticas apropiadas que reduzcan el riesgo (Huguet *et al.*, 2019). Por otra parte, los Servicios Geológicos, con una amplia experiencia en el estudio de los procesos generadores de riesgos geológicos (desprendimientos, deslizamientos, tectónica activa, volcanes, inundaciones, etc.), cuenta entre sus actividades dar respuestas eficientes cuando se les requiere, una vez activada la emergencia.

Una colaboración sólida y fluida entre ambos actores –Protección Civil y Servicio Geológico- es esencial para mejorar las capacidades y el intercambio de información a través de la revisión de sus principales fortalezas, necesidades y oportunidades. Este trabajo tiene como objetivo revisar el nivel de interacción entre Protección Civil (CPA) y los Servicios Geológicos (GSs) a escala europea para determinar qué acciones plantear de cara a fortalecerlas.

CUESTIONARIO

Para analizar las relaciones actuales entre los GSs y los CPAs en los diferentes países de Europa, se ha diseñado un cuestionario específico. Este cuestionario ha sido completado por un total 16 Servicios Geológicos nacionales y 5 Servicios Geológicos regionales de los siguientes países: Austria, República Checa, Francia, Grecia, Italia, Lituania, Portugal, Rumania, Serbia, Alemania, Croacia, Chipre, Polonia, Dinamarca, Eslovenia, España y Reino Unido.

Además, este cuestionario también ha sido respondido por la Protección Civil de 4 países con el objetivo de contrastar las respuestas: España, Eslovenia, Grecia y Portugal.

El cuestionario incluye 28 preguntas y se divide en 4 secciones: Información general; Herramientas para evaluar los riesgos; Planes y protocolos de emergencia y Casos de estudio en los que se haya producido una colaboración entre GSs y CPAs.

La sección de "Información general" incluye 6 preguntas que examinan la relación entre los GSs y CPAs: cuál es el riesgo geológico más común en el que colaboran, cómo se lleva a cabo esta colaboración y con qué frecuencia se produce.

La sección "Herramientas para evaluar riesgos" incluye 6 preguntas que permitan revisar las herramientas existentes desarrolladas y/o utilizadas por los GSs para apoyar las decisiones de las CPAs: qué tipo de herramienta se han desarrollado; qué opinión tiene la CPA sobre la efectividad de estas herramientas, sobre la utilidad de los resultados que ofrecen y su interpretación; y si existen cursos de formación para capacitar a las CPAs en su uso.

La sección "Planes y protocolos de emergencia" analiza los planes de emergencia existentes: para qué tipo de peligro están desarrollados; quién está a cargo de activar el plan y quién participa; cómo es la participación de los GSs (obligatoria, solicitada o voluntaria); cuál es la función principal de los GSs en el plan de emergencia o qué tipo de información proporcionan los GSs a los CPAs.

La última sección incluye 5 preguntas para describir casos de estudio en los que se ha llevado a cabo una colaboración entre los GSs y los CPAs, con especial atención en las debilidades detectadas sobre las que incidir para reforzar la efectividad de la colaboración.

RESULTADOS

En varios países, como Eslovenia, Rumania, Gran Bretaña, Portugal y España, el cuestionario mostró que la relación entre los GSs y CPAs es moderada o puntual. La razón principal es que la mayoría de estos GS no tienen competencias legales para la gestión de los riesgos geologicos; y no se contempla por ley su participación en la emergencia. En otros países, como Francia, Lituania y Grecia, la relación es fluida o muy fluida. En estos casos, los países han firmado un acuerdo de cooperación permanente entre CPA y GS (Ver Figura 1).

Con respecto al tipo de riesgo donde hay una mayor colaboración entre GSs y CPAs, la encuesta muestra que para el 35% de los países, los del terreno, como desprendimientos o deslizamientos, son los procesos más estudiados. Para el 23% de los GS, los terremotos son el segundo, y el tercero son las inundaciones, con un 15%.

En el caso de los los movimientos del terreno, la tipología en la que se solicita con más frecuencia una colaboración son los desprendimientos (28%), seguida de los deslizamientos (27%) y, siendo los deslizamientos complejos y el flujo de derrubios las tipologías menos demandadas (18%).

En cuanto a la cooperación entre CPAs y los GSs, esta se establece, generalmente, a través de proyectos de investigación. Además, los GSs y los CPAs tienen varios acuerdos puntuales para implementar información científica en la gestión de emergencias y para actividades de formación.

Con respecto a las herramientas desarrolladas por las GSs para apoyar la toma de decisiones de CPAs, el cuestionario muestra que España, Italia, Gran Bretaña, Eslovenia, Austria, Lituania y la República Checa han desarrollado nuevas herramientas para evaluar el riesgo. Por el contrario, Francia, Portugal, Grecia y Rumania no colaboran en el desarrollo de ninguna herramienta para dar soporte a las CPAs.

Las principales herramientas desarrolladas por los GSs son series cartográficas específicas y bases de datos (el 25% y el 23% de los GSs, respectivamente) (Pérez-López *et al.*, 2019). El 15% de los países desarrollan metodologías para gestionar la afección de los riesgos geológicos. Finalmente, el cuestionario muestra que no se suelen desarrollar herramientas avanzadas, como sistemas de alerta temprana o software especificos, para dar soporte a las CPAs durante las etapas de emergencia (8% para el sistema de alerta temprana y 10% para las herramientas tipo software). Además, muchas de estas herramientas no incluyen una formación asociada para el personal de Protección Civil.

Los expertos de los GSs consideran que las herramienta desarrolladas no son fáciles de implementar por parte de Protección Civil, aunque podrian tener una gran utilidad. Además, el cuestionario evidencia que los resultados obtenidos con estas herramientas son bastante comprensibles de cara a su uso por parte de Protección Civil.

Los resultados de la sección 3 del cuestionario muestran que todos los países participantes tienen planes de emergencia frente a los riesgos geológicos. Sin embargo, en la mayor parte de los casos estos planes de emergencia se centran en inundaciones (27%). Le siguen los planes de emergencia por terremotos (22%). Y en la tercera posición (18%), se encuentran los planes de emergencia para movimientos del terreno. Estos resultados muestran diferencias significativas si se comparan con los obtenidos en la sección 1.

Además, se ha evidenciado que la mayoría de los GSs no forman parte oficialmente de los planes de emergencia y/o los comités nacionales de crisis. Su función se reduce a contribuciones puntuales de información (principalmente cartografía).

En España, por ejemplo existen tres tipos de Planes de Emergencia: nacional, regional y local; y son activados por los gobiernos nacionales, regionales o locales, respectivamente. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) solo participa en algunos Planes Nacionales de Emergencia, como el Plan Nacional de Riesgo de Inundaciones.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque la colaboración entre GSs y CPAs es muy útil cuando ocurre un desastre natural, el papel actual de los GSs en las emergencias solo tiene un carácter secundario y mucha información elaborada por ellos no logra transferirse de manera efectiva para ser utilizada durante la toma de decisiones. Por ello, es necesario establecer un enfoque integrado que incluya a todos los actores para una evaluación y gestión más eficiente de los escenarios de emergencia, donde se compartan datos e información para mejorar las estrategias de preparación, mitigación y respuesta. Además, es necesario promover grupos de trabajo multidisciplinares que establezcan procedimientos y protocolos estandarizados para el gestión de emergencias y que desarrollen estrategias conjuntas con el objetivo abordar nuevos retos.

Por otra parte, debe fomentarse una estrecha colaboración entre todas las instituciones: Centros de Investigación, Órganos de Protección Civil, y resto de Administraciones de ámbito nacional, regional y local, etc. con competencias dentro del ciclo de gestión del riesgo. La transferencia de información debe ser fluída y multidireccional, con el objetivo de lograr una acción integral en las fases de anticipación, prevención, planificación, intervención en la emergencia y recuperación, en definitiva en todas las fases que aseguren una mayor protección a las personas y bienes. En este sentido, iniciativas como cuestionarios que analizan el

estado de las relaciones entre los diferentes actores pueden ser de gran ayuda. Es importante identificar las debilidades y las prioridades donde concentrar esfuerzos, favorecer los grupos de trabajo y los foros donde se comparta la información y se analicen los problemas desde diferentes puntos de vista.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con la ayuda del Earth Observation and Geohazard Expert Group (EOEG) de EuroGeoSurveys, y Protecciones Civiles de Europa, y ha sido financiado por la Comisión Europea, a través del proyecto U-Geohaz: *Geohazard Impact Assessment for Urban Areas. Grant Agreement No. 783169,* y el Programa Interreg SUDOE, a través del proyecto *RISKCOAST. S0E3 / P4 / E0868*.

REFERENCIAS

Huguet, J. P., de la Heras, Á. P., y Starkie, E. G. (2019): Gestión del riesgo de desastres y protección civil en España: Aportes para el desarrollo de una cultura preventiva. En: *REDER*, 3(2), 44-57.

Mateos, R.M., López-Vinielles, J., Poyiadji, E., Tsagkas, D., Sheehy, M., Hadjicharalambous, K., Liscák, P., Podolski, L., Laskowicz, I., Iadanza, C., Gauert, C., Todorović, S., Jemec Auflič, M., Maftei, R., Hermanns, R., Kociu, A., Sandić, C., Mauter, R., Sarro, R., Béjar, M., Herrera, G. (2020): Integration of landslide hazard into urban planning across Europe. *Landscape and Urban Planning*. 196. 1-12.

Pérez-López, R., Élez, J., Rodríguez-Pascua M. A., Silva, P., Bejar-Pizarro, M., y Giner, J. L. (2019): Mapas de intensidad sísmica (MIS) a tiempo real para la planificación de los simulacros de terremotos afectando zonas urbanas. *Revista digital Reducción del riesgo de desastres.*

Sarro, R. (2019): *Simulación de desprendimientos rocosos para la gestión de emergencias e infraestructuras.* Tesis doctoral. Universidad de Alicante, 200 p.

Contaminación por partículas orgánicas carbonosas y elementos traza asociados en las playas de Gijón: el caso de Poniente y El Arbeyal

Pollution caused by carbonaceous organic particles and associated trace elements on the beaches of Gijón: Poniente and El Arbeyal case

P. Tomillo[1], I. Suárez Ruiz[1], M. Díaz Somoano[1], J. Ribeiro[2], D. Luis[1]

1 Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC). Francisco Pintado Fe 26, 33011, Oviedo, España. pelayo.tomillo@csic.es
2 Dpto. Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidae de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Palabras clave: Geología Ambiental, Petrología Orgánica, Geoquímica ambiental, Carbón.

Resumen

En los últimos 150 años Asturias ha visto como las actividades relacionadas con la explotación, transporte y uso del carbón han generado altos niveles de contaminación en la región. Un ejemplo claro de esto son las manchas negras, usualmente atribuidas a carbón, que cubren los arenales de la costa, especialmente aquellos en el entorno urbano de Gijón.

Basándose en metodologías ya aplicadas a la Playa de San Lorenzo (Tomillo *et al.* 2019), el presente trabajo trata la contaminación por partículas orgánicas carbonosas y los elementos traza asociados a estas. El uso de Petrología Orgánica ha permitido identificar 5 tipos de partículas: i) Carbón, ii) Coque de carbón, iii) Coque de Petróleo, iv) Partículas térmicamente alteradas e v) Inquemados de la combustión de Carbón. Dichas partículas orgánicas, de origen antropogénico, son el resultado de la intensa actividad industrial en el área de Gijón.

Así mismo, gracias al análisis ICP-MS de 61 elementos de la tabla periódica se ha podido observar que las muestras tomadas presentan concentraciones altas de ciertos elementos, entre los que se encuentran el Hg, As o Zn.

Abstract

For more than 150 years Asturias has seen how activities related with the exploitation, transport and use of coal have generated high levels of contamination in the region. A clear example of this type of contamination is the appearance of black stains, usually attributed to coal, on the beaches of the region, especially those around Gijon.

Using methodologies previously applied to the San Lorenzo beach (Tomillo et al. 2019), the present works takes on the pollution caused by carbonaceous particles on the beaches of Poniente and El Arbeyal. The use of Organic Petrology has served to identify five types of particles. i) Coal, ii) Coke from coal, iii) Petroleum Coke, iv) Thermally Altered Particles and v) Fly-Ash and Chars. These particles, of anthropogenic origin, are the result of the intense industrial activity in the surrounding of Gijón.

On the same vein, thanks to the analysis of the samples through ICP-MS of 61 elements from the periodic table, high concentrations of elements such as Hg, As or Zn have been observed.

Referencias

Tomillo, P., Suárez-Ruiz, I., Díaz-Somoano, M., Ribeiro, J., Luis, D. (2019). En: *XII Congresso Ibérico de Geoquímica*. Comunicaciones.

Predicción de la subsidencia del Delta del Ebro mediante datos geológicos

Predicting subsidence of the Ebro delta plain from geological data

M. Vilà[1], X. Rodríguez[1], R. Pi[1], O. Mora[1], F. Pérez[1] y J. Marturià[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 08038, Barcelona, miquel.vila@icgc.cat

Palabras clave: Llanuras deltaicas, Holoceno, subsidencia, compactación de sedimentos, Delta del Ebro

Resumen

Las llanuras deltaicas costeras actuales, en general, son áreas muy susceptibles de ser inundadas a consecuencia de su baja elevación. Al margen del ascenso del nivel del mar, el peligro de inundación de las llanuras deltaicas se puede ver incrementado a consecuencia de los procesos de subsidencia (Syvitski *et al.,* 2009). En este trabajo presentamos la caracterización de los diferentes factores que condicionan la subsidencia del delta del Ebro. Se ha estimado la subsidencia asociada a la compactación mecánica natural de los depósitos deltaicos holocenos, teniendo en cuenta su arquitectura sedimentológica 3D y sus propiedades geotécnicas. Por otro lado, se ha analizado la contribución de la flexión litosférica asociada al peso del agua y el sedimento depositado en el delta desde el último máximo glacial; y la basculación regional del margen del Ebro durante el Cuaternario. La estimación de la subsidencia asociada a estos tres factores, en gran medida es coherente con la subsidencia medida mediante datos DInSAR (Rodríguez *et al.*, 2020). Al margen de estos tres factores que condicionan la subsidencia del conjunto del delta, los resultados obtenidos se han analizado cualitativamente considerando otros factores capaces de condicionar de forma local la subsidencia, como la dinámica sedimentaria reciente, la compactación química y biológica de los sedimentos, y los efectos asociados a las actividades antrópicas. El análisis conjunto de los factores ha permitido la elaboración de un mapa de la susceptibilidad de la subsidencia, que en conjunto indica que en el Delta del Ebro la subsidencia varía entre < 1.0 mm/año y ~2.3 mm/año.

Abstract

Modern coastal-delta plains in general are areas very susceptible to flooding as a result of their low elevation. Aside from the sea level rising, the flooding hazard of delta plains can also increase as a result of subsidence processes (Syvitski et al., 2009). In this work the analysis of the different factors that condition the subsidence of the Ebro Delta is presented. It was estimated the subsidence associated with natural mechanical compaction of Holocene delta deposits, based on their 3D sedimentary architecture and their geotechnical properties. On the other hand it was analyzed the contribution on subsidence of the flexure of the lithosphere related to the deposition of water and sediment in the Ebro margin since the Last Glacial Maximum, and the regional tilting of the Ebro margin during the Quaternary Period. The subsidence estimates associated with these three factors are broadly coherent with the DInSAR measured subsidence (Rodríguez et al., 2020). In addition to the main factors, the obtained results are also qualitatively discussed considering other minor factors and features able to locally modify the Ebro Delta plain subsidence, such as recent sedimentary dynamics, the chemical and biological compaction, and the effects related to anthropogenic activities. The joint analysis of the different information sources allowed the composition of a subsidence susceptibility map, which indicates that the subsidence in the Ebro Delta plain ranges from < 1 mm/year to ~2.3 mm/year.

Referencias

Syvitski, J., Kettner, A., Overeem, I., Hutton, E., Hannon, M., Brakenridge, R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L. y Nicholls R. (2009). *Nature Geoscience,* 2(10), 681–686.

Rodríguez X., Vilà, M., Mora, O., Pérez F., Pi R. y Marturià J. (2020). *Proc. IAHS* 97, 1-5.

Modelización geológico-geotécnica para la construcción de un dique.

Geological-geotechnical modelling to build a dike.

M. Acosta Segura[1], A. Muñoz Martín[1] y S. Melentijevic[1]

1 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid. meracost@ucm.es, amunoz@ucm.es, svmelent@ucm.es

Palabras clave: modelo geológico-geotécnico, elementos finitos, tensiones, deformaciones, dique.

Resumen

En este trabajo se ha realizado una modelización geológico-geotécnica para la construcción de un dique en la Ciudad de Santo Domingo, mediante un programa de elementos finitos para evaluar la interacción suelo-estructura. Esta modelización se ha realizado partiendo de la definición y caracterización de cada una de las unidades litológicas que conforman el sustrato marino. Se ha analizado el comportamiento tenso-deformacional del conjunto suelo-estructura en cuatro etapas constructivas: modelo inicial del terreno, modelo excavado, construcción de cimentación, y construcción del dique. En la ejecución de cada una de las etapas constructivas, se han observado la disminución de los asientos que se producen debido a los esfuerzos transmitidos al terreno, los cuales van del orden de centímetros a milímetros, garantizando de este modo la estabilidad de la estructura y reduciendo los posibles efectos de hundimiento.

Abstract

In the present work a geological-geotechnical modelling has been made to build a dike in Santo Domingo City by a finite element software to evaluate the soil-structure interaction. Previously the modelling has been made by the characterizing and parameterizing of the sea substrates. The stress-deformational behaviour of the soil-structure interaction has been analysed in four construction stages: initial soil model, excavation, foundation and dike build. While each construction stage is being executed, we can observe that the settlements are being decreased by the soil stress effects. The settlements ratio measured is between centimetres and millimetres therefore the subsidence effects will be reduced and the structure becomes stable.

Referencias

Dabrio, C., y Hernando, S. (2003). *Estratigrafía*. Madrid: Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.

Esteban, V. (2004). Obras marítimas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. González de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación.

IGME. (2015). *Proyecto estudio de la amenaza sísmica y vulnerabilidad física del Gran Santo Domingo.* Madrid: Ministerio de Economía y Competitividad, Insituto Geológico Minero.

IGME-BRGM-INYPSA. (2007-2010). *Cartografía geotemática de la República Dominicana.* Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia. Manual Midas GTS-NX (2019).

Terzaghi, K., y Peck, R. (1948). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Barcelona: El Ateneo.

Zienkiewicz, O. C. (2018). *Método de los elementos finitos*. Barcelona: Reverté.

Evolución del comportamiento geomecánico del macizo rocoso implicado en la avalancha de rocas de Arteara, Gran Canaria, Islas Canarias, España.

Geomechanical behavior evolution of the rock mass involved in the Arteara rock avalanche, Gran Canaria, Canary Islands, Spain.

M. Antón Bayona[1], M. J. Rodríguez-Peces[1], J. Yepes Temiño[2]

1 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid. martinjr@ucm.es
2 Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017, Las Palmas. jorge.yepes@ulpgc.es

Palabras clave: Indice de rebote, Esclerómetro, avalancha rocosa, Islas Canarias.

Resumen

La avalancha holocena de Arteara afecta una secuencia de coladas sálicas y define un depósito alargado de espesor variable. La baja fricción observada Φ , está relacionada con las ignimbritas, que definen una capa de grava sobre la que rodaron los bloques de fonolita (flujo granular seco). El depósito se estructura en bandas de bloques con distribución polimodal y baja selección. Los bloques de roca dura son angulares; los de roca blanda, redondeados. Las propiedades mecánicas varían en cada litotipo y a lo largo del depósito. El índice de rebote (R) medido en 230 bloques muestra una dispersión polimodal. En los bloques de lava se diferenciaron varias zonas: una corteza poco dura (R<20); zonas con juntas (20<R <40) y un núcleo duro (50<R<70). En los bloques de ignimbrita se diferencia una matriz débil (R<10); un esqueleto de bloques (10<R<30) y jirones de lava con una dureza moderada (30<R<40). En el macizo también se apreció una respuesta variable: una zona alterada en la coronación del acantilado (40<R<60) y otra sana en el pie del escarpe (50<R<100). En conjunto, la disparidad de valores de R refleja la existencia de una alteración diferencial, la variabilidad reológica y la consiguiente respuesta mecánica al desgaste por abrasión y punzonamiento de los bloques durante el flujo granular. El grosor y dureza de la corteza superficial de los bloques y la apertura de sus juntas marcan el grado de turbulencia y saltación del flujo. Solo el núcleo del bloque reflejaría el comportamiento mecánico original. En general, la correlación de R con la densidad es directa, e inversa con la distancia al escarpe principal.

Abstract

The Holocene Arteara avalanche affects a sequence of salic flows and defines an elongated deposit of varying thickness. The deposit is structured in bands of blocks with polymodal distribution and low selection. The hard rock blocks are angular; those of soft rock, rounded. The mechanical properties vary in each lithotype and throughout the deposit. The rebound index (R) measured in 230 blocks shows a polymodal dispersion. In the lava blocks several zones were differentiated: a not very hard crust (R<20); areas with joints (20<R<40) and a hard core (50<R<70). In the ignimbrite blocks a weak matrix (R<10), a skeleton of blocks (10<R<30) and lava shreds with moderate hardness (30<R<40) are differentiated. A variable response was also observed in the massif: an altered area at the top of the cliff (40<R<60) and another healthy one at the foot (50<R<100). Taken together, the disparity in R values reflects the existence of differential weathering, rheological variability, and the mechanical response to abrasive wear and punching of the blocks during granular flow. The thickness and hardness of the surface crust of the blocks and the opening of their joints, mark the degree of turbulence and saltation of the flow. Only the core of the block would reflect the original mechanical behavior. In general, the correlation of R with density is direct, and inverse with the distance to the main scarp.

Caracterización de la fracturación y la conectividad hidráulica mediante diferentes técnicas, para modelar un DFN en la Cantera de La Fou (Macizo del Garraf, Catalunya).

Fracture Network and hydraulic connectivity using different techniques to model DFN at La Fou's Quarry (Garraf massif, Catalonia).

L. Blanco[1,2], D. Garcia-Sellés[3], O. Gratacós[1], J.A. Muñoz[1], M. Coll[4], J. Ledo[1], A. Marcuello[1], C. Colàs[5], J.M. Ramos[6] y L. Arenas[6]

1 GGAC, Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona. lbn@anufra.com, ogratacos@ub.edu, jamunoz@ub.edu, jledo@ub.edu, alex.marcuello@ub.edu
2 Anufra, Soil & Water Consulting, Barcelona 08028 Barcelona info@anufra.com
3 RISKNAT, Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona. dgarcia@ub.edu
4 Gpr3D Processing Center info@gpr3d.com
5 Radiopoint Systems. S.L 28031 Madrid. carles.colas@radiopoint.es
6 Cementos Molins Industrial, S. A. 08620 Sant Vicenç dels Horts jmramos@cmi.cemolins.es, larenas@cmi.cemolins.es

Palabras clave: red de fracturación, LIDAR, geofísica, DFN, conectividad hidráulica.

Resumen

El análisis de la conectividad de una red de fracturas y su detallada caracterización, son factores importantes para entender y evaluar si una formación rocosa fracturada puede ser un buen reservorio de recursos naturales. Con este objetivo, se han aplicado diferentes técnicas (LiDAR, GPR, CMD, Tomografía Eléctrica y métodos clásicos de campo) para caracterizar y estudiar un macizo rocoso fracturado. Concretamente, el estudio se centra en las calizas del Cretácico inferior que afloran en la cantera La Fou (norte del macizo del Garraf, Catalunya). Se observan capas con un buzamiento medio de unos 25º hacia el W y una fracturación subvertical. Al ser un afloramiento dentro de una explotación minera activa, hemos podido aplicar estas técnicas en los diversos frentes a medida que avanza su explotación. Este hecho ayuda a 1) valorar el grado de precisión y exactitud de las diferentes técnicas aplicadas, y 2) generar un Discrete Fracture Network (DFN) a partir de los datos adquiridos.

Por otra parte, la interpretación de los datos adquiridos ha permitido: a) identificar 4 familias de fracturas (Set I: 357/80, set II: 020/75, set III: 053/75 y set IV: 101/75), b) caracterizar geométricamente dichas fracturas y c) estimar la conectividad hidráulica en el medio rocoso mediante la elaboración de un DFN utilizando el programa Fracman (Golder).

Abstract

Fracture connectivity analysis and a detailed fracture characterization are key parameters to evaluate and understand if a subsurface fractured rock formation can act as a good reservoir of natural resources. With this aim, some techniques (LiDAR, GPR, CMD, Electrical Tomography and classic field methods) are applied to characterize a fractured reservoir. The study has been applied to a lower Cretaceous limestone cropping out at La Fou's quarry (N of the Garraf massif, Catalonia) showing a mean dip of 25° to the W and a subvertical fracture sets. Taking advantage of the quarrying activity, the techniques have been applied in the successive quarry front as mining activity progress. This fact helps us in to 1) assess the degree of accuracy of the applied techniques, and 2) construct a DFN from the acquired data.

On the other hand, the analysis and interpretation of the data gathered allows a) the identification of four fracture sets (Set I: 357/80, Set II: 020/75, Set III: 053/75 and Set IV: 101/75), b) to characterize the fracture geometry and c) to estimate the hydraulic connectivity in the rock volume by means of a DFN done using Fracman sofware (Golder).

Identificación y clasificación de desprendimientos de roca con LIDAR y machine learning en Montserrat y Castellfollit de la Roca (Cataluña).

Identification and classification of rockfalls by means of LIDAR and machine learning in Montserrat and Castellfollit de la Roca (Catalonia).

L. Blanco[1,2], D. García-Sellés[1,3], N. Pascual[4], A. Puig[4], M. Salamó[4], M. Guinau[1,3], O. Gratacos[1], J.A. Muñoz[1], M. Janeras[5] y O. Pedraza[5]

1 GAC Grup de Recerca, Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona. lbn@anufra.com, ogratacos@ub.edu, jamunoz@ub.edu

2 Anufra, Soil & Water Consulting, Barcelona 08028 Barcelona

3 RISKNAT Grup de Recerca, Geomodels Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona. dgarcia@ub.edu, mguinau@ub.edu

4 Departament de Matemàtiques i Informàtica, Facultat de Matemàtiques i Informàtica, Universitat de Barcelona 08007 Barcelona. nicolaspascualgonzalez@gmail.com, annapuig@ub.edu, maria.salamo@ub.edu

5 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Barcelona 08038, Marc.Janeras@icgc.cat, oriol.pedraza@icgc.cat

Palabras clave: desprendimientos de roca, monitoreo, LIDAR, Machine learning.

Resumen

Las metodologías de monitoreo para la detección de cambios en las superficies de los escarpes están basadas en la comparación de campañas adquiridas generalmente con técnicas de teledetección terrestre como el láser scanner terrestre o la fotogrametría digital. El volumen de datos a procesar es muy elevado y por tanto requiere de tratamientos automatizados o semiautomatizados. Independientemente de la resolución temporal y espacial del monitoreo, los resultados de la comparación de campañas se pueden clasificar en a) desprendimientos reales del material rocoso, b) variaciones de la masa vegetal, c) imprecisiones en la técnica de comparación o d) cambios antrópicos.

El Instituto de Investigación Geomodels ha desarrollado una metodología basada en algoritmos de detección de cambios en las nubes de puntos e interpretados como indicadores de zonas con diferencias significativas en el tiempo. Las agrupaciones de puntos (clústers) y sus parámetros asociados que se comportan de forma similar en el tiempo son clasificados como posibles áreas de salidas de bloques en un proceso automatizado con técnicas de Machine Learning.

Dos ejemplos de escarpes litológicamente diferentes son presentados para ilustrar la metodología: el macizo de Montserrat (conglomerados) y Castellfollit de la Roca (basaltos).

Abstract

Monitoring methodologies for the detection of changes in the rock cliff surfaces are based on the comparison of surveys generally acquired with terrestrial remote sensing techniques such as the terrestrial laser scanner or digital photogrammetry. To process a large volume of data, automated or semi-automated treatments are required. Indifferently of the monitoring temporal and spatial resolution, the results of the data comparison can be classified into a) real rockfalls, b) changes in vegetal mass c) inaccuracies in the comparison technique or d) anthropic origin.

The Geomodels Research Institute has developed a methodology based on algorithms for detection of changes in point clouds and interpreted as indicators of areas with significant differences along the time. Clusters of points and associated sets of parameters with similar temporal behavior are classified as possible sources areas of block in an automated process with Machine Learning techniques.

Two examples of escarpments with different lithology are presented to illustrate the methodology: Montserrat massif (conglomerates) and Castellfollit de la Roca (basalts).

Caracterización litogeotécnica de las margas del Mioceno Superior del Alto Guadalquivir

Litho-geotechnical characterization of the upper Miocene marls from the High Guadalquivir

JI. Mellado[1,2], J. Calero[2], M. Sánchez-Gómez[2], T. Fernández[3], R. Carpena[4] y A. Pérez de la Torre[4]

1 IGEA Consultoría y Laboratorio SLL, c/Torrejón 49, 23170, La Guardia, Jaén. jmellado@ujaen.es
2 Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. msgomez@ujaen.es, jcalero@ujaen.es,
3 Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, 23071, Jaén. tfernan@ujaen.es,
4 Área de Infraestructuras Municipales, Diputación de Jaén. Plaza de San Francisco, 2. 23071, Jaén. ramoncarpena@dipujaen.es, aperez@dipujaen.es

Palabras clave: margas azules, deslizamientos, arcillas, riesgos geológicos.

Resumen

Las conocidas como Margas o Arcillas Azules constituyen una formación marina del Mioceno Superior en la Cuenca del Guadalquivir, a la que están asociadas graves problemas geotécnicos, incluyendo colapsos o deslizamientos profundos. La relación entre características geotécnicas de estas margas y su mineralogía y fábrica ha sido estudiada en el Bajo y Medio Guadalquivir (Tsige y González de Vallejo, 1996; Vázquez Boza, 2014), donde la formación alcanza un gran desarrollo y uniformidad. En el Alto Guadalquivir, los materiales del Mioceno Superior, aunque no tan uniformes, están también involucrados en una gran parte de los problemas geotécnicos que afectan a infraestructuras y edificaciones, incluyendo un crecimiento exponencial de la erosión por cárcavas.

En esta comunicación, a partir de varias secciones piloto distribuidas por el Alto Guadalquivir, se analizan qué niveles del Mioceno Superior son los responsables de los problemas geotécnicos, y cuál es la mineralogía y fábrica que los hace tan susceptibles. De esta forma, se ha estimado los condicionantes geológicos de algunas de las principales incidencias en la provincia de Jaén, lo que podrá ser integrado en los planes de ordenación del territorio.

Abstract

The so-called Blue Marls or Clays constitute a marine formation from the Upper Miocene in the Guadalquivir Basin, to which serious geotechnical problems, including collapses or deep landslides, are associated. The relationship between the geotechnical characteristics of these marls and their mineralogy and fabric has been studied in the low and middle Guadalquivir (Tsige and González de Vallejo, 1996; Vázquez Boza, 2014), where the formation reaches a large development and uniformity. In the Upper Guadalquivir, materials from Upper Miocene, although less uniform, are also involved in main geotechnical problems that affect infrastructures and buildings, including increased erosion by gullies.

In this communication, we analyze which levels of the Upper Miocene from the Alto Guadalquivir are responsible for the geotechnical problems, based on several distributed type sections. We also analyze the mineralogy and microscopic fabric that makes them so susceptible. In this way, it we have estimated the geological conditions of some of the main incidents in the province of Jaén. This knowledge can be integrated into the land management plans.

Referencias

Tsige, M. y González de Vallejo, L. (1996). *Geogaceta* 20, 1324-1327.

Vázquez-Boza, M. (2014). *Comportamiento volumétrico de la Marga Azul del Guadalquivir ante los cambios de succión.* Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla, 244 p.

Aproximación a los primeros efectos de la meteorización en una dolomía (Fm. Gijón, Asturias)

Approach to the first effects of weathering in a dolomite (Gijón Fm., Asturias)

L. Pando, V. G. Ruiz de Argandoña, S. Llana-Fúnez y P. Álvarez-Alonso

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo. pandoluis@uniovi.es, vgargand@geol.uniovi.es, llanasergio@uniovi.es

Resumen: Se investigan efectos de la alteración incipiente en una dolomía jurásica a nivel petrográfico y petrofísico. Las muestras de "roca matriz" seleccionadas, tomadas en varios afloramientos de la Cuenca de Gijón-Villaviciosa (Asturias), corresponden a cuatro litotipos con analogías texturales y mineralógicas, pero que representan distinto estadio de meteorización. En todos los casos, no obstante, la roca mantiene un aspecto masivo. Esto se traduce principalmente en cambios composicionales, variación de propiedades físicas elementales y un comportamiento mecánico diferenciado que han sido evaluados mediante ensayos de laboratorio. Se constatan el cambio de color que sufre la roca desde tonos grises hacia amarillentos; un notable incremento de la porosidad que llega a quintuplicar los valores determinados para la roca menos alterada; la consecuente disminución de densidad aparente; y una significativa pérdida de resistencia mecánica bajo carga puntual, hasta casi un orden de magnitud inferior respecto a la roca sana.

Palabras clave: dolomía, Fm. Gijón, Jurásico, meteorización, propiedades de la "roca matriz".

Abstract: *Effects of initial weathering in a Jurassic dolomite are investigated from a petrographic and petrophysical viewpoint. The selected samples of 'intact rock', taken in several outcrops across the Gijón-Villaviciosa Basin (Asturias), correspond to four lithotypes with common textural and mineralogical features but representing different stages of weathering. In all samples, however, the rock keeps a massive appearance. The effects of weathering translate mainly as compositional changes, variation of elementary physical properties and a differentiated mechanical behavior that have been assessed by laboratory tests. The color of the rock changes from gray to yellowish tones and there is a noticeable increase in porosity, which exceeds five times what corresponds to the unaltered rock. This results in the consequent decrease in bulk density and a significant loss of mechanical strength under point load tests, being almost an order of magnitude lower than that of fresh rock.*

Keywords: *dolomite, Gijón Fm., Jurassic, weathering, 'intact rock' properties.*

INTRODUCCIÓN

Las dolomías se encuentran entre las rocas sedimentarias con mayor calidad mecánica, siendo por lo general más resistentes y menos susceptibles a la alteración que las calizas. Este comportamiento suele verse no obstante penalizado por heterogeneidades, caso de laminaciones y bandeados composicionales, porosidad por disolución, vetas, microfisuras, etc.

Entre las unidades carbonatadas del subsuelo asturiano, la Fm. Gijón se caracteriza por la abundancia de términos dolomíticos. Esta unidad se extiende mayoritariamente, con una disposición subhorizontal, a lo largo de la Cuenca de Gijón-Villaviciosa (Fig. 1), en el sector centro-oriental del margen costero asturiano (Valenzuela *et al.*, 1986). De edad Rhaetiense (Triásico Superior)-Sinemuriense (Jurásico Inferior), ha sido dividida en tres miembros (González Fernández *et al.*, 2004; Barrón *et al.*, 2006) denominados Inferior (Mb. Solís), Medio (Mb. Fabares) y Superior, con un espesor conjunto que llega a exceder los 200 m. Sobre la Fm. Gijón se ha desarrollado, en algunos sectores de la cuenca, una potente cobertera eluvial con reseñable incidencia geotécnica (López-Fernández *et al.*, 2006; Gutiérrez Claverol *et al.*, 2008; Pando *et al.*, 2012).



FIGURA 1. Ámbito de afloramiento de la Formación Gijón y localización, en rojo, de los puntos de muestreo.

Este trabajo aborda una aproximación a los efectos físico-químicos y mecánicos sobre la "roca matriz" dolomítica en distintas fases de meteorización, a partir del estudio de varios litotipos seleccionados en campo.

METODOLOGÍA

Fueron escogidos cuatro bloques de roca en tres localizaciones en el entorno de Gijón: Cerro de Santa Catalina, El Rinconín (2) y Tremañes (Fig. 1). Se trata de afloramientos de macizos bien estratificados con calidades RMR (Bieniawski, 1989) entre 61 y 77. Dos muestras corresponden al tramo inferior de la Fm. Gijón y las restantes al superior. Los cuatro tipos de dolomía fueron elegidos atendiendo a criterios macroscópicos, con particular atención a la coloración como indicador habitual de alteración (Fig. 2). Así, los bloques corresponden a una roca de aspecto gris claro y masivo (A); una litología también gris pero con moteados amarillentos (B); y una dolomía totalmente amarillenta y homogénea (C). Estos tres litotipos representan una meteorización creciente de la roca. Se añadió otra litología, más oscura, bandeada y con poros reconocibles a simple vista (D). Pueden considerarse en todos los casos rocas con grados de meteorización entre I y II (ISRM, 1981). Lo limitado del volumen muestreado es consecuencia de la dificultad para extraer bloques homogéneos en términos de alteración, dado que suele afectar únicamente a la parte más expuesta del macizo.

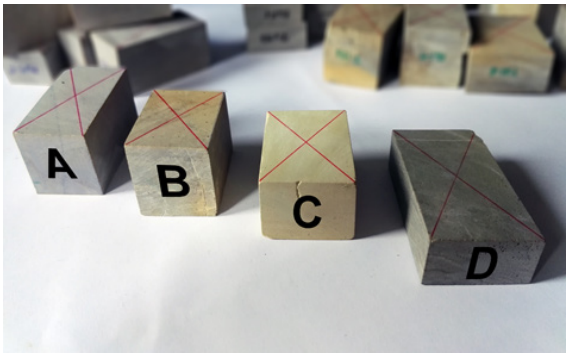


FIGURA 2. Aspecto de los litotipos en submuestras cortadas con disco.

En cada muestra se llevó a cabo una descripción macroscópica apoyada en observación con lupa binocular, y un reconocimiento textural y mineralógico de láminas delgadas a través de microscopía petrográfica bajo norma UNE-EN 12407:2007, con tinción de carbonatos. La asignación de color fue abordada con un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-410 bajo norma UNE-EN 15886:2011, y carta Munsell (1905). El análisis químico y mineralógico se realizó, respectivamente, mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X con equipo Philips PW2404 y difracción de rayos X con dispositivo Philips X' Pert Pro.

Para obtener las relaciones masa-volumen, se realizaron 29 determinaciones conforme a la norma UNE-EN 1936:2007. Finalmente, para evaluar la resistencia mecánica se ensayaron 31 muestras en formato de bloque (Fig. 2) –volumen promedio de 20 cm^3–, a rotura bajo carga puntual con una prensa Controls 45-D0550/D. Fue seguida la norma UNE 22950-5:1996 con secado en estufa durante al menos 24 h a 60 ºC. Estas determinaciones se realizaron, en caso de bandeado, con la carga perpendicular a la anisotropía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A nivel de quimismo las rocas A y B presentan una composición muy parecida. Entre las diferencias más reseñables se encuentra el superior contenido en sílice de las muestras C (3,46 %) y D (2,22 %) respecto a las otras (0,14 %). La roca C está enriquecida en Al y K, y ofrece un contenido particularmente elevado de Fe_2O_3 (1,44 %) que duplica al del resto de muestras. Con ello los cuatro litotipos presentan una proporción de dolomita superior al 90 %; resulta más alta en A y B (96,11 y 96,07 %, respectivamente), y baja a 92,07 % en C y 91,26 % en D. Esta última posee el mayor contenido en calcita (> 3 %).

A nivel macroscópico, la diferencia más perceptible entre las rocas es el cambio de color hacia tonos amarillentos con el progreso de la meteorización. Tomando la notación Munsell como referencia, supone pasar de 5B 7/1 (muestra A) a HUE 10 YR 7/4 y HUE 10 YR 8/2 en las dolomías meteorizadas. En relación al sistema CIELab, con la alteración se produce un cambio en la luminosidad tendiendo las muestras hacia el blanco; el parámetro cromático "a" experimenta variación hacia tonos más verdosos; y el parámetro "b" tiende a tonos más amarillentos.

En el microscopio petrográfico los cuatro litotipos ofrecen similitudes, presentando una textura cristalina equigranular constituida por cristales rómbicos de dolomita euhedrales a subeuhedrales, y un tamaño en torno a 80 micras (Fig. 3a). En algunas láminas pueden identificarse también núcleos recristalizados de mayor tamaño. Es posible asimismo reconocer calcita en vetas (Fig. 3b) –con cristales más grandes que la dolomita– o aislados, cuarzo accesorio, y óxidos de hierro (Fig. 3c) que están presentes en el litotipo más alterado (< 2 %). La porosidad es intercristalina y muy significativa en los litotipos C y D, estando distribuida uniformemente por toda la roca con tamaños variables (Fig. 3d). La roca se clasifica en todos los casos como una dolomía cristalina.

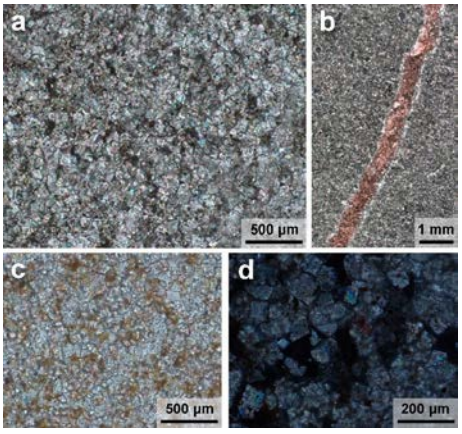


FIGURA 3. Dolomía bajo microscopía óptica: aspecto general (a), calcita teñida en una vena (c) y óxidos de hierro ocres (d), bajo luz polarizada sin analizador; y poros (d) con los polarizadores cruzados.

La densidad real de las muestras A, B y D resulta muy pareja (Tabla I), elevándose en el caso del litotipo C a causa de los óxidos de hierro. Sin embargo, se aprecian diferencias marcadas de densidad aparente, motivadas por el variado volumen de porosidad abierta; en el litotipo A apenas rebasa el 5 %, aumenta ligeramente en B y se incrementa de forma notable en C –la roca más alterada– con más del 25 %. En todos los casos la porosidad cerrada resulta muy baja (< 0,3 %).

Muestra	N	ρ (kg/m^3)	ρ_r (kg/m^3)	n_0 (%)	n (%)
A	7	2.643	2.790	5,3	5,3
B	7	2.551	2.770	7,6	7,9
C	7	2.275	3.050	25,3	25,4
D	8	2.467	2.770	10,8	10,9

TABLA I. Resultados obtenidos -en promedio– para los parámetros masa-volumen. Leyenda: N, n.º de determinaciones; ρ, densidad aparente; ρ_r, densidad real; n_0, porosidad abierta; n, porosidad total.

A nivel mecánico, el índice de carga puntual corregido calculado ($I_{s(50)}$) muestra diferencias considerables entre los litotipos (Fig. 4). Para la roca más sana se obtiene un valor promedio en torno a 10 MPa, resistencia superior a la ofrecida por la roca B y muy por encima de la correspondiente al litotipo más alterado. Este último se caracteriza por un comportamiento particularmente blando, que se traduce en una resistencia casi un orden de magnitud por debajo de la de la roca A. Cabe señalar que esta pérdida de cohesión de la dolomía ya se hizo patente durante el corte de los bloques de roca.

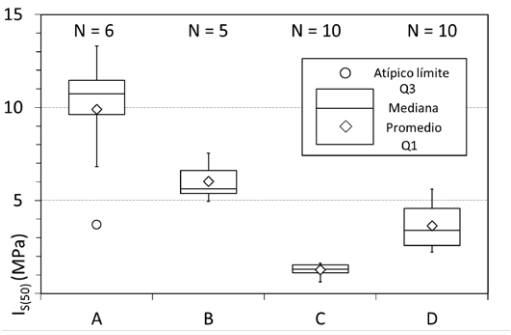


FIGURA 4. Resultados obtenidos en los ensayos de carga puntual.

En conjunto se aprecia una tendencia evidente de mejora resistente con el incremento de densidad aparente, estimándose un coeficiente de determinación entre ambas variables (R2) en torno a 0,9.

CONCLUSIONES

El análisis composicional –químico y mineralógico–, así como el reconocimiento macroscópico y microscópico de cuatro litotipos de una dolomía cristalina jurásica, evidencian cambios petrográficos y petrofísicos producidos durante las primeras fases de la meteorización. Sin perder la roca su aspecto masivo, se produce una transición del color gris inicial hacia una matriz de tonos amarillentos enriquecida en óxidos de hierro, y un incremento notable de la porosidad, principalmente abierta, hasta superar el 25 % con la consecuente disminución de la densidad aparente hasta valores inferiores a 2,3 g/cm^3.

Por su parte, la resistencia mecánica desciende significativamente con el progreso de la meteorización. Así, la dolomía se convierte en una roca blanda de tacto suave en la cual el índice de carga puntual corregido ofrece valores en torno a 1 MPa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con financiación a través del proyecto "Estructura y propiedades petrofísicas de las rocas en la base de unidades tectónicas de la Zona Cantábrica (PETROCANTÁBRICA)", MINECO-18-CGL2017-86487-P.

REFERENCIAS

Barrón, E., Gómez, J., Goy, A. y Pieren, A. (2006): The Triassic-Jurassic boundary in Asturias (northern Spain): Palynological characterization and facies. *Review of Palaeobotany and palynology*, 138: 187-208.

Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering Rock Mass Classifications.* Wiley & Sons, New York, 250 p.

González Fernández, B., Menéndez Casares, E., Gutiérrez Claverol, M. y García-Ramos, J.C. (2004): Subunidades litoestratigráficas de la Formación Gijón (Triásico Superior-Jurásico Inferior) en Asturias. En: *VI Congreso Geológico de España. Geo-Temas*, 6 (2): 71-74.

Gutiérrez Claverol, M., Pando, L. y García-Ramos, J.C. (2008): Procesos y productos de alteración de formaciones rocosas en Asturias y su repercusión socio-económica. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 211-230.

ISRM (1981): *Rock characterization, testing and monitoring. ISRM suggested methods.* Pergamon Press, Oxford, 211 p.

López-Fernández, C., Pando, L., Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (2006): Propiedades geotécnicas de las arcillas de descalcificación de Gijón y áreas limítrofes (Asturias). *Ingeniería Civil,* 141: 49-61.

Munsell, A.H. (1905): *A color notation*. G.H. Ellis Co., Boston, 86 p.

Pando, L., Flor-Blanco, G., Flor, G. y López-Fernández, C. (2012): Propiedades geotécnicas del recubrimiento cuaternario costero en el área urbana de Gijón (NO de España). En: *7º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico.* Actas, 205-210.

Valenzuela, M., García-Ramos, J.C., González Lastra, J. y Suárez de Centi, C. (1986): Sedimentación cíclica margo-calcárea de plataforma en el Lias de Asturias. *Trabajos de Geología*, 15: 45-52.

Evaluación de patologías constructivas en medios urbanos. Estudio de caso de la localidad de Perdiguera (Zaragoza)

Evaluation of constructive pathologies affecting to urban areas. Case study from the locality of Perdiguera (Zaragoza)

Ó. Pueyo Anchuela[1], P.L. López Julián [2], A. Pocoví Juan. [1], J. Gracia Abadías [1], A. Gil Imaz [1], J. Ramajo [1], C. Revuelto [3], J.I. Bartolomé [3] y A. Blecua Lázaro [4]

1 Instituto Univ. de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Depto. Ciencias de la Tierra. Univ. de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). opueyo@unizar.es; apocovi@unizar.es; grabaja@hotmail.com; agil@unizar.es; javierramajo@gmail.com

2 Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia – C/ Mayor, s/n. CP 50.100 – La Almunia de Doña Godina. pllopez@unizar.es

3 Geoscan S.L.P. C/ Ajedrea nº 20 nave E-24. Parque Empresarial Magnus-Polígono Empresarium. C.P. 50720. crevuelto@geoscan.es; jibartolome@geoscan.es

4 Ofigeo. Oficina Geotécnica. Centro Empresarial Parque Roma. C/ Vicente Berdusán, Boque D-1, Bajos. 50010 Zaragoza. arturo@ofigeo.es

Palabras clave: patologías constructivas, análisis cinemático, caracterización geotécnica, prospección geofísica por georradar, Perdiguera.

Resumen

Una amplia distribución de grietas y otras patologías constructivas afectan al casco urbano de la localidad de Perdiguera (Zaragoza). A partir de la información oral se asume que dicho desarrollo es de aparición reciente y que afecta a la práctica totalidad del casco urbano histórico de la localidad. Las grietas indican tanto movimientos verticales, como rotacionales (incremento de la apertura de grietas con la altura) y afectan a edificios, aceras y viales. La localización en un contexto con evaporitas en el subsuelo, presencia de bodegas excavadas bajo la localidad y pérdidas de conducciones han sido señaladas como factores responsables de los procesos de subsidencia superficial. Un estudio integrado por cartografía de grietas y análisis cinemático del casco urbano, de información geológica-geotécnica y prospección geofísica por georradar de las calles de la localidad ha permitido establecer la distribución de daños, tendencias y características de los procesos que afectan a la fábrica constructiva. El análisis integrado permite esclarecer que el origen de las patologías se relaciona principalmente con la consolidación de rellenos y terrenos recientes no consolidados con una distribución irregular asociada a una paleotopografía pre-cuaternaria y por la entrada de agua en el subsuelo.

Abstract

A wide distribution of cracks and construction pathologies affect to the urban area of Perdiguera locality (Zaragoza). From oral interviews it seems that this problem has appeared recently and mainly affect to the whole historical area from the village. Crack shows both vertical and rotation movements (crack opening increase with height) and affect to pavements, buildings and streets. The geological context with evaporites in the subsoil, the presence of anthropic cellars and the water loose from pipes has been pointed out as the origin of the subsidence processes. An integrated analysis including crack and pathologies mapping, their cinematic analysis, its integration with geological and geotechnical data, and the integration with gpr surveys along the streets has permitted to obtain the map view distribution, the crack trends and the characteristics of the processes affecting to the construction fabric. This integrated analysis has permitted to identify that the problem origin is related to the filling and Quaternary non consolidated settlement due to the water supply and where its distribution is due to the presence of an irregular pre-quaternary paleotopograhy that produce fast thickness and resistance changes of the most surficial materials where foundations, pavements and roads are sustained.

Anisotropía de la corteza superior mediante interferometría de ruido sísmico y separación de ondas S (Cordillera Cantábrica, NO España).

Anisotropy of the upper crust using ambient noise interferometry and S wave splitting (Cantabrian Mountains, NW Spain).

J. Acevedo[1], G. Fernández-Viejo[1], S. Llana-Fúnez[1], C. López-Fernández[1] y J. Olona[1,2]

1 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005, Oviedo. acevedojorge@uniovi.es, fernandezgabriela@uniovi.es, llanasergio@uniovi.es, lopezcarlos@uniovi.es, olona@geol.uniovi.es
2 TerraDat Ltd., Unit 1, Link Trade Park, Penarth Road, CF118TQ, Cardiff.

Palabras clave: Anisotropía; separación de ondas S; interferometría de ruido sísmico; Cordillera Cantábrica; corteza superior.

Resumen

En este estudio se presentan las primeras medidas geofísicas de las propiedades anisótropas de la corteza superior (0-10 km) del sector central de la Cordillera Cantábrica. Para ello se han analizado y comparado los datos sísmicos continuos registrados a lo largo de un año en dos redes temporales con distintas configuraciones: a) una red local (50x50 km) con sensores de periodo corto (Geocantábrica Seismic Network) y b) una red de escala regional (120x250 km) con sensores de banda ancha (IberArray e Instituto Geográfico Nacional). En ambos casos, estas redes muestrean corteza cuya estructura ha sido principalmente configurada durante la orogenia Varisca, aunque presenta importantes diferencias en el grado de intensidad de la fracturación Alpina en superficie.

En el análisis de los datos obtenidos se han empleado dos métodos de sísmica pasiva independientes: a) la variación acimutal de las velocidades de grupo de ondas Rayleigh obtenidas a partir de interferometría de ruido sísmico y b) la separación de ondas S procedentes de terremotos locales. Los resultados preliminares muestran intensidades medias de la anisotropía entre 3-10%. Además, se observa una correlación entre las direcciones rápidas obtenidas a partir de ambos métodos y la orientación de las fallas más cercanas a las estaciones. En el sector más occidental de la zona de estudio, las direcciones rápidas de las ondas tienden a ser paralelas a la fábrica Varisca de la corteza, mientras que hacia el Este, donde la huella estructural Alpina es más intensa, estas direcciones presentan frecuentemente orientaciones E-O, esencialmente características de los elementos Alpinos.

Abstract

This study presents the first geophysical measurements of the anisotropic properties of the upper crust (0-10 km) in the central Cantabrian Mountains. For this task, 1 year of continuous seismic data have been analyzed and compared. These datasets come from two temporary networks with different configurations: a) a local (50x50 km) short-period seismic array (Geocantábrica Seismic Network) and b) a regional-scale (120x250) broadband network (IberArray and Instituto Geográfico Nacional). In both cases, the networks sample continental crust heavily configured during the Variscan orogeny, however, the intensity of alpine structures differed at the surface.

The analysis of the data has been performed with two independent passive seismic methods: a) the azimuthal variation of Rayleigh wave group velocities from ambient noise interferometry and b) the splitting of S waves from local earthquakes. Preliminary results show average anisotropy strengths ranging between 3-10%. Furthermore, a clear correlation between the fast directions obtained from both methods and the orientations of local faults close to the stations is observed. To the west of the study area, fast polarization directions tend to align parallel to the Variscan fabric in the crust, while to the east, where the Alpine imprint is stronger, many fast directions are aligned parallel to E-W oriented Alpine features.

Crustal structure of the Iberian Central System and adjacent basins
Estructura cortical del Sistema Central y sus cuencas adyacentes

J. Andrés[1,2], P. Ayarza[2], M. Schimmel[1], D. Draganov[3], I. Palomeras[2], M. Ruiz[1], R. Carbonell[1]

1 Institute of Earth Science Jaume Almera (ICTJA), 08028, Barcelona, Spain, juvenalandrescabrera@gmail.com, schimmel@ictja.csic.es; ramon.carbonell@csic.es; mruiz@ictja.csic.es
2 Department of Geology, University of Salamanca, 37008, Salamanca, Spain, puy@usal.es
3 Department of Geoscience and Engineering, Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, the Netherlands, D.S.Draganov@tudelft.nl

Abstract: *The crustal structure of the Iberian Central System has been studied using passive seismic techniques. We have applied seismic interferometry to a passive dataset through two techniques to generate a lithospheric-scale cross-section of the orogen. The resulting images constrain the structure of the crust below the mountain range and that of its surrounding sedimentary basins. Both techniques provide complementary results. The resulting images reveal that the crust–mantle boundary is relatively flat, with arrival times of approximately 10 s two-way travel time except in the Central System, where reflectors are located at 12 s two-way travel time. This indicates a clear thickening of the crust below the core of the orogen, resulting, most probably, from an imbrication of the crust. The boundary between the upper and lower crust is found at 5 s two-way travel and it is also slightly deeper below the mountain range.*

Palabras clave: Sistema Central Ibérico, estructura cortical, métodos sísmicos de fuente natural

Resumen: La estructura cortical del Sistema Central Ibérico se ha estudiado mediante técnicas de sísmicas pasivas. Hemos aplicado interferometría sísmica a un conjunto de datos pasivos a través de dos técnicas para generar una corte a escala litosférica del orógeno. Las imágenes resultantes constriñen la estructura cortical de la cordillera y la de sus cuencas sedimentarias adyacentes. Ambas técnicas presentan resultados similares. Las imágenes obtenidas revelan que el límite entre la corteza y el manto es relativamente plano, con tiempos de llegada de aproximadamente de 10 s en tiempo doble, excepto bajo el Sistema Central, donde los reflectores están ubicados a 12 s en tiempo doble. Esto define un claro engrosamiento de la corteza debajo del Sistema Central, como resultado, muy probablemente, de una imbricación de la misma. El límite entre la corteza superior e inferior se encuentra a 5 s en tiempo doble y es también ligeramente más profundo debajo de la cordillera.

INTRODUCTION

The Iberian Central System (ICS) is an intraplate mountain range that divides the Iberian Inner Meseta in two sectors – the northern Duero Basin (DB) and the Tajo Basin (TB) to the south (Fig. 1). The topography of the area is highly variable, with the Tajo Basin having an average altitude of 450-500 m while the Duero Basin presents a higher average altitude of 750-800 m. The Spanish Central System extends in a NE-SW to ENE-WSW direction for over 300 km, and it has peaks above 2500 m. It is enclosed within the Iberian Massif (IB), which corresponds to one of the best-exposed Variscan outcrops in Europe. The importance of the Central Meseta in the configuration of the IB, lies in its topography. The intraplate ICS range acts as a boundary between the two basins that have a striking different elevation, being the DB around 300 m higher than the TB. This contrast may respond to the subsurface characteristics (e.g. crustal structure or rheological properties of the lithosphere). Seismic data can be used to provide new results that unravel the crustal structure of the ICS.

In this work, we present a lithospheric-scale reflectivity cross-section of the central part of the Iberian Peninsula by means of global-phase seismic interferometry (GloPSI) (Fig. 2) and ambient seismic noise interferometry (Fig. 3), acquired as part of the CIMDEF project. The array covers, from N to S, the Cenozoic Duero Basin, the Central System and the Cenozoic Tajo basins.

GEOLOGICAL SETTING

The Central Iberian Massif Deformation (CIMDEF) seismic profile is located within the Central Iberian Zone (CIZ), the most internal part of the Iberian Massif (IB). The profile crosses three main geological domains, namely the ICS, the Duero Basin (DB), and the Tajo Basin (TB). The ICS is an intraplate mountain range characterized by a thick-skin pop-up and pop-down configuration with E–W and NE–SW orientations from E to W, respectively. It was formed during the Cenozoic Alpine compression of the Iberian Peninsula and is composed by uplifted Variscan basement (Vegas et al., 1990; de Vicente et al., 1996, 2007). The current knowledge of the crustal and lithospheric structure of the Central System comes mainly from geophysical studies such as seismic data (Suriñach and Vegas, 1988; Diaz et al., 2016) and inversion and forward modelling of potential-field data (Tejero et al., 1996; de Vicente et al., 2007). These studies have found a

crustal thickness in the range of 31 to 35 km, showing a thickening underneath the Central System with respect to the surrounding basins.

GEOPHYSICAL DATA AND METHODS

Data used in this study was acquired within the CIMDEF experiment by 69 short-period 2 Hz, three component stations. The stations were operational during three different time periods. The central segment (Fig. 1) of the profile was recorded between May and June of 2017 by 24 stations and covered almost 120 km. The second acquisition time was held during February and April 2018 and consisted in a deployment of 15 stations that covered the southern part of the profile. The northern and longest part, almost 170 km, was acquired between July and September 2018 and 30 new stations were installed. The data was acquired in continuous recording at 250 samples per second (sps) during a period ranging from 28 to 60 days, depending on the survey. The stations were deployed in a linear array running NW-SE with an interstation spacing of 4,8 km, covering a total length of almost 330 km (Fig. 1b). All the data was collected using the same sensors and data-loggers, and the same acquisition parameters for the three deployments. While the duration of each deployment is different, the minimum amount of data is 28 days of continuous recording.

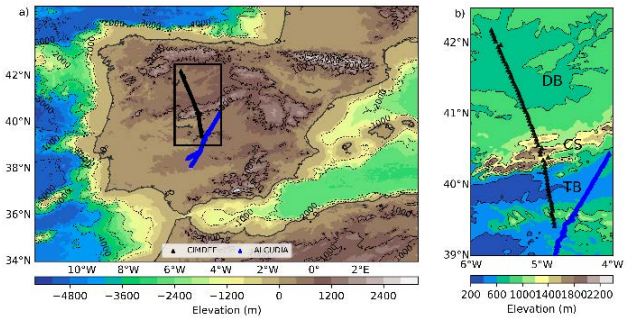


FIGURE 1. a) Topographic map of the Iberian Peninsula showing the location of the CIMDEF profile (black triangles) with respect to the ALCUDIA-WA (blue triangles) control-source seismic transect. b) inset of the topography with the location of the main geological features crossed by the profiles.

We have applied two different techniques to the data in order to construct a lithospheric scale cross-section of the study area. Both techniques rely on autocorrelations of the recorded signal, although the energy source is different. The first technique applied is the so-called global-phase seismic interferometry (GloPSI) (Ruigrok and Wapenaar, 2012). It uses continuous recordings of global earthquakes (> 120° epicentral distance) to extract global phases and their reverberations within the lithosphere. The processing provides an approximation of the zero-offset reflection response of a single station to a vertical source, sending (near)-vertical seismic energy, by autocorrelation and stacking the recorded earthquake phases.

The second methodology employed uses continuous recordings of ambient seismic noise, instead of earthquake recordings, to generate the zero-offset reflection response of the structure of the upper-lithosphere. The processing consists in the construction of stacked autocorrelograms of the vertical component of the ambient noise. We base our processing steps in the Phase Cross-Correlation (PCC) (Schimmel, 1999) and the time-frequency domain phase-weighted stack (tf-PWS) (Schimmel & Gallart, 2007). The PCC utilizes the instantaneous phases of the analytical signal of the data trace and produces a similarity measurement of the trace relative to a delayed version of itself. The tf-PWS is a linear stack weighted by the time-frequency-dependent instantaneous phase coherency. It enhances coherent arrivals through attenuating incoherent signals by considering the phase coherence of envelope normalized analytic signals.

RESULTS AND DISCUSSION

The images generated by both techniques highlight similar features as well as identify different characteristics that complement themselves.

The most relevant finding of the resulting images is the thickening of the ICS crust through a northward-directed imbrication of its lowermost part. In general, the crust–mantle boundary presents depths between 29 and 31 km to the N and S of the profile, while below the ICS it reaches depths of 36-38 km. The crustal thickening has a wavelength of around 100 km, and encloses the mountain range from the southern thrust, the boundary with the Tajo Basin, until the southern border of the Duero Basin. As yet, it is not clear if the imaged lower crust imbrication affects also the upper crust. In fact, the surface projection of this feature could lay on top of the southern Central System thrust or the Tiétar river fault system, thus indicating that the whole crust might be affected by this feature and further explaining the low topographies of the meseta to the S of the Central System.

The outcropping rocks of the ICS are mainly Carboniferous granites. Nonetheless, in the ambient seismic noise profile (Fig. 3), the depth continuation of the granites can be inferred. The thickness of the granitic crust below the ICS is marked by a thick package of high-amplitude/low frequency reflectors that run from the surface down to 4.5 s TWT (two-way-time) in its deepest point, shallowing to 3.5/4 s TWT towards the S and N. To the N, this characteristic signature fades out when the DB overlaps the granites, while to the S, the package is bounded by the southern thrust of the ICS, and a loss of coherency in the autocorrelations marks the end of the granites.

Some scattered reflectivity is found in the upper mantle in both profiles. In general, the reflectivity has low lateral continuity, although it is visible almost throughout the profile. It is restricted to two bands, between 40-45 km depth and around 70 km depth. The latter coincides with the reflectivity found in the ALCUDIA experiment (Ayarza, et al., 2010) and interpreted to be related with the Hales discontinuity.

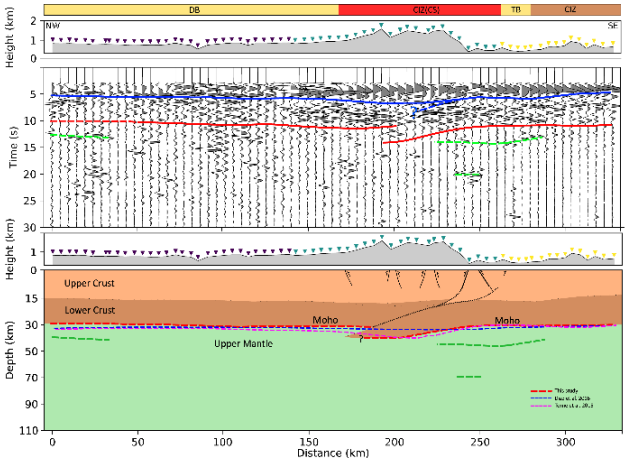


FIGURE 2. Top, interpreted reflectivity profile retrieved by GLOPSI. Solid lines mark stable features, and dashed lines indicate possible features. The blue line marks the upper-lower crust boundary. The red line is the crust–mantle boundary. Scattered reflectivity within the upper mantle is marked by the dashed green lines. Bottom, Sketch of the proposed crustal geometry, overlapped with Moho results from gravity inversion and receiver function (RF) (Díaz et al., 2016). The proposed model portraits that the entire crust imbricates below the CS.

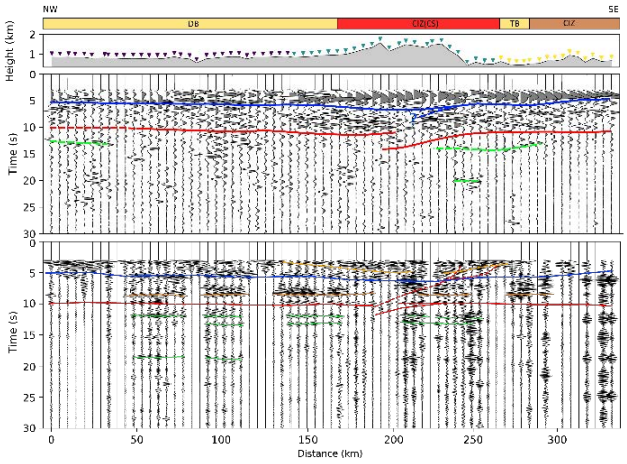


FIGURE 3. Top, interpreted reflectivity profile retrieved by GLOPSI, as shown in Fig. 2. Bottom, interpreted reflectivity profile derived from ambient noise autocorrelations. Red line represents the Moho boundary, while the blue line represents the upper-lower crust boundary. Green lines mark reflectivity retrieved in the upper-mantle. The interpreted extension of the ICS granites is shown by the yellow line. Reflectivity within the lower crust is marked in brown lines.

CONCLUSIONS

The results obtained from the presented lithospheric-scale profiles reveal the cortical structure below the Iberian Central System, and the Duero and Tajo basins. Our results suggest a crust divided between an upper-crust that is on average 15 km thick, and the lower crust with thickness ranging from 15 to 18 km. The boundary between both crusts is well defined throughout the profile. Within the upper-crust, the granites outcropping at the Central System have an extension of around 120 km, which covers the entire mountain range, and a maximum thickness of 10 km, thinning towards the ends of the Central System.

The most important finding of the study is the presence of an imbrication of the crust below the Central System, where the southern crust underthrusts the crust below the Central System. In general, the crust-mantle boundary is relatively flat throughout the profile, with depths ranging between 29 and 31 km, except below the mountain range. There, the imbrication deepens the crust until 36-38 km, marking a step of ~7 km with the crust-mantle boundary to the N. The crustal thickening is bounded to the S by the Tietar Basin, and the lower crustal imbrication can be projected to the surface onto the Southern Central System Thrust or the Tietar Basin fault locations. Although it is not yet clear that the imbrication affects the upper crust, our results indicate that one of those thrusts, or both, may represent crustal-scale features that could imbricate the whole crust. This structure might give insights in the topographic configuration and relation between the Central System and the Tajo and Duero basins.

Within the upper mantle, scattered reflectivity is found below the northern and central segments of the profile, in two bands enclosed in depths of 40-45 km for the top and around 70 km for the bottom. We describe the deepest of these features as the seismic image from the transition zone from spinel-lherzolite to garnet-lherzolite, known as the Hales discontinuity, and already proposed and described towards the S of the profile in other studies.

ACKNOWLEDGEMENTS

The data used for the research carried out in this contribution are stored at the DIGITAL.CSIC data repository. We would like to acknowledge the ICTJA-CSIC Seismic Laboratory (http://labsis.ictja.csic.es/, last access: 11 November 2019) for making their seismic station available for this experiment. This research has been supported by the Spanish National Research Program (grant nos. CGL2014 56548-P and CGL2016-81964-REDE), the regional government of Castilla and León (project SA065P17), and the Generalitat de Catalunya (grant no. 2017-SGR-1022); Juvenal Andrés is supported by FPI from the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities (grant no. BES-2015-071683).

REFERENCES

Ayarza, P., Palomeras, I., Carbonell, R., Afonso, J. C., and Simancas, J. F. (2010): A wide-angle upper mantle reflector in SW Iberia: Some constraints on its nature. *Phys. Earth Planet. In.*, 181, 88–102.

de Vicente, G., Giner, J. L., Muñoz-Martín, A., González-Casado, J. M., and Lindo, R. (1996): Determination of present-day stress tensor and neotectonic interval in the Spanish Central System and Madrid Basin, central Spain: Dynamics of Extensional Basins and Inversion Tectonics. *Tectonophysics*, 266, 405–424.

de Vicente, G., Vegas, R., Muñoz Martín, A., Silva, P. G., Andriessen, P., Cloetingh, S., González Casado, J. M., Van Wees, J. D., Álvarez, J., Carbó, A., and Olaiz, A. (2007): Cenozoic thick-skinned deformation and topography evolution of the Spanish Central System. *Global Planet. Change*, 58, 335–381.

Diaz, J., Gallart, J., and Carbonell, R. (2016): Moho topography beneath the Iberian-Western Mediterranean region mapped from controlled-source and natural seismicity surveys. *Tectonophysics*, 692, 74–85.

Ruigrok, E. and Wapenaar, K. (2012): Global-phase seismic interferometry unveils P-wave reflectivity below the Himalayas and Tibet, *Geophys. Res. Lett*., 39, L11303.

Schimmel, M. (1999): Phase cross-correlations: Design, comparisons, and applications. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(5), 1366–1378.

Schimmel, M. and Gallart, J. (2007). Frequency-dependent phase coherence for noise suppression in seismic array data. *J. geophys. Res*., 112, B04303, doi:10.1029/2006JB004680

Suriñach, E. and Vegas, R. (1988): Lateral inhomogeneities of the Hercynian crust in central Spain. *Phys. Earth Planet. In*., 51, 226–234.

Tejero, R., Perucha, M. A., Rivas, A., and Bergamín, J. F. (1996): Gravity and structural models of Spanish Central System. *Geogaceta*, 20, 947–950, 1996.

Vegas, R., Vázquez, J. T., Suriñach, E., and Marcos, A. (1990): Model of distributed deformation, block rotations and crustal thickening for the formation of the Spanish Central System. *Tectonophysics*, 184, 367–378.

Nuevos datos gravimétricos y geológicos de la Zona Axial y límite con la Zona Surpirenaica del Pirineo Central.

New gravimetric and geological data from the Axial Zone and northern South Pyrenean Zone (Central Pyrenees).

C. Ayala[1], R. Soto[2], F.M. Rubio[3], C. Rey-Moral[3], A.M. Casas-Sainz[4], P. Clariana[2], E.L. Pueyo[2], B.Oliva-Urcia[5], T. Román-Berdiel[4], Martín-León, J[3] y J. Martí[6]

1 IGME, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. Actualmente de visita en el ICT Jaume Almera-CSIC, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. c.ayala@igme.es
2 IGME Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. r.soto@igme.es
3 IGME Tres Cantos. C/ La Calera nº 1, 28760 Tres Cantos (Madrid)
4 Universidad de Zaragoza, Geotransfer (IUCA), Dpto. Ciencias de la Tierra, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza
5 Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. Geología y Geoquímica, C/ Tomás y Valiente 7, 28049 Madrid
6 CSIC. ICT Jaume Almera, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona.

Palabras clave: gravimetría, geometría subsuelo, granito, acumulación evaporítica, Pirineo Central.

Resumen

El conocimiento de la geometría del subsuelo se basa en la integración de datos geológicos y geofísicos. En la Zona Axial del Pirineo Central y sector septentrional de la Zona Surpirenaica, la ausencia de perfiles de sísmica de reflexión dificulta esta labor y hace necesaria la búsqueda de otras técnicas, como la gravimetría, para inferir su estructura en profundidad. En este trabajo los equipos del IGME e ICGC han tomado 1164 nuevas estaciones gravimétricas en la zona de estudio, se han recopilado 2740 estaciones previas de las bases de datos de SITOPO (proyecto TopoIberia) e ICGC y se ha realizado su homogenización. Se ha obtenido un nuevo mapa de la anomalía de Bouguer caracterizado por un mínimo elongado de longitud de onda larga de más de -100 mGal asociado a la raíz cortical de los Pirineos. Cabe destacar la diferente respuesta gravimétrica que ofrecen los dos principales granitos de la zona de estudio, La Maladeta y Andorra-Mont Louis (menor densidad que las rocas Paleozoicas del encajante). Al SO del granito de La Maladeta aparece un mínimo relativo que se interpreta asociado a acumulaciones evaporíticas triásicas (menor densidad) en profundidad. Además se ha realizado: (i) un mapa de anomalía residual asumiendo una anomalía regional correspondiente a un polinomio de tercer grado para inferir la estructura más superficial y (ii) mapas de las derivadas vertical y horizontal de la anomalía gravimétrica residual para observar cómo varían espacialmente los valores de densidad de las rocas existentes. Este trabajo destaca el potencial de la gravimetría en el estudio de la estructura en profundidad de orógenos y cinturones de pliegues y cabalgamientos con presencia de rocas ígneas y/o evaporíticas con valores de densidad menores al de las rocas sedimentarias encajantes.

Abstract

The integration of geological and geophysical data is key to understand the subsurface geometry. In the Pyrenean Axial Zone and northernmost South Pyrenean Zone, the lack of seismic data makes necessary the use of other techniques, such as gravimetry, to infer the geometry of structures at depth. A new gravity survey (1164 new sites taken by the IGME and ICGC teams) together with more than 2740 sites from SITOPO (TopoIberia project) and ICGC databases reveal the existence of a Pyrenean-oriented long-wavelength Bouguer gravity anomaly (up to -100 mGal) associated with the Pyrenean crustal root. The two main igneous bodies cropping out in the study area, La Maladeta and Andorra-Mont Louis granites, display different gravimetric response. To the Southwest of La Maladeta granite, a gravity low is detected and interpreted in relation to an evaporitic accumulation. This study was complemented by a residual anomaly map and contour maps of horizontal and vertical gradients derived from the residual anomaly map. This work highlights the potential of gravimetric surveying in orogenic belts to constrain the geometry at depth when granitic and evaporitic rocks (lower density values) are present.

Anatomía de fallas de transferencia entre segmentos de rift: nuevos resultados de la Falla de Pamplona (Pirineos Occidentales)

Anatomy of rift-segmenting transfer faults: new results from the Pamplona Fault (Western Pyrenees)

C. Bravo[1], J. I. Baceta[1] and J. C. Larrasoaña[2]

1 UPV-EHU, Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Barrio Sarriena, s/n, 48940 Lejona, Vizcaya. cbravo004@ikasle.ehu.eus, juanignacio.baceta@ehu.eus

2 IGME, Unidad de Zaragoza, Manuel Lasala 44, 9B, 50006 Zaragoza. jc.larra@igme.es

Keywords: Rifting, Segmentation, Pamplona Transfer Zone

Resumen

El orógeno pirenaico se articula longitudinalmente en segmentos limitados por estructuras transversales como las fallas de Toulouse, Pamplona o Santander (Tugend *et al.*, 2014). Durante el rifting del Golfo de Vizcaya estas fallas actuaron como zonas de transferencia del eje del rift y posteriormente, durante la compresión alpina, controlaron la distribución de láminas cabalgantes y surcos de sedimentación sinorogénicos. La Falla de Pamplona, límite entre los Pirineos occidentales y vasco-cantábricos, discurre a lo largo de más de 100 km, desde el borde cabalgante surpirenaico en Navarra hasta el antepaís de Aquitania. Este estudio se centra en la terminación meridional de la Falla de Pamplona, caracterizada por diapiros alineados, fracturación extensional conjugada y ausencia de movimientos de desgarre significativos (Vergés, 2001; Larrasoaña *et al.*, 2003). La integración en un modelo 3D georreferenciado de la geología de superficie, sísmica de reflexión y sondeos de exploración ha permitido evaluar aspectos relevantes de la falla de transferencia en dicho sector, como las variaciones de espesor de la cobertera, la distribución espacial de estructuras compresivas y su nivel basal de despegue, o la morfología del basamento, cuya naturaleza específica todavía se desconoce.

Abstract

The Pyrenean orogen is divided along-strike in segments bounded by traverse structures like the Toulouse, Pamplona or Santander Faults (Tugend et al. 2014). During the Bay of Biscay Cretaceous rifting these faults acted as transference zones of the rift axis and subsequently, during the Alpine inversion, controlled the distribution of synorogenic sedimentary troughs and thrust front emplacement. The Pamplona Fault, in the transfer zone between the western and Basque-Cantabrian Pyrenees, extends for more than 100 Km from the South Pyrenean Thrust Front in Navarre to the Aquitania Foreland Basin. This study focuses on the southern termination of the Pamplona Fault, marked by a series of aligned salt diapirs, conjugate extensional fracturing and absence of significant strike-slip motion (Vergés, 2001; Larrasoaña et al., 2003). The integration of surface geology, seismic surveys and exploration wells in a 3D georeferenced model has allowed a detailed evaluation of the thickness variation of the sedimentary series across the fault zone, the spatial distribution of compressive features, the basal detachment level configuration and the morphology of the underlying basement, whose specific nature is still poorly known.

References

Larrasoaña, J.C., Parés, J.M., Millán, H., Del Valle, J. and Pueyo, E.L. (2003). *Tectonics*, Vol.22, No.6, 1071.

Tugend, J., Manatschal, G. Kusznir, E. Masini, G. Mohn, and I. Thinon (2014), *Tectonics*, 33, 1239–1276

Vergés, J. (2003). *Boletín Geológico y Minero*, 114 (1): 87-101.

Registro geofísico e interpretación sísmica de estructuras extensionales y compresivas en el Margen Continental Noribérico

Geophysical imaging and seismic interpretation of extensional and compressional structures along the North Iberian margin

P. Cadenas[1,2,3], G. Manatschal[1], G. Fernández-Viejo[3] y J. Kim Welford[4]

1 Institut du Physique du Globe de Strasbourg, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Strasbourg 67000 Strasbourg, manat@unistra.fr
2 Institut de Ciènces del Mar, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 08003 Barcelona.
3 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo 33005 Oviedo, pcadenas@geol.uniovi.es, fernandezgabriela@uniovi.es
4 Earth Sciences Department, Memorial University of Newfoundland, A1B 3X9, kwelford@mun.ca

Palabras clave: interpretación geológico-geofísica, métodos sísmicos, margen pasivo, extensión, reactivación compresiva.

Resumen

El Margen Continental Noribérico representa un enclave geodinámico único para estudiar la formación y evolución de un margen pasivo estructurado durante diversos eventos de rift y la influencia de la estructura extensional heredada en la posterior reactivación compresiva. La disponibilidad de una densa malla de perfiles sísmicos de reflexión y sondeos de exploración y la integración de modelos de velocidad previos ha permitido realizar un análisis tectono-estratigráfico y determinar la estructura cortical y la arquitectura sedimentaria. A partir de la interpretación del registro sísmico y la elaboración de mapas de espesor cortical y sedimentario, se ha determinado la existencia de diversos dominios corticales y cuencas sedimentarias, estructurados por fallas normales de alto ángulo, fallas de strike-slip, despegues extensionales, y cabalgamientos. Los cortes geológicos y los mapas estructurales muestran una arquitectura caracteriza por presentar una elevada segmentación, corroborada en mapas de espesor cortical y profundidad del límite corteza-manto obtenidos a partir de inversiones gravimétricas realizadas utilizando las interpretaciones geológico-geofísicas. La calidad de los perfiles de reflexión ha permitido determinar las características morfológicas de las diferentes estructuras identificadas y cualificar su interpretación sísmica. Este trabajo muestra que la interpretación geológico-geofísica de datos sísmicos es la clave para determinar la arquitectura de un margen pasivo y su variabilidad espacial y determinar la evolución cinemática de márgenes de rift conjugados.

Abstract

The North Iberian margin represents a unique setting to study the formation and the geodynamic evolution of a passive margin and to analyse the influence of rift inheritance on subsequent compressional reactivation. Relying on a dense set of borehole-constrained seismic reflection data and on the integration of published velocity models, we develop a tectono-stratigraphic assessment of the seismic records and produce crustal and sediment thickness maps. Seismic-derived interpretations and isopach maps have enabled the definition of different crustal domains and sedimentary basins, which are bounded by high-angle normal faults, strike-slip faults, extensional detachment faults and thrusts. The margin shows a strong structural variability which is also observed in crustal thickness and Moho depth maps derived from 3D constrained gravity inversions. The quality of the seismic imaging has allowed us to define the basement features associated with all the distinctive structures and analyse their seismic expression. This work shows that the geological-geophysical interpretation of seismic data is the cornerstone to unravel the architecture of a passive margin and its along-strike structural variability, providing key insights to constrain the kinematic evolution of conjugate rifted margins.

Hacia una base de datos sísmicos abierta de la Península Ibérica: el repositorio del ICTJA-CSIC

Towards an Open Access seismic database of the Iberian Peninsula: the ICTJA-CSIC repository

I. DeFelipe[1], J. Alcalde[1], R. Carbonell[1], M. Ivandic[2], R. Roberts[2]

1 Institute of Earth Sciences Jaume Almera ICTJA-CSIC, c/Lluis Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona (Spain). idefelipe@ictja.csic.es, ramon.carbonell@csic.es, jalcalde@ictja.csic.es

2 Uppsala University, Villavägen 16, Uppsala (Sweden). monika.ivandic@geo.uu.se, roland.roberts@geo.uu.se

Palabras clave: Deep Seismic Sounding data, open data, ICTJA CSIC database.

Resumen

Los experimentos de adquisición de datos de sísmica profunda de fuente controlada han generado un gran volumen de resultados desde los años 50. Estos datos aportan una información muy valiosa sobre la estructura y naturaleza de la corteza y litosfera, constituyendo una herramienta fundamental para la investigación en Ciencias de la Tierra. Además de ser únicos, estos datos han supuesto un elevado coste material e intelectual, por lo que su preservación es indispensable. Por ello, la comunidad científica está promoviendo políticas de datos abiertos siguiendo los principios de gestión de datos 'FAIR' (encontrables, accesibles, interoperables y reutilizables). Con el fin de promover el uso integrado de datos científicos, la e-infraestructura 'European Plate Observation System' (EPOS) y el proyecto 'Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe' (SERA) tienen como objetivo desarrollar un plan a largo plazo para la gestión de datos sísmicos profundos (Atakan *et al*., 2019). Un prototipo de este tipo de base de datos se ha desarrollado entre los servicios de DIGITAL.CSIC y el Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera' (https://digital.csic.es/handle/10261/101879). En esta plataforma, los resultados de cada proyecto están almacenados junto con una ficha de metadatos. Estos metadatos incluyen información general de los propios datos, los autores, tiempo y lugar de la adquisición, los organismos financiadores y otros aspectos legales relevantes. La información técnica incluye los parámetros de adquisición, el procesado de los datos y su formato. Con este protocolo se asigna un identificador permanente a los datos, de forma que cada visita o descarga queda registrada y forma parte de las estadísticas de referencia de la base de datos como medida su impacto. Este trabajo está financiado por la Comisión Europea (Grant Agreement no: 676564-EPOS IP, Call H2020-INFRADEV-2014-2015/H2020-INFRADEV-1-2015-1, SERA 730900).

Abstract

Controlled source seismic data acquisition experiments have produced a vast amount of Deep Seismic Sounding data since the late 50's. These datasets provide critical information on the structure and nature of the crust and the lithosphere, which constitutes a fundamental research tool within Solid Earth Sciences. These datasets are unique and constitute the output of an expensive scientific process, thus demanding their preservation. The research community has pushed forward open access data policies based on the FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable). In this respect, a long-term plan has been launched to streamline the integrated use of scientific data resulting in the European Plate Observation System (EPOS) e-infrastructure and the Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe (SERA) (Atakan et al., 2019). A prototype of data exchange system has been developed jointly between the DIGITAL.CSIC services and the Institute of Earth Sciences 'Jaume Almera' (https://digital.csic.es/handle/10261/101879). Within the platform, each dataset includes the acquired raw data and a metadata file. The metadata provides information of the nature of the data itself, list of authors, the time and location of the experiments, funding agencies and other relevant legal aspects. The technical information includes the acquisition parameters, data processing and format of the data. In the developed storage protocol, a permanent identifier is assigned ensuring that any data, download, or access is accounted for. This information is entered into a statistics referencing database and can also be used as a measure of the impact of the data. This work is funded by the European Commission (Grant Agreement no: 676564-EPOS IP, Call H2020-INFRADEV-2014-2015/H2020-INFRADEV-1-2015-1, SERA 730900).

Referencias

Atakan, K., Indroy, H.K.S., Eryilmaz, N., Carbonell, R., DeFelipe, I., Ivandic, M., and Roberts, R. (2019). SERA Deliverable D5.4, 2019.

Caracterización de la estructura cortical bajo la Zona Centro Ibérica: el experimento CIMDEF

Constraints on the crustal structure beneath the Central Iberian Zone: the CIMDEF experiment

I. DeFelipe[1], J. Andrés[1], J. Alcalde[1], I. Palomeras[2], M. Ruiz[1], P. Ayarza[2], D. Martínez Poyatos[3], F. González Lodeiro[3], J. L. Granja-Bruña[4], R. Rodríguez-Fernández[5], M. Torné[1], and R. Carbonell[1]

1 Institute of Earth Sciences Jaume Almera ICTJA-CSIC, Lluís Solé i Sabarís s/n 08028 Barcelona, idefelipe@ictja.csic.es, jandres@ictja.csic.es, jalcalde@ictja.csic.es, mruiz@ictja.csic.es, montserrat.torne@ictja.csic.es, ramon.carbonell@csic.es
2 Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de los Caídos s/n, 37008 Salamanca, imma@usal.es, puy@usal.es
3 Dpto. Geodinámica, Universidad de Granada, av. de la Fuente Nueva s/n, 18071 Granada, djmp@ugr.es, lodeiro@ugr.es
4 Universidad Complutense de Madrid, c/José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid, jlgranja@geo.ucm.es
5 Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, lr.rodriguez@igme.es

Palabras clave: wide-angle seismic reflection, Iberian Massif, Central Iberian Zone, CIMDEF.

Resumen

El Macizo Ibérico, en la parte occidental de la Península Ibérica, constituye una sección prácticamente completa del orogéno Varisco. Desde los años 90 este macizo ha sido objeto de diferentes estudios geofísicos para conocer la estructura a escala cortical. No obstante, en su parte central – la Zona Centro Ibérica – todavía no existían datos de sísmica profunda. Con el fin de aportar información geofísica en esta zona, en 2017 y 2019 se llevó a cabo el experimento de sísmica de reflexión y refracción de gran ángulo, CIMDEF (*Central Iberian Mechanism of DEFormation*). Este proyecto consiste en tres perfiles de orientación NNO-SSE y E-O de entre 130 y 330 km de longitud que atraviesan la cuenca del Duero, el Sistema Central y la cuenca del Tajo, lo que nos ha permitido construir un nuevo modelo de velocidades de ondas P en este sector de la Zona Centro Ibérica. Los resultados complementarán los modelos previos basados en interferometría sísmica de fases globales y sísmica de ruido ambiente (Andrés *et al.*, 2019, 2020), aportando nuevos datos para validar la precisión de métodos sísmicos pasivos a escala litosférica en el orógeno Varisco. Financiación: EU EIT-RawMaterials 17024_20170331_92304; MINECO: CGL2016-81964-REDE, CGL2014-56548-P).

Abstract

The Iberian Massif, in the western part of the Iberian Peninsula, constitutes a nearly complete section of the Variscan orogen. Since the 1990s it has been target of different geophysical studies to unravel the crustal structure. However, there was a remarkable lack of deep seismic sounding data in its central part – the Central Iberian Zone. To fill this gap, a wide-angle seismic reflection and refraction experiment, CIMDEF (Central Iberian Mechanism of DEFormation), was acquired in 2017 and 2019. CIMDEF consists of three NNW-SSE and E-W oriented profiles ranging between 130 and 330 km in length. These profiles run through the Duero basin, the Central System and the Tajo basin, allowing us to construct a new P-wave velocity model in this sector of the Central Iberian Zone. Furthermore, it will help to complement previous models in this area based on Global-Phase Seismic Interferometry and ambient seismic noise (Andrés et al., 2019, 2020), thus providing new constraints to validate the accuracy of passive seismic methods at lithospheric scale in the Variscan orogen. Funding resources EU EIT-RawMaterials 17024_20170331_92304; MINECO: CGL2016-81964-REDE, CGL2014-56548-P).

Referencias

Andrés, J., *et al.* (2019). Lithospheric image of the Central Iberian Zone (Iberian Massif) using global-phase seismic interferometry. https://doi.org/10.5194/se-2019-107.

Andrés, J., *et al.* (2020). Crustal structure of the Iberian Central System and adjacent basins. CGE2020.

High density seismic records of helicopters and airplanes in northwestern Iberia.

Registros sísmicos de alta densidad de helicópteros y aviones en el NO de Iberia.

J. Díaz, J. Andrés, I. DeFelipe, M. Ruiz, R. Carbonell

ICTJA-CSIC, c. Solé Sabarís sn, 08028 Barcelona. (jdiaz@ictja.csic.es)

Abstract: *During the acquisition of an active seismic profile using controlled sources and densely spaced instruments in the northwestern of Iberia, we have recorded acoustic waves generated by the passage of an helicopter and an airplane. Although the seismic record of the acoustic waves generated by aircrafts are usual, having seismic recordings of single helicopters and airplanes every 350 m along almost 200 km is certainly an exceptional fact. The aircrafts travelled along trajectories subparallel to the profile, and we expect that the inspection of the data will allow to reconstruct the trajectory and speed of the aircrafts. The differences in the signals generated by helicopters and planes can be documented from the inspection of the corresponding spectrograms. Beyond the funny aspect of identifying such unusual signals, we believe that this data set can allow to study in more detail the transfer of energy between acoustic and mechanical waves, a topic of interest in different research domains.*

Keywords: *Helicopters, sonic waves, seismic record, high density profile.*

Resumen: Durante la adquisición de un perfil sísmico utilizando fuentes controladas e instrumentos de registro densamente espaciados en el noroeste de Iberia, hemos registrado las ondas acústicas generadas por el paso de un helicóptero y un avión. Aunque el registro sísmico de las ondas acústicas generadas por aeronaves es habitual, disponer de un registro sísmico del paso de helicópteros y aviones individuales cada 350 m a lo largo de casi 200 km es ciertamente un hecho excepcional. Las aeronaves viajan en trayectorias subparalelas al perfil, y esperamos que los datos permitan reconstruir sus respectivas trayectorias y velocidades. Las diferencias en las señales generadas por helicópteros y aviones se ponen de manifiesto claramente en sus correspondientes espectrogramas. Más allá del aspecto lúdico de la identificación de estas señales inusuales, creemos que este conjunto de datos puede permitir estudiar en más detalle la transferencia de energía entre las ondas acústicas y mecánicas, un tema de interés en diversos dominios de investigación.

Palabras clave: Helicópteros, ondas sónicas, registro sísmico, perfil de alta densidad.

INTRODUCTION

The CIMDEF project aims to do an integrated multidisciplinary lithsopheric model across the Central Iberian Zone, from the Tajo Basin, across the Central System to the Duero Basin. A fundamental player of the project has been the acquisition of an approximately 330 km long wide-angle seismic reflection transect (Andrés et al., 2019; Ayarza and Carbonell, 2019), designed as the northwards extension of the previously acquired ALCUDIA and IBERSEIS transects (Palomeras et al., 2009; Ehsan et al., 2015). The profile is oriented close to NW-SE and its northern edge is located 25 km south of Astorga, while its southern termination is 65 km south of Talavera de la Reina. This profile was recorded using up to 996 autonomous seismic stations, with a station spacing close to 350 m. This geometry assures a high resolution recording of the seismic waves generated by controlled sources.

During the processing of the records of the shot fired the 3/7/2019 near the northern termination of the profile we observed signals recorded several minutes later than the P and S waves generated by the shot. These signals have strong enough amplitude to be observed without using band-pass filtering or other signal processing techniques (Figure 1). We will focus here in the description and provisional interpretation of these anomalous signals.

OBSERVATIONS

The first of these signals was observed around 1 hour later than the controlled source explosion on the northernmost stations, 38 minutes at offsets around 100 km and 18 minutes after the P-wave arrivals at offsets of 180 km. This signal, observed along more than 200 km and progressing from SE to NW, has an apparent velocity close to 230 km/h.

The second anomalous signal starts at offsets of around 175 km and can be followed up to the southern termination of the profile, more than 150 km away. The signal is first observed 1 hour and 50 minutes after the P-wave arrival for the stations in the centre of the profile and arrives around 1 hour and 10 minutes after the origin time to the stations located at the southeastern edge of the profile,

hence moving along a NW to SE direction. The apparent velocity of this signal is close to 530 km/h, clearly exceeding the precedent signal.

In both cases, the observed signals have a duration of about 100 s, with mean amplitude increasing and then decreasing smoothly.

As can be observed in Figure 1, other non-seismic phases of lower amplitude can be observed along the profile, probably related to natural and anthropogenic sources, including cars, farmhouse vehicles and wind turbines in the highest sections of the profile. However, we will not discuss these features here.

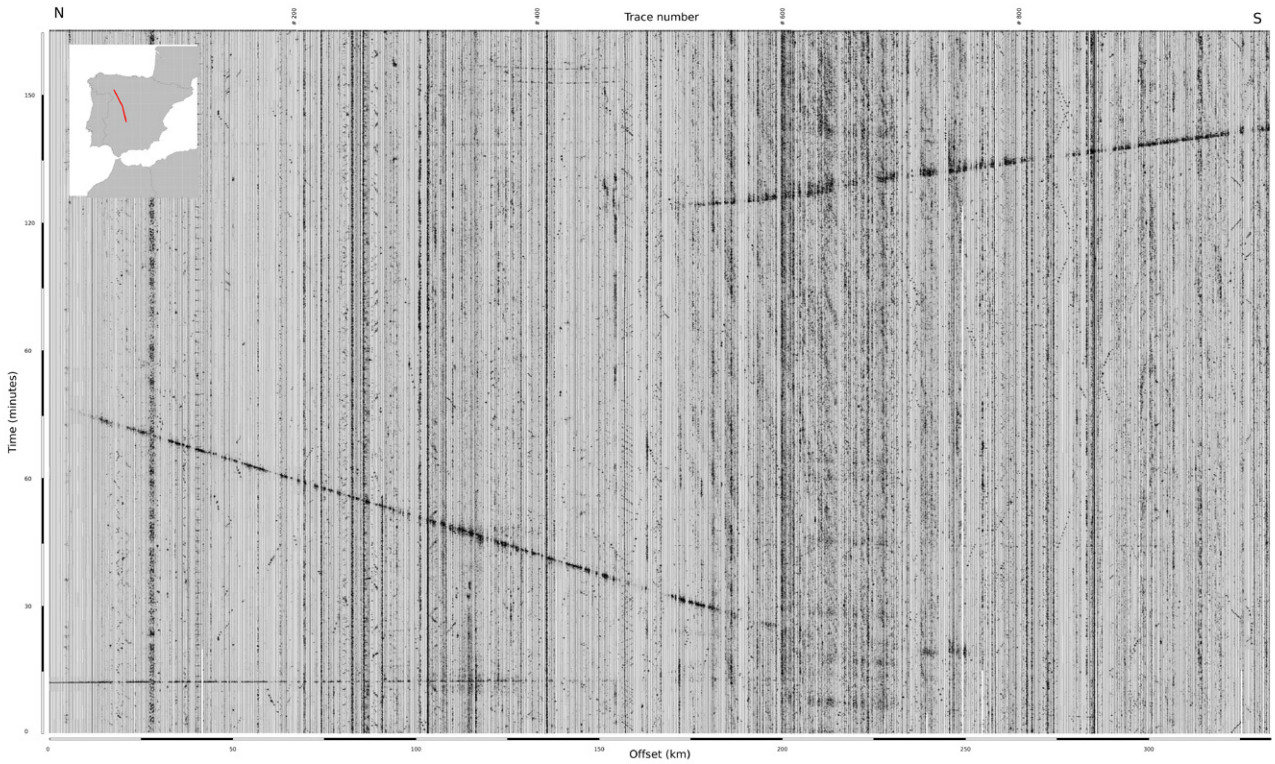


FIGURE 1. Shot gather of the 3/7/19 CIMDEF controlled source explosion. The onset shows a map with the location of the traces. Traces are ordered by their location. Approximate offsets are also indicated. Note that the vertical scale, in minutes, encompasses almost 3 hours of data.

DISCUSSION

We can only explain these signals as related to moving sources travelling along a trajectory subparallel to the profile. Taking into account the observed apparent velocities, the most plausible origin seems to be aircrafts following flying paths subparallel to the seismic profile orientation. Further support to this hypothesis comes from the fact that the Salamanca airport is located 30 km to the west of the CIMDEF profile at an offset range compatible with the origin of the two observed signals. Since 2015, this airport is not offering regular commercial flights. However, the airport is used for logistics and training activities and it serves as a base of the Spanish Armed Force, and also hosts firefighting services of the Spanish government. (http://www.ejercitodelaire.mde.es/EA/ejercitodelaire/es/organizacion/unidades/unidad/Grupo-de-Escuelas-de-Matacan-GRUEMA/, https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/incendios-forestales/extincion/aa/default.aspx). The apparent velocity of the first detected signal, around 230 km/h, matches the speed range of most of the present-day helicopters. On the other side, the apparent velocity of the second source, exceeding 500 km/h, suggest that it is related to an airplane. We plan to contact the flight authorities at the Salamanca airport to recover the flight orders during the investigated time interval and hence have an independent confirmation to our interpretation.

We assume that each trace records the vibrations generated by the coupling of the acoustic waves induced by aircrafts in the vicinity of its location. In order to check this hypothesis, we have analyzed the spectrograms of both signals, as it is well known that helicopters produce a large number of overtones due to the rotation of the blades, while the acoustic waves generated by airplanes do not show this feature.

Figure 2 shows the seismogram and the corresponding spectrogram of the record of helicopter signal as recorded at trace number 48, located at an offset of 16 km, while Figure 3 depicts the signal and spectrogram related to the passage of the airplane as recorded at trace 748, located at an offset of 255 km. In both cases the spectrograms show the Doppler effect. It has been proved that it is possible to estimate the speed and direction of these kind of moving

sources at each receiver in order to infer their trajectories (Eibl et al., 2017). Due to the large amount of available data, we are currently developing automatic procedures to get these results for a representative amount of traces. However, the first results confirm the working hypothesis that relates the signals to aircrafts moving along paths subparallel to the profile orientation.

CONCLUSIONS

The acquisition of active source profiles using a densely spaced array of sensors not only allows to obtain high resolution models of the subsurface, but also gives the opportunity to record in great detail other natural and anthropogenic sources of noise. In this particular case, we have discussed the seismic record of acoustic waves generated by a helicopter and an airplane moving in opposite directions along the profile. We have proven that high frequency geophones are able to record this kind of events, and shown the clear differences in the signals produced by both types of aircrafts. These results may help to better understand the coupling between acoustic and seismic waves, a matter of interest for different research domains. In recent years, the so-called environmental seismology has revealed to be a reliable tool to monitor natural and man-made processes, from river discharge to road traffic monitoring. The results presented here prove that high resolution active seismic experiments can also contribute to the use of seismic data to understand processes beyond what is usually considered as Earth Sciences.

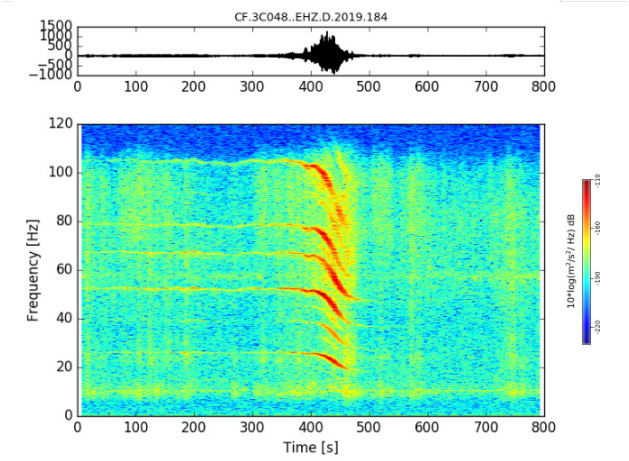


FIGURE 2. Seismic record and corresponding spectrogram during the passage of an helicopter close to station 048, located at 15 km of the northern end of the profile. The fundamental frequency is around 25 Hz before the arrival of the aircraft and decreases to 20 Hz later. Overtones are clearly imaged until frequencies above 100 Hz, the upper limit of our dataset.

ACKNOWLEDGMENTS

Seismic data were acquired in 2019 with funding provided by the Spanish National Research Program (CGL2014-56548-P, CGL2016-81964-REDE) and by the EIT Raw Materials program (17024_20170331_92304), with additional support from the Generalitat de Catalunya grant 2017SGR1022 and from the SANIMS project (RTI2018-095594-B-I00), funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities.

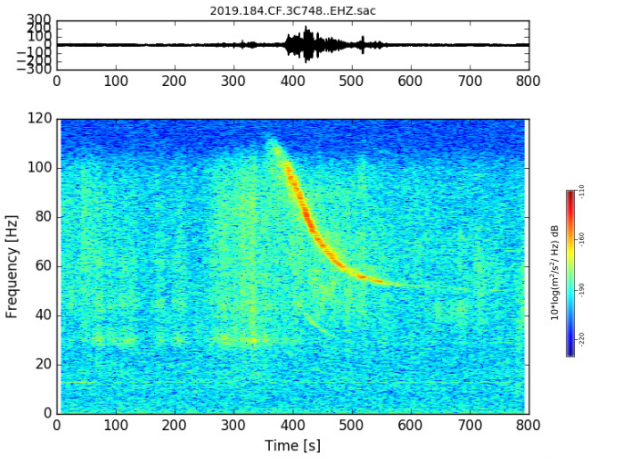


FIGURE 3. Seismic record and corresponding spectrogram during the passage of an airplane close to station 748, located at 90 km of the southern end of the profile. A single mode, ranging between 110 and 70 Hz can be identified in this case.

REFERENCES

Andrés, J., Draganov, D., Schimmel, M., Ayarza, P., Palomeras, I., Ruiz, M. and Carbonell, R. (2019): Lithospheric image of the Central Iberian Zone (Iberian Massif). *Solid Earth*, 10, 1937–1950, https://doi.org/10.5194/se-10-1937-2019

Ayarza, P. and Carbonell, R. (2019): CIMDEF: a wide-angle deep seismic reflection profile in the Central Iberian Zone [Dataset], DIGITAL.CSIC, http://dx.doi.org/10.20350/digitalCSIC/10528.

Ehsan, S. A., Carbonell, R., Ayarza, P., Martí, D., Martínez Poyatos, D., Simancas, J. F., Azor, A., Ayala, C., Torné, M. and Pérez-Estaún, A. (2015): Lithospheric velocity model across the Southern Central Iberian Zone (Variscan Iberian Massif): The ALCUDIA wide-angle seismic reflection transect. *Tectonics*, 34, 535–554.

Eibl, E.P.S., Lokmer, I., Bean, C. J. and Akerlie, E. (2017): Helicopter location and tracking using seismometer recordings, *Geophysical Journal International*, 209, 2, 901–908, https://doi.org/10.1093/gji/ggx048

Palomeras, I., Carbonell, R., Flecha, I., Simancas, F., Ayarza, P., Matas, J., Martínez Poyatos, D., Azor, A., González Lodeiro, F. and Pérez-Estaún, A. (2009): Nature of the lithosphere across the Variscan orogen of SW Iberia: Dense wide-angle seismic reflection data. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, B02302.

Applicability of methods based on seismic ambient noise in zones with different levels of anthropogenic activity.

Aplicabilidad de métodos basados en ruido sísmico ambiente en zonas con distintos grados de actividad antropogénica.

J. Diaz, M. Schimmel, M. Ruiz, R. Carbonell

1 ICTJA-CSIC, c. Solé Sabarís sn, 08028 Barcelona. (jdiaz@ictja.csic.es)

Abstract: *The SANIMS project is focused into the development and application of methods based on seismic ambient noise to image and monitor natural and human-altered environments. Regarding natural environment, the Cerdanya basin in the eastern Pyrenees is being explored using a broad-band seismic station network, operative since September 2019. A two months long deployment of a high-density node network in Fall 2020 will complete the dataset. Regarding areas strongly altered by human activity, we have deployed a network of 15 short period stations within the city of Barcelona, in most of the cases installed in secondary schools. The objective of this deployment is twofold; acquire new valuable scientific data and introduce the students in a Earth Science research project.*

Keywords: *seismic ambient noise, subsoil imaging, high density networks, citizen seismology.*

Resumen: El proyecto SANIMS se centra en el desarrollo y la aplicación de métodos basados en el análisis del ruido sísmico ambiente para monitorizar entornos naturales y zonas fuertemente alteradas por actividad humana. Con respecto al entorno natural, se está investigando la cuenca de la Cerdanya, situada en la zona oriental de los Pirineo, mediante el uso de una red de estaciones sísmicas de banda ancha, operativa desde septiembre de 2019. En el otoño de 2020, el despliegue de una red de nodos de alta densidad durante dos meses completará el conjunto de datos. Por lo que se refiere al estudio de áreas fuertemente alteradas por la actividad humana, hemos desplegado una red de 15 estaciones sísmicas de período corto dentro de la ciudad de Barcelona, en la mayoría de los casos en institutos y escuelas de enseñanza secundaria. El objetivo de este despliegue es doble; adquirir nuevos datos de interés científico e introducir a los estudiantes en un proyecto de investigación de Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: ruido sísmico ambiente, monitorización del subsuelo, redes sísmicas densas, sismología ciudadana.

INTRODUCTION

The general objectives of the "Seismic Ambient Noise Imaging and Monitoring of Shallow Structures" (SANIMS) project, funded by the Spanish Ministry of Science, Research and Innovation (Ref.: RTI2018-095594-B-I00), are focused into the development and application of methods based on seismic ambient noise to image and monitor natural and human-altered environments. To achieve this objective, temporal seismic networks have been installed since late 2019 in two very different settings; the Cerdanya Basin, a sedimentary basin located in the eastern Pyrenees and the city of Barcelona. Data from the available permanent networks in the investigated zones (ICGC 2000, IGN 1999, RESIF 1995a and 1995b) are also gathered and integrated in the study database.

Regarding the Cerdanya Basin, a relatively unaltered setting, a network of up to 25 broad-band stations has been installed in September 2019 for a period of one year. Additionally, a high resolution grid of seismic nodes will be deployed during 2 months in the central part of the basin, with interstation distances of 1.5 km (Figure 1). In order to constraint the uppermost crustal structure using ambient noise, vertical component recordings will be processed using the phase cross-correlation and time-frequency domain phase-weighted stacking to extract fundamental mode Rayleigh waves. The surface waves will then be used to measure inter-station group and phase velocity dispersion curves that will be inverted using the Fast Marching Surface Tomography method. Depending on data quality, we will also process the horizontal components to extract Love waves for joint inversions with Rayleigh waves to constrain radial anisotropy and/or the application of new strategies to perform attenuation tomography.

Regarding areas strongly altered by human activity, we have deployed a network of 15 short period stations within the city of Barcelona, in most of the cases installed in the basement of secondary schools. The network was installed in November 2019 and is expected to remain active for a period of 9-12 months (Figure 2). The objective of this deployment is twofold; to acquire new valuable scientific data and to introduce the students in a Earth Science research project. The acquired data will be analyzed using MHVSR methods, hence expanding the available measurements in the city and allowing to investigate the eventual time variability of such measurements. The data will also

be used to analyze the applicability of the methods based on the inversion of Rayleigh wave extracted from ambient noise and earthquakes to provide S-velocity depth profiles.

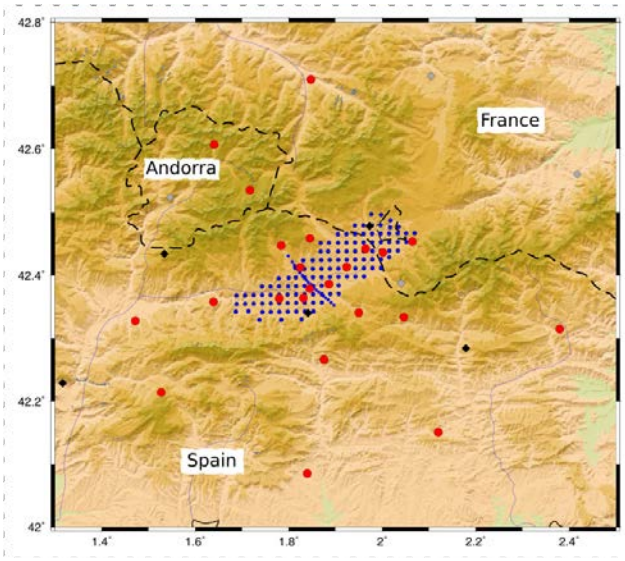


FIGURE 1. Seismic networks in the eastern Pyrenees region. Red dots are for the broad-band stations installed in September 2019. Black and grey dots are for stations of permanent networks. Blue dots show the location of the high resolution node deployment to be installed in Fall 2020.

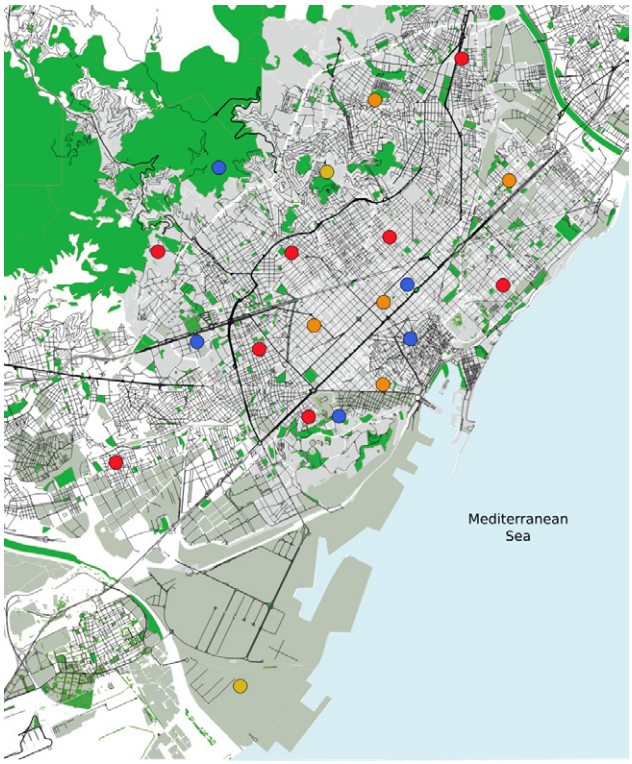


FIGURE 2. Station map of the SANIMS network within Barcelona. Red dots show the RaspberryShake instruments deployed in secondary schools. Orange dots are for short period stations and blue dots show the available permanent stations of the ICGC network.

Under the assumption of an isotropic horizontally layered medium, the ellipticity inversion is not affected by the directivity of the diffusive noise wave field and seems therefore to be a good option to determine local S-velocity depth profiles in areas with little lateral inhomogeneities and uneven distribution of noise sources.

We expect that the use of ambient noise methods will allow to map the basement and to obtain new higher resolution ambient noise tomographic images of the upper crust in the Cerdanya Basin and to better constrain the subsoil properties of Barcelona, hence improving the existing seismic hazard maps. Beside, inspecting the results in both areas will allow to compare the performance of the different methods based on ambient noise in quiet and noisy areas.

Regarding the dissemination aspects of the project (Diaz et al., 2020), our objective is to introduce secondary school students to seismology and Earth Sciences by exploring the data acquired in its own school, looking for earthquakes, but also for the ground vibrations generated by human activities. We will benefit from the low-cost and easy-to-use instruments developed by RaspberryShake, that provide online access to the data in real time, hence making easier the implication of the students in the project. First results show that clear seismic arrivals from regional and distant earthquakes can be recorded within the city (Figure 3) and that it is possible to identify ground vibrations generated by meteorological events as the Gloria storm (Figure 4), road traffic, transportation systems or other citizen activities.

ACKNOWLEDGMENTS

This is a contribution of the SANIMS project (RTI2018-095594-B-I00), funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities, with additional support from the Generalitat de Catalunya grant 2017SGR1022

REFERENCES

Diaz J, Schimmel M, Ruiz M and Carbonell R (2020) Seismometers Within Cities: A Tool to Connect Earth Sciences and Society. Front. Earth Sci. 8:9. doi: 10.3389/feart.2020.00009

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (2000): Catalan Seismic Network. International Federation of Digital Seismograph Networks. Other/Seismic Network. doi:10.7914/SN/CA

Instituto Geografico Nacional, Spain (1999): Spanish Digital Seismic Network. International Federation of Digital Seismograph Networks. Dataset/Seismic Network. 10.7914/SN/ES

RESIF. (1995a). RESIF-RLBP French Broad-band network, RESIF-RAP strong motion network and other seismic stations in metropolitan France. RESIF - Réseau Sismologique et géodésique Français. https://doi.org/10.15778/RESIF.FR

RESIF. (1995b). RESIF-RAP French Accelerometric Network. RESIF - Réseau Sismologique et géodésique Français. https://doi.org/10.15778/RESIF.RA

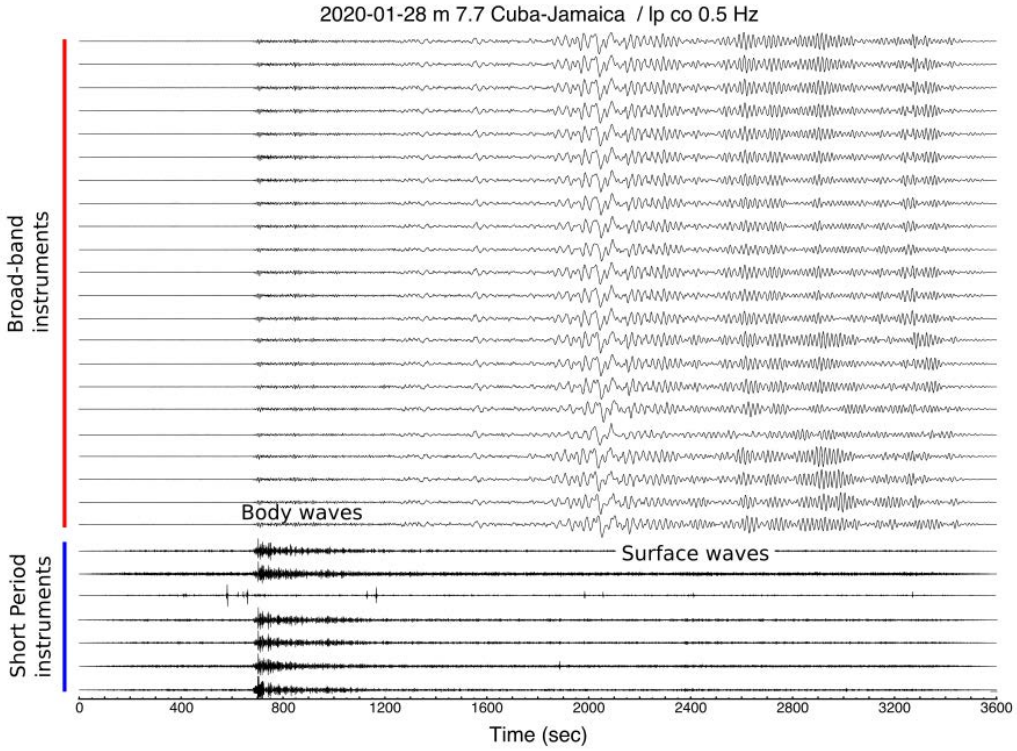


FIGURE 3. Seismic records of the m 7.7 earthquake with epicenter in the Caribbean Sea. The upper traces show the records at the broad-band stations installed in the eastern Pyrenees. The seven lower traces show the records on the short-period Raspberryshake stations installed in secondary schools in the city of Barcelona. Body waves are clearly imaged in both cases, while the more energetic surface waves can only been recorded by the broad-band instruments.

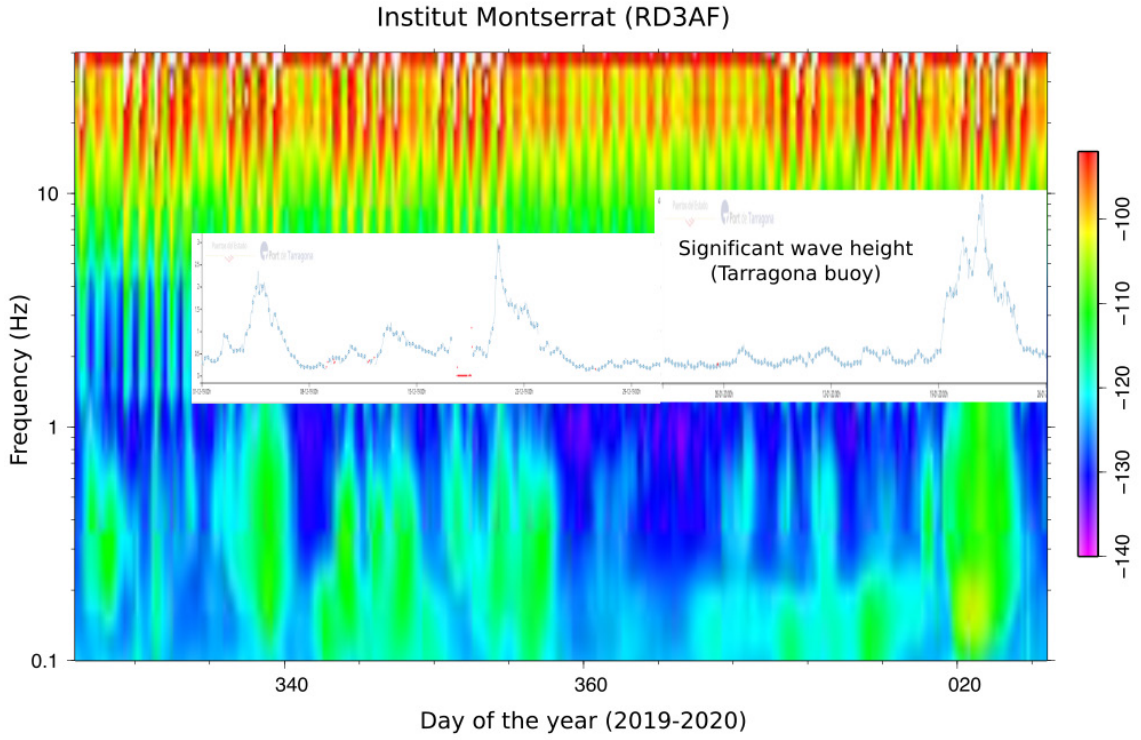


FIGURE 3. Seismic records of the m 7.7 earthquake with epicenter in the Caribbean Sea. The upper traces show the records at the broad-band stations installed in the eastern Pyrenees. The seven lower traces show the records on the short-period Raspberryshake stations installed in secondary schools in the city of Barcelona. Body waves are clearly imaged in both cases, while the more energetic surface waves can only been recorded by the broad-band instruments.

Estudio de la composición mineralógica en formas del relieve de baja pendiente mediante imágenes ASTER en la cuenca del Duero (León, España).

Study of the mineralogical composition in low relief landforms with ASTER images in the Duero Basin (León, Spain).

E. García-Meléndez[1], A. Báscones[1], M. Ferrer-Julià[1], M. Suárez[2] y E. Colmenero-Hidalgo[1]

1 Departamento de Geografía y Geología, Facultad de Biológicas y Ambientales, Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León. egarm@unileon.es; abasi@unileon.es; mferj@unileon.es; e.colmenero@unileon.es

2 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Plaza de la Merced s/n, 37008, Salamanca. msuarez@usal.es

Palabras clave: Teledetección, espectroscopía, cociente de bandas, tratamiento digital de imágenes, mineralogía.

Resumen

En este estudio se evalúa el potencial cartográfico de las imágenes ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer*) para proporcionar información sobre la composición mineral y su abundancia relativa en zonas de cultivo sin vegetación en un sector del noroeste de la cuenca del Duero. Se han aplicado distintos cocientes de bandas al conjunto de imágenes multiespectrales (Rowan *et al.* 2005) correspondientes a longitudes de onda del visible-infrarrojo cercano (VNIR, *visible–nearinfrared)* y del infrarrojo de onda corta (SWIR, *short wave infrared*), para realzar rasgos de absorción relacionados tanto con procesos electrónicos por la presencia de óxidos de hierro como con procesos vibracionales por la presencia de filosilicatos. Los resultados obtenidos permiten reconocer que en las zonas más occidental y norte, caracterizadas por rocas del sustrato paleozoico, sedimentos neógenos y pliocuaternarios, los minerales con contenido en hierro son más frecuentes. Por otra parte, en la zona más oriental caracterizada por un sistema de terrazas fluviales de los ríos Órbigo y Tuerto es más patente la posible presencia de minerales como la clorita y caolinita, con rasgos de absorción en 2,3 µm, y montmorillonita e illita, con rasgos en 2,2 µm. Esta información puede ser útil para la cartografía geológica y fundamentalmente litológica y de prospección mineral de extensas áreas con relieve llano en donde la escasez de afloramientos es problemática.

Abstract

This study evaluates the use of ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer) images for mapping purposes associated with mineral compositions and their relative abundances in flat and gently sloping free crop cultivated areas in the Northwestern Duero Basin. Several image band ratios have been applied to the ASTER multispectral set corresponding to the visible and near-infrared (VNIR) and to the short-wave infrared (SWIR) wavelengths. These band ratios enhance the absorption features related to both electronic and vibrational processes corresponding to iron oxides minerals and phyllosilicates minerals respectively. The obtained results show that the northern and westernmost areas with Paleozoic basement, Neogene and Plio-Quaternary sediments, iron oxides minerals are more frequent. On the other hand, in the Easternmost area, characterized by the Quaternary Tuerto and Órbigo river terraces, extensive areas show the possible existence of chlorite and Kaolinite because of the presence of the 2,3 µm absorption feature, and montmorillonite and illite with the 2,2 µm absorption feature. This information could be useful for geological, lithological and mineral prospection mapping in almost flat areas, where the lack of outcrops is a problem.

Referencias

Rowan, C.L., Mars, J.C. and Simpson, C.J. (2005). *Remote Sensing of the Environment* 99, 105-126.

Agradecimientos: Trabajo financiado por el proyecto ESP2017-89045-R del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Multichannel Surface-Wave-Analysis (MASW) across the Alhama de Murcia Fault Zone

Caracterización de la Falla de Alhama de Murcia mediante MASW.

Handoyo[1,2], J. Alcalde[1], D. Martí[3], J.J. Martínez-Díaz[4], T. Teixidó[5] and R. Carbonell[1]

1 Institute of Earth Sciences Jaume Almera (ICTJA – CSIC), Department of Earth's Structure and Dynamics, C/Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028, Barcelona, Spain, handoyo.geoph@tg.itera.ac.id; jalcalde@ictja.csic.es, ramon.carbonell@csic.es
2 Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 35365, Indonesia
3 Lithica SCCL, Santa Coloma de Farners 17430, Girona, Spain. dmarti@lithica.net
4 Universidad Complutense de Madrid, Avda. de Séneca, 2 Ciudad Universitaria 28040, Madrid Spain. jmdiaz@geo.ucm.es
5 Universidad de Granada, Calle La Paz 18, 52005, Granada, Spain. tteixido@ugr.es

Abstract: *The deep structure of the Alhama de Murcia Fault (AMF) is characterized by means of the analysis of surface waves identified in shallow high resolution seismic reflection data. Multichannel analysis of surface waves (MASW) is used to unravel the 2-D S-wave velocity model and image the depth geometry of the fault system. The study area includes segments of the fault located in La Salud area. Two approaches have been used to achieve a well constrained velocity model in the AMF fault zone. Conventional seismic reflection processing work flow has been used to clean the seismic data and increase its S/N ratio. Occam's approach has been used to invert the digitized surface wave dispersion curves. 1D shear wave velocity-depth profiles were estimated in shot and CDP domains. Relatively well resolved 2D velocity-depth models were obtained by composite of the 1D Velocity-depth functions. These composite 2D-velocity models are able to constrain the depth geometry of the fault zone up to 100 m depth. The fault zone is indicated by a relatively broad low velocity anomaly that correlates with the fault's surface expression.*

Keywords: *Surface wave dispersion, strike-slip fault, seismic inversion, Alhama de Murcia Fault, MASW.*

Resumen: La estructura profunda de la falla de Alhama de Murcia (AMF) ha sido caracterizada mediante el análisis de ondas superficiales identificados en datos de reflexión sísmica superficial de alta resolución. El análisis multicanal de ondas de superficie (MASW) es usado para desentrañar un modelo 2D de Vs y para obtener imágenes de la geometría del sistema de fallas en profundidad. El área de estudio incluye segmentos de la AMF ubicados en el área de La Salud. Se han utilizado dos enfoques para lograr modelos de velocidad bien restringidos de la zona de falla. Por un lado, se han limpiado los datos utilizado un flujo de procesado convencional diseñado para aumentar su ratio de señal/ruido. Por el otro, se ha usado el enfoque de Occam para invertir las curvas de dispersión de ondas de superficie digitalizadas. Los perfiles 1D de profundidad de las Vs fueron estimados en los dominios de disparo y de CDP. Se obtuvieron modelos de velocidad-profundidad 2D relativamente bien resueltos mediante la interpolación de las funciones de velocidad-profundidad 1D. Estos modelos de velocidad 2D ayudan a restringir en profundidad la geometría de la zona de falla hasta los 100 m que se caracteriza por una anomalía de baja velocidad relativamente amplia que se correlaciona en la superficie con la expresión de la falla.

Palabras Clave: Dispersión ondas superficiales, falla de salto en dirección, inversión de datos sísmicos, Falla de Alhama de Murcia, MASW.

INTRODUCTION

In 2011, a 5.2 Mw earthquake took place in the vicinity of the city of Lorca, Spain. The earthquake produced remarkable damage including nine casualties, over four hundred injured and significant material damage in the area. The earthquake's hypocenter location and focal mechanism were correlated with the activation of the Alhama de Murcia Fault (AFM). This is one of the main faults of a well-known strike-slip fracture system which is one of the most active within the main Iberian Peninsula (Martínez-Díaz et al., 2012). The AFM is a strike-slip shear zone with reverse component that crosses the eastern Betic cordillera with a NE-SW direction and is one of the largest faults of the Eastern Betics Shear Zone (Silva et al., 1993).

Several studies have focused on the characterization and determination of the AMF attributes, such as its seismic potential (Ortuño et al., 2012; Martinez-Diaz et al., 2012), mainly from surface and trench studies. However, the understanding of fault properties (orientation, geometry, and configuration) requires further research as the deep geometry is not well resolved. Addressing these targets can provide understanding of the detailed structure, the distribution of its deformation and help in the assessment of seismic hazard.

Multichannel analysis of surface waves (MASW) is able to constrain a relatively wide range of subsurface features, for example delineate the shallow structure of fault zones (Ivanov et al., 2006). This approach is able to infer the

1D Vs structure of subsurface materials (Bergamo and Socco, 2016) and delineate underground structures such as voids or tunnels (Peterie and Miller, 2015). The study presented here employ MASW in one section of the AMF. The main objective is to obtain a 2D shear wave-velocity depth models and to better constrain the deep geometry of the AMF fault structure in the La Salud area.

GEOLOGICAL SETTING

The geological architecture and the geometry of sedimentary formations in the study area are controlled by a set of faults with ENE-WSW directions (Fig. 1). These set of faults are considered to be the backbone of a strike-slip shear (fracture)- system. The Alhama de Murcia Fault System (AMF) can be considered, perhaps the main structural feature. The shear zone is a nearly 1 km wide zone of deformation that includes a set of faults with NW-SE and SW-NE directions. Along this deformation structure a number of instrumental and historical earthquakes have been identified (Fig. 1). Detailed geology and paleozeismologic studies can be found in Martínez-Díaz et al. 2012; and references therein). These studies describe the surface geology and, geomorphology of the main fault (AMF).

SEISMIC REFLECTION DATA

A seismic reflection controlled source data acquisition experiment was carried out within the framework of the INTERGEO project. The seismic profiles (Fig. 1) were located in the vicinity of the city of Lorca. The main idea was to address the subsurface structure, the shape, and the architecture depth expression of the AMF, focusing on the architectural relationship at depth between the different fault planes and the relationship with the sedimentary filling of the Guadalentín depression. Therefore, the data acquisition experiment included a series of transects across different surface expressions of the fault system. It was acquired using 240 channel system which consisted in 10 GEODE recording units with 24 channels each. The recording system was provided by the GIPP-GFZ instrumentation center. (Potsdam, Germany) The source was a 200 kg accelerated weight drop provided by the Instituto Superior Tecnico in Lisbon University, (Lisbon, Portugal). The distance from the seismic source to first receiver and the shot spacing were both set to 6 m. The sample rate was set to 1 ms and the total recording time was 4 s.

The shot records reveal prominent dispersive surface waves (Fig. 2). In order to increase the S/N ratio simple and conventional seismic processing was carried out. It mostly consisted in attenuating the high frequency and amplitude balancing. This simple and basic processing increased the lateral continuity and extent of the different phases and increased the energy of the S-wave arrivals.

Then the frequency-phase velocity diagrams also known as the wave-dispersion diagrams were obtained. These were determined by calculating the FFT of the Tau-P transformed shot gathers. The dispersion curves were then digitized. Theses frequency-velocity curved where then used in an Occam inversion scheme approach that resulted in 1D velocity-depth profiles (Park et al., 1999).

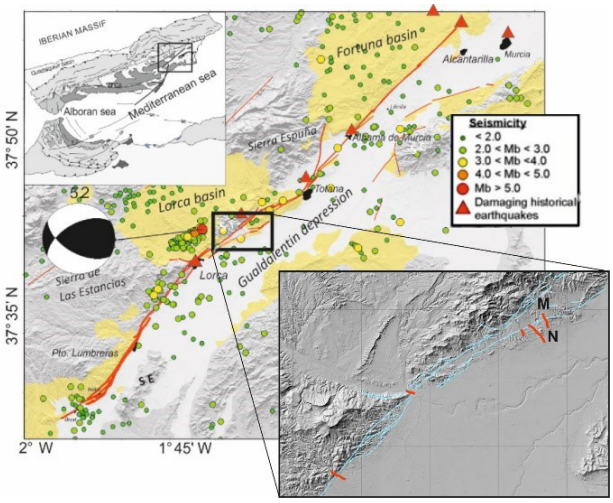


FIGURE 1. Location of the study area. The top inset indicates the overall location of the deformation zone in southeastern Iberian Peninsula. It also illustrates a simplified geology of the area. The main image reveals the trace and distribution of the identified fault traces. The coloured dots correspond to the recorded seismicity, instrumental and historical earthquakes with Mw larger than 1. The focal mechanism of the Mw 5.2 Lorca earthquake is indicated by the beach-ball. The bottom inset indicates the location and trace of the high resolution, normal incidence seismic reflection profiles acquired across the AMF. The M-N transect is used in this study.

This process was applied to data from La Salud transect where the fault zone has been mapped at surface (Fig. 1). The Vs-depth profiles were then joined together to build a composite 2D velocity model of the area. The process was repeated but in this case the wave-dispersion diagrams were calculated for the CDP sorted data. Further comparisons were carried out by using the dispersion diagrams estimated by the specific surface -wave dispersion module from the Seismic Unix software: the suphasevel (Cohen and Stockwell, 2010).

The inversion scheme to compute the V_S velocity-depth profiles is an iterative inversion algorithm that requires as inputs the digitized dispersion curve and reasonable values for densities and Poisson´s ratio (Xia et al., 1999). A comparison between available commercial and academic software packages to estimate V_S profiles has also been considered in this study.

RESULTS AND DISCUSSION

The shot gather (Fig. 2) is an example to illustrate the quality and lateral continuity of the ground roll imaged within the shot records. In these records, the surface wave energy dominates the seismic data and appear moderately dispersive. This effect is recognizable as multiples from the surface waves and it is relatively coherent.

The maximum of the dispersion diagram was then digitized and a dispersion curve was extracted. The dispersion

curve shows the value of phase velocity against frequency of the surface waves (Fig. 2).

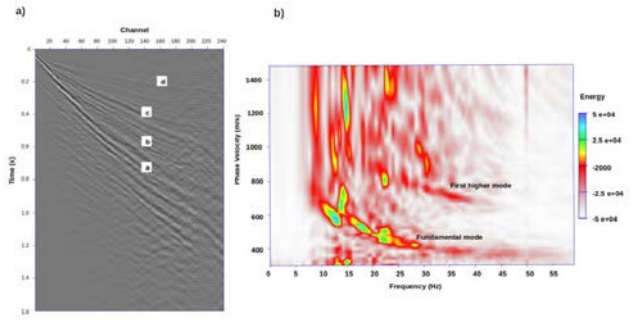


FIGURE. 2. Example of seismic shot record corresponding the Salud profile and its dispersion diagram. The labelled phases correspond to: (a) the fundamental mode of surface wave, (b) the higher modes of surface wave, (c) the reflection wave, and (d) the refraction wave. The right image corresponds to the dispersion diagram of the surface waves. The high amplitudes are indicative of the different phases (frequency and phase-velocity).

The dispersion curve generated from each shot record was assigned a location corresponding to the receiver midpoint of its receiver spread. The fundamental mode and first higher mode appear moderately clear in the resulting dispersion curve images (Fig. 2).

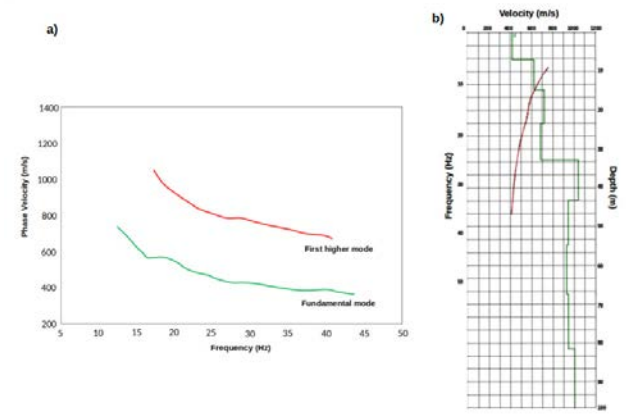


FIGURE 3. The extracted dispersion curves of the different modes calculated for every station (left). The fundamental mode is shown as a green line and, the first higher mode is represented by red line. The velocity-depth functions determined by the inversion scheme are shown in the right diagram.

The results of the dispersion curves are usually presented as two-dimensional images obtained by cross plotting the normalized frequencies and phase velocities. The high-energy bands observed display the dispersion characteristics of the recorded surface waves (Fig. 2).

After the dispersion curves were generated, the maximum spectrum trend of the dispersion curve is digitized in order to extract the best value of frequency and phase velocity. Base on the energy content of the recorded surface waves, one or multiple dispersion curves can be extracted from the phase velocity spectra. In Fig. 2, the fundamental mode is clearly identified and easy to pick. The first higher mode does not appear as clear but still it can be identified based on its similar trend compared to the fundamental mode dispersion curve. The fundamental mode dispersion characteristics are, usually, the critical and most commonly used in the inversion scheme (Xia et al., 1999). In this study, the fundamental mode and first higher mode were used in the inversion step.

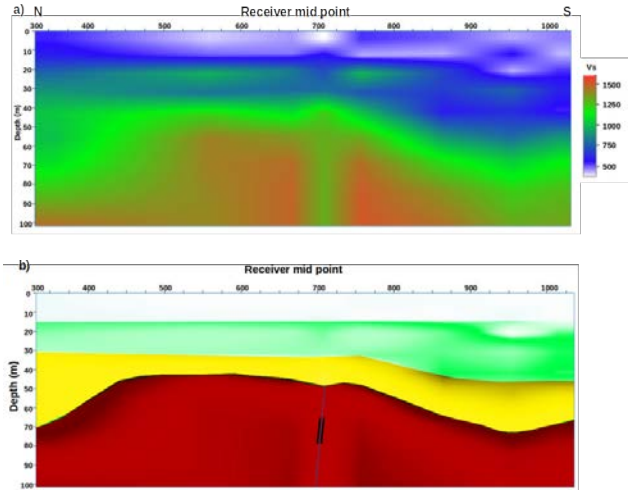


FIGURE 4.Top Shear-wave velocity field. Composite velocity cross-section obtained by pasting together the 1D velocity-depth profiles obtained by the inversion of the digitized dispersion curves. Bottom, interpreted geological model. The sedimentary cover in green and yellow, and the location of a steeply dipping feature indicated by the relatively low velocity anomaly and interpreted as the possible location of the ALMF.

The preliminary 2D S-wave velocity model is a composite of the 1D velocity-depth profiles obtained by inversion of the dispersion curve (Fig. 4). The 2D inversion covered the depth of 100 m and receiver midpoint number from 300 to 1100. The 2D composite Vs section reveals a laterally varying structural model. The shear wave velocity model presents areas of relatively low velocity values (400-900 m/s) and areas of higher velocity values (1000-1500 m/s) at a depths bellow 50 m.

Perhaps one of the most important findings of the study is the steeply dipping low velocity anomaly at receiver location 700. This relatively thin anomaly has been interpreted as the trace of the AMF fault zone (Fig 4). The geological interpretation from the MASW result is shown in Fig. 4b. Based on the 2D V_s section, the main achieved goal is the identication of the AMF. The fault zone interpreted as a parallel block of bedrock (red color) that has been identified as a strike-slip fault below receiver midpoint 700 at 50 m depth . The strike direction of the fault zone is approximately southwest to northeast (SW-NE). The other velocity values were interpreted as the sedimentary cover and bedrock (yellow, green and white color).

Similar results were obtained when using the CMP gathers to obtain the dispersion curves, but the analysis of these dataset is out of the scope of this work. In any case, and perhaps, the most important finding of the study is the interpreted fault zone of AMF at depth. According to our results (Fig. 4a) the steeply dipping lower velocity anomaly (green color) below receiver midpoint 700, extends down to depths larger than 50 m. It appears to be almost a vertical structure going across and/or splitting the relatively high velocity (red) rock into two sections. This low velocity anomaly is interpreted to represent the location of the fault zone. The low velocities would then be related to fracturing and associated local weathering that would reduce the shear modulus value.

CONCLUSION

The MASW method was used to map the geometry of the AMF strike slip fault in La Salud area. The preliminary results of the MASW analysis reveal a steeply dipping relatively low velocity anomaly that can be correlated at surface with the trace of the AMF. The procedure consists on obtaining the dispersion curves by digitizing the maximum values image by the dispersion analysis and using an inversion scheme to obtain 1D velocity depth profiles at different surface locations. These 1D functions, are then pasted together by interpolation to obtain a composite 2D velocity model. In this study, the preliminary velocity models reveal the fault zone of the AMF as a remarkable low velocity anomaly that can be traced down to 50 m depth.

ACKNOWLEDGMENTS

We would thank for the data permission to project of InterGEO (CGL2013-47412- C2-1-P) ICTJA-CSIC. The Ministry of Education and Culture of the Republic of Indonesia is thanked for main author's PhD scholarship. JA is funded by MICINN (IJC2018-026335-I). We thank the GIPP-GFZ, (Germany) and Lisbon University (Portugal) for the instrumentation provided.

REFERENCES

Bergamo, P., and L. Socco, (2016): P- and S-wave velocity models of shallow dry sand formations from surface wave multimodal inversion. *Geophysics*, 81, no. 4, R197–R209, doi: 10.1190/geo2015-0542.1.

Cohen, J. K., and J. W. Stockwell Jr., (2010): CWP/SU: Seismic Un*x Release No. 42: An open source software package for seismic research and processing. Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.

Ivanov, J., Miller, R. D., Lacombe, P, Johnson, C. D., Lane, J. W. Jr. (2006): Delineating a shallow fault zone and dipping bedrock strata using multichannel analysis of surface waves with a land streamer. *Geophysics*. Vol. 71, No. 5 pp. 39-42.

Martínez-Díaz, J.J., Bejar-Pizarro, M., Álvarez-Gómez, J.A., Mancilla, F., Stich, D., Herrera, G., Morales, J. (2012): Tectonic and seismic implications of an intersegment rupture. The damaging May 11th 2011 Mw 5.2 Lorca, Spain, earthquake, *Tectonophysics*. doi:10.1016/j.tecto.2012.04.010.

Ortuño, M., Masana, E., García-Meléndez, E., Martínez-Díaz, J.J., Štěpančíková,P., Cunha, P., Sohbati, R., Canora, C., Buylaert, J.P., Murray, A-S. (2012): An exceptionally long paleoseismic record of a slow-moving fault: the Alhama de Murcia fault (Eastern Betic Shear Zone, Spain). *Geological Society of America Bulletin*, 124 (9-10): 1474-1494. doi: 10.1130/B30558.1.

Park C.B., Miller R.D. and Xia J. (1999). Multi-channel analysis of surface waves. *Geophysics* 64, 800–808.

Peterie, S. L., and R. D. Miller, (2015): Near surface scattering phenomena and implications for tunnel detection. *Interpretation*, 3, no. 1, SF43–SF54, doi: 10.1190/INT-2014-0088.1.

Silva, P. G., Goy, J. L. Somoza, L., Zazo, C., Bardaji, T. (1993): Landscape response to strike-slip faulting linked to collisional settings: Quaternary tectonics and basin formation in the Eastern Betics, southeastern Spain. *Tectonophysics* 224, 289-303. doi:10.1016/0040-1951(93)90034-H.

Xia, J., R. D. Miller, and C. B. Park, (1999): Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64, 691–700. http://dx.doi.org/10.1190/1.1444578.

Anisotropía sísmica en pizarras de techar del noroeste peninsular: medida directa y cálculo de velocidades a partir de orientación cristalográfica preferente

Seismic anisotropy in roofing slates from northwestern Iberian peninsula: direct velocity measurements and calculated velocities from CPO

S. Llana Fúnez[1], V. Cárdenes[1], M.A. López Sánchez[2], J. Olona[2] y F. Barou[2]

1 Dpto. Geología, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo, 33005 Oviedo. llanasergio@uniovi.es; cardenesvictor@uniovi.es
2 Géosciences Montpellier, Université de Montpellier & CNRS, Campus Triolet CC 060, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France. marco-antonio.lopez-sanchez@umontpellier.fr; barou@gm.univ-montp2.fr
3 TerraDat Geophysics, Avenida Cristo de las Cadenas, 113, 33006, Oviedo, España. javier@terradat.es

Palabras clave: anisotropía sísmica, ondas P y S, pizarra, orientación cristalográfica preferente, micas

Resumen

Los filosilicatos son minerales con una fuerte anisotropía a la propagación de ondas sísmicas. Cuando se disponen orientados cristalográficamente en las rocas, y dado su hábito planar también con orientación de forma, entonces la roca en su conjunto mantendrá una anisotropía fuerte, a pesar de que no constituyan una fracción modal dominante. Además de zonas de cizalla, existen amplias partes del interior de orógenos en los que las rocas desarrollan una foliación tectónica definida entre otros minerales por filosilicatos y por lo tanto las propiedades intrínsecas de estos materiales pueden afectar a las propiedades físicas de amplias partes de la corteza. En este trabajo analizamos la anisotropía en 9 muestras de pizarras procedentes de canteras de pizarra de techar en el basamento varisco del noroeste de la Península Ibérica. Se han medido ondas P y S directamente en cubos de pizarra y se han calculado las velocidades de las muestras a partir de orientación cristalográfica preferente en todas las fases principales en los mismos bloques. Las velocidades son muy elevadas y similares en una dirección paralelas a la foliación (6,4-6,9 km/s para ondas P), pero las medidas directas son muy inferiores en la dirección perpendicular a los planos de la foliación (3,8-4 km/s para ondas P), lo que incrementa la anisotropía de las rocas cuando se encuentran cerca de la superficie a presiones que no permiten el cierre de la microfisuración intrínseca de la roca (asociada a los bordes de grano).

Abstract

Phyllosilicates are minerals that show a strong anisotropy to the propagation of seismic waves. When they are aligned crystallographically in a rock, and given their habit this orientation also applies to grain shapes, then the bulk rock will preserve a great part of the mineral anisotropy, even if they do not constitute a dominant mineral fraction. In addition to shear zones, there are large parts in the interior of orogens where rocks develop a tectonic foliation defined by among other minerals, phyllosilicates. Thus, the intrinsic properties of these rocks may affect the bulk properties of large parts of the continental crust. In this contribution, we study the anisotropy of 9 slate samples from roofing slate quarries in the variscan basement of the northwest of the Iberian peninsula. P and S waves were directly measured on slate cubic samples and velocities were also calculated from crystallographic orientation patterns obtained from all minerals in the same sample blocks. The velocities are high and very similar when measured along the foliation (6,4-6,9 km/s for P waves), but direct measurements with respect to calculated are much lower perpendicular to the foliation (3,8-4 km/s for P waves), thereby increasing the anisotropy in the rocks when they get closer to the surface at pressures not allowing the closure of intrinsic microfissures in the rock (associated to grain boundaries).

Estudio de la anisotropía sísmica del hielo parcialmente fundido en zonas de basales de los casquetes polares

Insights into seismic anisotropy of temperate ice in basal ice-sheet conditions

Maria-Gema Llorens[1], Albert Griera[2], Enrique Gomez-Rivas[3], Paul D. Bons[4], Ilka Weikusat[4,5] y Ricardo Lebenhson[6]

1 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (CSIC), Lluís Solé i Sabarís, s/n, 08028 Barcelona. mgllorens@ictja.csic.es
2 Dept de Geologia, UAB, 08193 Cerdanyola del Vallès. Barcelona. albert.griera@uab.cat
3 Dept de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, UB. C/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona. e.gomez-rivas@ub.edu
4 Dept of Geosciences, Eberhard Karls Uni Tübingen, Wilhemstrasse. 56, 72074 Tübingen, paul.bons@uni-tuebingen.de
5 AWI Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Am Handelshafen 12, 2757 Bremerhaven. Ilka.Weikusat@awi.de
6 Theoretical Division. Los Alamos National Laboratory. Los Alamos, NM, 87545, USA. lebenso@lanl.gov

Palabras clave: hielo parcialmente fundido, Groenlandia, Antártida, anisotropía sísmica

Resumen

Los datos sísmicos registrados en las zonas basales de la Antártida y Groenlandia muestran un fuerte descenso de las velocidades de ondas S (Vs) mientras que las ondas P (Vp) mantienen una velocidad similar en todo el perfil del casquete polar. Una explicación propuesta a este descenso es la presencia de agua. En esta contribución investigamos la evolución de las velocidades sísmicas en el hielo polar parcialmente fundido. Éste se simula como un agregado de policristales de hielo con agua. La deformación se realiza con un método full-field de deformación viscoplástica con recristalización. Las velocidades sísmicas son calculadas a partir de las orientaciones cristalinas. Independientemente del porcentaje de fundido, todas las simulaciones evolucionan a una orientación preferente de cristales (CPO), aproximadamente perpendicular al plano de cizalla. Cuando no hay agua, la Vp máxima se alinea rápidamente con la CPO, y aumenta a la vez que aumenta la intensidad de ésta CPO. Cuando una fase fundida está presente, la CPO desarrollada es menos intensa, siendo la Vp y la Vs menor. A alta proporción de agua la Vp no se alinea con la CPO. Sin embargo, si se considera el módulo de compresibilidad del hielo para el agua, encontramos un descenso fuerte de las Vs. Este resultado sugiere que el descenso de la Vs observado en la base podría ser explicado por la presencia de agua sobrepresionada, y por tanto aislada en conjunciones triples de granos, sin formar bandas de agua que favorecerían el deslizamiento.

Abstract

Observations of P-wave (Vp) and S-wa (Vs) velocities in ice-sheets show a strong decrease of Vs in basal parts, while Vp remains constant. The presence of water has been proposed as the cause of this decrease. We investigate the evolution of seismic velocities during deformation of temperate ice by means of numerical modelling. Temperate ice is simulated as a non-linear viscous aggregate constituted by ice polycrystals and a water phase. The viscoplastic full-field numerical approach is coupled with dynamic recrystallisation processes. The seismic velocities are calculated from measurements of crystal preferred orientations (CPO). Regardless the melt percentage, all simulations evolve to a CPO approximately perpendicular to the shear plane. For a purely solid aggregate, the highest Vp quickly aligns with the CPO, which evolves into a strong single maximum, while Vp increases. When water is present the developed CPO is less intense, being both the Vp and Vs lower than in the purely solid case. At high percentage of water, Vp is not aligned with the CPO. However, if the bulk modulus of ice, instead of water, is assumed for the water phase, we found a remarkable decrease in the Vs. These results suggest that the decrease in the Vs observed in the base of the ice-sheets could be explained by the presence of overpressured melt, that would be unconnected at triple grain junctions and would not favour sliding between ice grains.

Estructura del sur de Taiwán a partir del estudio de campos potenciales

Structure of southern Taiwan based on potential field data

O. Lozano[1,2], P. Ayarza[2], J. Álvarez-Marrón[1], D. Brown[1]

1 Geosciences Barcelona (GEO3BCN – CSIC), Carrer de Lluís Solé i Sabarís, s/n, 08028 Barcelona. olozano@geo3bcn.csic.es, dbrown@ictja.csic.es, jalvarez@ictja.csic.es
2 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca 37008 Salamanca. puy@usal.es

Palabras clave: Geofísica, Campos potenciales, Taiwan, Estructuras Heredadas.

Resumen

El orógeno de Taiwán es una cordillera activa que ha estado formándose desde el Mioceno Superior como resultado de la colisión entre la placa Filipina y la placa Euroasiática. En este contexto, la placa Euroasiática subduce a la Filipina, causando una colisión oblicua entre el arco volcánico de Luzón, con dirección N-S, y el margen continental Euroasiático. Dada la oblicuidad de esta colisión, algunas estructuras heredadas del margen continental se disponen con una orientación casi perpendicular al trazado estructural del cinturón de pliegues y cabalgamientos en Taiwán (CPC). Entre ellas, predominan las fallas sub-verticales cuya reactivación actual está activamente involucrada con la evolución de la estructura, sismicidad y topografía de Taiwán, causando estructuras transversales en el CPC.

En este trabajo, se propone definir la estructura en profundidad del SW de Taiwán, así como la localización y geometría de estas fallas heredadas mediante técnicas analíticas y modelización de datos de gravedad y magnetismo. La aplicación de técnicas analíticas, como las derivadas horizontales o el cálculo del espectro radial de amplitudes, ofrecen datos de interés que ayudan a identificar la geometría y situación de las estructuras en el margen y en Taiwán. La modelización directa de datos de gravedad y magnetismo proporciona un enfoque cuantitativo con mayor precisión en profundidad, ya que aportan información de valor acerca de la geometría del techo del basamento. La integración de los resultados con datos estructurales y sísmicos ayuda a definir la estructura cortical y mejorar nuestra comprensión del margen continental del sur de Taiwán y Eurasia.

Abstract

The Taiwan orogen forms an active mountain range that has been evolving since the Late Miocene as a result of the oblique collision between the Philippine Sea Plate and Eurasian Plate. In this context, the Eurasian Plate subdues the Philippine Sea Plate, causing an oblique collision between the N-S Luzon Arc, and the continental margin of the Eurasian Plate. Due to this configuration, some inherited structures from de continental margin are highly oblique to the structural trend of the Taiwan thrust-and-fold belt. These inherited structures comprise sub-vertical faults that are presently being reactivated and are actively involved in the evolution of the structure, seismicity and topography of Taiwan, causing transverse zones in its thrust-and-fold belt and foreland.

In this research, we propose to help define the deep structure in southern Taiwan, as well as the location and geometry of these inherited faults by using analytical techniques and modelling of gravity and magnetic data. The application of analytical techniques, such as horizontal derivatives or the calculation of the radial averaged power spectrum, offers data of interest that helps to identify the geometry and location of basement structures in the margin and Taiwan. Forward modelling of gravity and magnetic data further contributes to provide a better-constrained quantitative approach to their depth as they provide valuable information about the top of the basement. Integration of these results with structural and seismicity data helps to define the structure of the crust, allowing us a better interpretation on the kinematics of the faults and improving our understanding of southern Taiwan and Eurasian continental margin.

Modelo geológico 3D del acuífero de Medina del Campo (SE Cuenca del Duero).

3D Geological Model of the Medina del Campo groundwater body (SE Duero Basin)

C. Marín Lechado[1], A. Ruiz Constán[1], J.C. López Gutiérrez[2], F.M. Rubio Sánchez Aguililla[3] y A. De la Hera[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Urbanización Alcázar del Genil, 4. Edificio Zulema bajo, 18006 Granada. c.marin@igme.es; a.ruiz@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España. Calle de Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. j.lopezgu@igme.es; a.delahera@igme.es
3 Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera, 1, 28760 Tres Cantos – Madrid. fm.rubio@igme.es

Palabras clave: prospección geofísica, inversión gravimétrica 3D, Geomodeller

Resumen

En esta contribución se presenta un modelo geológico 3D del acuífero detrítico cenozoico de la masa de agua subterránea (MASb) de Medina del Campo, una región del SE de la Cuenca del Duero de unos 3700 km^2 de extensión. El modelo geológico se elaboró con el programa Geomodeller a partir de datos previos y de nueva adquisición: cartografía, sondeos, sondeos eléctricos verticales, sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo y datos gravimétricos. La inversión gravimétrica 3D permitió constreñir el modelo geológico 3D inicial en las zonas con menor densidad de datos. Las unidades geológicas modelizadas incluyen el basamento varisco, el Cretácico, el Paleógeno y el Mioceno. El modelo 3D muestra una cuenca estructurada en altos y depresiones orientadas en dirección E-O y ENE-OSO, asociadas a la interacción entre fallas inversas y subverticales que desarrollan depocentros de profundidad variable. Mientras que en el sector de Medina del Campo el basamento se estima que está a unos 1000 metros de profundidad, al sur, en el sector de Arévalo, la cuenca alcanza profundidades de 2000 m de espesor. Los espesores medios de las unidades cretácica, paleógena y miocena son de unos 150 m, 500m y 1000m, respectivamente. Este modelo supone un avance importante en el conocimiento de la geometría del acuífero y de este sector de la cuenca del Duero.

Abstract

A 3D geological model of the Cenozoic detrital aquifer of the Medina del Campo groundwater body is presented, a region at the SE part of the Duero Basin with an extension of around 3,700 km^2. The geological model was performed using the Geomodeller software based on previous and new acquired data: mapping, boreholes, vertical electric soundings, time–domain electromagnetic soundings and gravimetric data. The 3D gravimetric inversion allowed constricting the initial 3D geological model in areas with low data density. Modelled geological units include the variscan basement, the Cretaceous, the Paleogene and the Miocene. The 3D model shows a basin structured in highs and depressions with E-W and ENE-WSW trends associated with the interaction between reverse and subvertical faults that develop depocenters of variable depth. In the Medina del Campo sector, the basement reaches 1000 m depth; meanwhile, in the southern sector of Arévalo, the basin reaches 2000 m thickness. The average thickness of the Cretaceous, Paleogene and Miocene units is around 150 m, 500 m and 1000 m, respectively. This model represents an important advance in the knowledge of the aquifer geometry and of this sector of the Duero basin.

SIT4ME: Técnicas sísmicas multidisciplinarias para la exploración minera en Sotiel (SO-España).

SIT4ME: Multidisciplinary techniques for mining exploration in Sotiel (SW-Spain).

Y. Martínez[1,2], J. Alcalde[1], D. Martí[1,7], P. Ayarza[2], M. Ruiz[1], I. Marzán[1], F. Tornos[3], A. Malehmir[4], A. Gil[4], S. Buske[5], D. Orlowsky[6], and R. Carbonell[1]

1 Dpto. de estructuras y dinámicas de la tierra, Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Solé i Sabarís, s/n, 08028, Barcelona. ysmartinez@ictja.csic.es, jalcalde@ictja.csic.es, mruiz@ictja.csic.es, ramon.carbonell@csic.es
2 Dpto de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de los Caídos, s/n, 37008 Salamanca. puy@usal.es
3 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, Dr. Severo Ochoa, 7, 28040 Madrid. f.tornos@csic.es
4 Dpto de Ciencias de la Tierra, Universidad de Uppsala, Villavägen, 16, 752 36 Uppsala. Alba.gil@geo.uu.se, alireza.malehmir@geo.uu.se
5 Universidad Técnica Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Str., 12,09599 Freiberg. buske@geophysik.tu-freiberg.de
6 DMT GmbH & Co KG, Am TÜV ,1, D-45307 Essen. Dirk.Orlowsky@dmt-group.com
7 Lithica SCCL, Santa Coloma de Farners, 17530 Girona. dmartilin@gmail.com, igmarzan@gmail.com

Palabras clave: Sísmica de reflexión, exploración minera, Faja Pirítica Ibérica.

Resumen

La necesidad de satisfacer la creciente demanda de materia prima de forma segura, sostenible y a bajo coste, es la principal motivación del proyecto SIT4ME, financiado por el programa EIT-Raw Materials. El objetivo principal de SIT4ME es desarrollar una metodología efectiva y eficiente para la exploración de recursos minerales mediante métodos sísmicos. Este proyecto se centra en la adquisición, procesado e interpretación de datos sísmicos (fuente activa y pasiva) en un entorno real: Sotiel-Coronada, ubicada al SO de la Faja Pirítica Ibérica. Estos datos permitirán obtener imágenes de las principales estructuras y de los niveles mineralizados a profundidades de entre 300-500 m. El procesado de los datos sísmicos 2D incluye correcciones estáticas, deconvolución, ecualización de la amplitud, filtro de frecuencia y análisis de velocidad. La correlación entre las imágenes sísmicas, la geología de superficie y los sondeos existentes ha permitido identificar las principales estructuras. Los resultados muestran buena reflectividad hasta los 2000 ms two-way traveltime (TWT), con estructuras buzando al norte. En la zona central del perfil se identifica una zona de alta reflectividad de 385 m de longitud a 130 ms TWT, correspondiente a un nivel mineralizado. En el futuro se incluirán procesos de migración pre-stack, procesado sísmico de los datos en 3D y tomografía de primeras llegadas para obtener un modelo robusto incrementando la probabilidad de éxito en la exploración.

Abstract

The need to satisfy the increasing demand for raw materials in a safe, sustainable and cost-effective manner, is the main motivation of the SIT4ME project, financed by the EIT-Raw Materials program. The main objective of SIT4ME is to develop an effective and efficient methodology to apply seismic techniques in the search of mineral resources. This project focuses on the acquisition, processing and interpretation of seismic data (controlled and natural sources) in a real environment: Sotiel-Coronada, located at the SW of the Iberian Pyrite Belt. These data will allow us to obtain images of the principal structures and mineralized levels at depths of 300-500 m. The 2D seismic data process flow includes static corrections, deconvolution, amplitude equalization, frequency filters and velocity analysis. The correlation between seismic images, surface geology and existing drill cores allowed identifying the main deep structures. The results show good, north-dipping reflectivity up to 2000 ms TWT. A high reflectivity zone, c. 380m long, exists in the center of the profile at 130 ms TWT, related to one of the mineralized areas. Future work will include the pre-stack depth migration, processing of 3D seismic data and first arrivals tomography to obtain a robust model that increases the probability of success in the exploration.

Geometría y petrofísica como input para la modelización geofísica

Geometry and petrophysics as geared input for geophysical modeling

Tania Mochales[1], Ahmed Manar[2], Teresa Román-Berdiel[3], Sara Torres[4], Irene Falcón[4], Antonio Casas-Sainz[3], Pablo Calvín[4], Vicente Carlos Ruiz[5], Andrés Gil-Imaz[3], Felicidad Bógalo[4], Bennacer Moussaid[6], Juan José Villalaín[4], Belén Oliva-Urcia[7], Pablo Santolaria[8], Elisa Sánchez-Moreno[4], Andrés Pocoví[3], Hmidou El Ouardi[8], Esther Izquierdo[9], Marcos Marcén[3], María Ángela Herrejón[4], Ángela Jiménez[4]

1 Planageo-IGME, Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, 50006 Zaragoza, Spain taniamochales@gmail.com
2 Direction de la Géologie. Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement. Rue Abou Marouane Essaadi BP : Rabat Instituts 6208 - Haut Agdal - Rabat - Morocco
3 Departamento de Ciencias de la Tierra, Geotransfer-IUCA, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
4 Laboratorio de Paleomagnetismo, Departamento de Física, Universidad de Burgos, 09006 Burgos, Spain
5 Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
6 École Normale Supérieure Casablanca (ENS), Université Hassan II de Casablanca, Morocco
7 Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Spain
8 Institut de Recerca Geomodels, Departament de Ciències de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain
9 Dép. de Géologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Morocco
10 Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs, Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, TOTAL, Pau, France

Palabras clave: susceptibility, remanence, density, geophysics, modelling

Resumen

Para abordar la modelización magnética debe considerarse la magnetización remanente, así como susceptibilidad de las rocas que, con la interacción con el Campo Magnético Terrestre, generan una magnetización inducida. En presencia de campos primarios y/o secundarios, es esencial considerar la magnetización total como la suma de las componentes inducidas y remanentes, de modo que la modelización consista en la integración del efecto de la intensidad, inclinación y, en menor medida, la declinación de la magnetización total de los cuerpos presentes. En este contexto, se han medido las propiedades magnéticas y la densidad en muestras perforadas, con el objetivo de modelizar y ajustar anomalías magnéticas y gravimétricas del Altas Alto Central (Marruecos), en las siguientes unidades: sedimentos paleozoicos, basaltos CAMP, calizas y gabros jurásicos, capas rojas triásicas, calizas cretácicas y rocas cenozoicas. Las contrastadas propiedades petrofísicas entre unidades, cuya geometría se constriñe por medio de datos geológicos (cartografía y buzamientos), permiten refinar los cortes geológicos y sugerir posibles variaciones en el espesor y/o configuración de los cuerpos generadores de las anomalías geofísicas.

Abstract

To deal with magnetic modelling, remanent magnetization as well as susceptibility of the rocks that generate an induced magnetic field by the interaction with the Earth Magnetic field has to be addressed. In presence of primary and/or secondary fields, it is essential to consider the total magnetization as the sum of induced and remanent components, so that modelling integrates the effect of the intensity, inclination and, to a lesser extent, declination of the total magnetization generated by the source bodies. In this context, magnetic properties and density have been measured in drilled samples, with the aim to model and fit magnetic and gravimetric anomalies of the Central High Atlas Range, in the following units: paleozoic sediments, CAMP basalts, jurassic limestones and gabbros, trissic redbeds, cretacic limestones and cenozoic rocks. The contrasted petrophysical properties between units, whose geometry is constrained by means of field data (mapping and dipping), allow us to refine the cross sections and suggest possible variations in the thickness and/or configuration of the anomaly source bodies.

Registro post-PETM de hipertermales en el Pirineo meridional.

Post-PETM record of hyperthermals in southern Pyrenees

T. Mochales[1], I. Rosales[2] y A. Barnolas[2]

1 Planageo-IGME. Unidad de Zaragoza, c/ Manuel Lasala 44, 50006 Zaragoza. taniamochales@gmail.com
2 IGME, c/ de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. i.rosales@igme.es; tonibarnolas@hotmail.com

Palabras clave: CIEs, carbon and oxygen isotopes, magnetic susceptibility, Eocene

Resumen

Se ha estudiado una sección carbonatada somera del Eoceno inferior (Ypresiense) en la cuenca de antepaís Surpirenaica con el fin de caracterizar eventos paleoclimáticos en base a su registro isotópico y de susceptibilidad magnética. La sección del río Ara cuenta con un buen control estratigráfico basado en magnetoestratigrafía anclada con datos bioestratigráficos de Shallow Benthic Zones (SBZ) (Mochales *et al.*, 2012), lo que permite correlacionarla con la sección de Campo, que cuenta además con información de biozonas de nannoplacton calcáreo (NP) (Kapellos y Schaub, 1973). La sección estudiada incluye la parte superior del C24r y la inferior del C24n, biozonas SBZ5 a SBZ10 y NP9 a NP12 (Kapellos y Schaub, 1973; Mochales *et al.*, 2012). El estudio combinado de isótopos estables de C y O y de susceptibilidad magnética (*k*) ha permitido detectar diversas excursiones isotópicas en los valores de $\delta^{13}C$ (CIEs) que pueden correlacionarse con eventos hipertermales reconocidos en el registro geológico para el intervalo de estudio. Estos CIEs se caracterizan por medio de excursiones negativas de $\delta^{13}C$, acompañadas por excursiones negativas de $\delta^{18}O$ y picos máximos de *k* ofreciendo curvas especulares entre $\delta^{13}C$ y *k*. Por su posición magnetoestratigráfica y bioestratratigráfica, las dos mayores excursiones reconocidas se han asociado a los eventos climáticos H_1 (también ETM_2 o ELMO) y K (también ETM_3 o X_{event}) definidos por Cramer *et al.* (2003).

Abstract

A lower Eocene (Ypresian) shallow marine carbonate sequence of the South Pyrenean foreland basin has been studied in order to characterize paleoclimate events based on its isotopic and magnetic susceptibility record. The Ara river section has a good stratigraphic control based on magnetostratigraphy and biostratigraphic data (SBZ) (Mochales et al, 2012) and a good correlationship with the Campo section that includes nannoplankton biozonation (Kapellos and Schaub, 1973). The studied section encompasses the upper part of C24r and lower part of the C24n, biozones SBZ5 to SBZ10 and NP9 to NP12 (Kapellos and Schaub, 1973; Mochales et al., 2012). The combined study of stable isotopes of C and O with magnetic susceptibility (k) has allowed us to detect various isotopic excursions in the values of $\delta^{13}C$ (CIEs) that can be correlated with hyperthermal events recognized in the geological record for the study interval. These CIEs are characterized by means of negative excursions in $\delta^{13}C$, accompanied by negative excursions of $\delta^{18}O$ and maximum peaks in k, offering mirror curve trends between $\delta^{13}C$ and k. Due to their magnetostratigraphic and biostratigraphic position, the two largest recognized excursions have been associated with the climatic events H_1 (also ETM_2 or ELMO) and K (also ETM_3, X_{event}) defined by Cramer et al., (2003).

Referencias

Cramer, B.S., Wright, J.D., Kent, D.V. y Aubry, M.P. (2003). *Paleoceanography*, 18, doi:10.1029/2003PA000909.

Kapellos, Ch. y Schaub, H. (1973). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 66, 687-737.

Mochales, T., Barnolas, A., Pueyo, E.L., Serra-Kiel, J., Casas, A.M., Samsó, J.M., Ramajo, J.,y Sanjuán, J. (2012). *GSA Bulletin*, 124, 1229-1250. doi: 10.1130/B30418.

Estructura Litosférica bajo la transecta sísmica pasiva TransCorBe (Béticas Orientales) utilizando Funciones Receptoras de ondas P

Lithosferic structure below the TransCorbe seismic pasive transect (eastern Betics) using P-wave receiver functions

J. Morales[1,2], F. Mancilla[1,2], D. Stich[1,2], A. Molina-Aguilera[1,2], J.M. Azañón[1,3], T. Teixido[1], J.A. López-Comino[1,2], B. Heit[4] and X. Yuan[4]

1 Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Campus de Cartuja, c/Prof. Clavera nº 12, 18071-Granada, Spain. jmorales@ugr.es; florlis@ugr.es; stich@ugr.es; antoniomolina@ugr.es; jazanon@ugr.es; tteixido@ugr.es; jalopezcomino@ugr.es
2 Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, 18071-Granada, Spain
3 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, 18071-Granada, Spain
4 Deutsches GeoforschungsZentrum, GFZ, Telegrafenberg, 14473, Potsdam, Germany. heit@gfz-potsdam.de; yuan@gfz-potsdam.de

Palabras clave: Funciones receptoras, Perfil pasivo, Béticas Orientales, Litosfera.

Resumen

Se han obtenido funciones de receptoras de onda P a partir de los sismogramas telesísmicos obtenidos en una densa transecta sísmica de estaciones de banda ancha sísmica (TransCorBe), desplegada a lo largo de 170 km a través del orógeno Bético en el sureste de España. Las imágenes migradas muestran la estructura profunda del orógeno en detalle. En particular, revelan la situación del paleomargen Ibérico subducido, con la preservación completa del dominio proximal y el dominio de necking de ~ 50 km de ancho. El adelgazamiento de la corteza afecta a la corteza continental inferior. La corteza Varisca del margen Ibérico se observa deformada debajo de los Beticas, alcanzando ~ 45 km de profundidad, y termina abruptamente por la presencia de una "Tear-fault". El dominio distal del paleomargen no puede reconstruirse, pero la sección migrada sugiere que el material ha sido exhumado a través del canal de subducción e integrado en el orógeno bético en este sector. Esto sugiere que el origen de las unidades Nevado-Filabrides (HP-LT) a la corteza Varisca subducida e hiperextendida. Según nuestro perfil, las Béticas orientales actuales parecen tener una contribución mucho más significativa de la corteza Ibérica metamórfica de lo que se pensaba anteriormente.

Abstract

We obtain P-wave receiver functions from teleseismic recordings at a dense seismic broadband transect (TransCorBe), deployed along 170 km across the Betic range in southeastern Spain. Migrated images show the deep structure of the orogen in detail. In particular, they reveal the situation of the subducted Iberian paleomargin, with full preservation of the proximal domain and the ~50 km wide necking domain. Crustal thinning affects the lower continental crust. The Variscan crust of the Tethys margin is bending downward beneath the Betics, reaching ~45 km depth, and terminates abruptly at a major slab tear. The distal domain of the paleomargin cannot be reconstructed, but the migrated section suggests that material has been exhumed through the subduction channel and integrated into the Betic orogen. This supports an origin of the HP-LT Nevado-Filabride units from subducted, hyperextended Variscan crust. According to our profile, the present-day eastern Betics appear to have a much more significant contribution from metamorphic Iberian crust than previously thought.

El georadar como herramienta para estimar tasas de desplazamiento en deslizamientos activos

Ground Penetrating Radar as a tool for estimate displacement rates in active landslides

M. Moreno-Sánchez[1], C. Reyes-Carmona[2], P. Ruano[1,3], T. Teixidó[4], A. Millares[5], J.P. Galve[1]

1 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuente Nueva, 18071, Granada, España; marcosms@ugr.es (M.M.S.); pruano@ugr.es (P.R.); jpgalve@ugr.es (J.P.G.)
2 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Granada, Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006, Granada, España; c.reyes@igme.es (C.R.C)
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC). Av. de las Palmeras, 18100 Armilla, Granada, España
4 Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Campus de Cartuja, 18011, Granada, España; tteixido@ugr.es (T.T.)
5 Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA), Universidad de Granada, Avenida del Mediterráneo s/n, 18071, Granada, España; mivalag@ugr.es (A.M.)

Palabras clave: GPR, InSAR, deslizamiento, embalse

Resumen

Los movimientos de ladera son un fenómeno frecuente en los terrenos montañosos. Sin embargo, la interacción humana con el medio puede incrementar determinados peligros naturales. El área del Embalse de Rules (Sur de España) es un ejemplo de como la interacción humana modifica las condiciones naturales del medio, pudiendo aumentar la tendencia previa de laderas inestables a deslizarse.

En el Embalse de Rules se ha detectado y cartografiado recientemente un nuevo deslizamiento activo, potencialmente peligroso, gracias a la aportación de datos de Interferometría de Radar de Apertura Sintética, InSAR. La carretera nacional N-323 atraviesa transversalmente este deslizamiento, denominado El Arrecife, cuya actividad ha dañado continuamente la vía desde hace al menos dos décadas. Dado que la carretera ha sido reasfaltada anualmente, es posible estimar la subsidencia que ha experimentado analizando perfiles obtenidos con georadar (GPR) donde se pueden identificar las capas de asfalto y su espesor. Estos datos han completado el registro de tasas que se habían medido a través de técnicas InSAR. Así, los perfiles GPR indican una tasa media de subsidencia de 45 mm/año y los datos InSAR muestran movimientos entre 5 hasta 65 mm/año a lo largo de la carretera. Las dos técnicas por tanto señalan movimientos del mismo orden de magnitud (cm/año). El GPR además nos indica que esas tasas se han mantenido a lo largo de los últimos 20 años.

Abstract

The slope movements are a frequent phenomenon in mountainous terrains. However, human interaction with the environment could increase natural hazards related to them. The Rules Reservoir (Southern Spain) is an example of how human modification of natural conditions could increase a previous tendency of unstable slopes to slide.

An active and potentially dangerous new landslide has been detected and mapped recently in the Rules Reservoir, thanks to the contribution of InSAR data. The national road N-323 crosses that landslide, called El Arrecife, which activity had damaged the road continuously, at least since the last two decades. Due to the road resurfacing yearly, it is possible to estimate the subsidence that had experimented the road analysing ground-penetrating radar (GPR) profiles where asphalt layers and their thickness can be identified. This information has completed the record of displacement rates measured with InSAR techniques. Thus, GPR profiles indicates an average subsidence rate of 45 mm/yr and InSAR data show a movement between 5 up to 65 mm/yr along the road. These techniques therefore measure movements of the same order of magnitude (cm/yr). GPR also indicates that those displacement rates remained throughout the last 20 years.

Espesor de sedimentos en las cuencas Cenozoicas del oeste de España a partir de datos magnéticos de alta resolución

Sedimentary thickness in Spanish western Cenozoic basins from high-resolution magnetic data

A. Olaiz[1], G. de Vicente [2,3], A. Muñoz-Martín [2,3] y R. Vegas[2]

1 Repsol, Exploration Technical Service. C/ Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid (España). antoniojose.olaiz@repsol.com
2 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Depto. GEODESPAL, Univ. Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais 12, 28040 – Madrid (España). gdv@ucm.es, amunoz@ucm.es, ruidera@ucm.es
3 Instituto de Geociencias, IGEO. CSIC-UCM, Madrid, España

Palabras clave: magnetismo, cuencas sedimentarias, espesor de sedimentos, Tilt-Depth

Resumen

La potencia de los sedimentos cenozoicos en las intramontanas cuencas del centro-oeste de la Península Ibérica es poco conocida, ya que no existen datos de sísmica de reflexión ni de pozos petrolíferos, debido a la ausencia de cobertera mesozoica. Únicamente los pozos realizados, en su mayoría para captación de agua, nos dan información de un espesor mínimo de sedimentos ya que en muy pocas ocasiones alcanzan el basamento. En este trabajo se presenta el espesor de sedimentos calculados en las cuencas de Ciudad Rodrigo, Cepeda, Amblés, Campo Arañuelo, Zarza de Granadilla, Torrejón-Talaván, Coria, Moraleja, Guadiana y Badajoz. Se han usado los datos magnéticos de alta resolución de (Getech ,2011). Estas cuencas son el escenario ideal para el cálculo de la profundidad del basamento a partir de datos magnéticos, ya que el contraste de susceptibilidad magnética entre los sedimentos cenozoicos y el basamento es muy acusado. Además, la estructura de las cuencas es relativamente sencilla. El método de Tilt depth (Salem *et al.*, 2007) arroja unos resultados muy homogéneos y consistentes en cada cuenca, con unos valores máximos que pueden alcanzar los 2000 metros en las cuencas más desarrolladas, como Campo Arañuelo y Ciudad Rodrigo. Los valores medios de espesor son de unos 500-600 metros. Las cuencas limitadas por cabalgamientos muestran un máximo asociado al bloque de muro de los mismos. Por otro lado, las cuencas que no están asociadas a cabalgamientos importantes presentan un espesor de sedimentos menor y los depocentros no quedan bien definidos.

Abstract

Sedimentary thickness of Cenozoic intramountain basins in the central western sector of the Iberian Peninsula is still under review due to the lack of seismic reflection and hydrocarbon exploratory wells, due to the absence of Mesozoic cover. Only groundwater wells have been drilled, however not many of them reach the basement. The aim of this work is to review sedimentary thickness in Ciudad Rodrigo, Cepeda, Amblés, Campo Arañuelo, Zarza de Granadilla, Torrejón-Talaván, Coria, Moraleja, Guadiana and Badajoz basins based on high resolution magnetic data (Getech, 2011). These basins are exceptional examples for depth to magnetic basement estimations due to the high magnetic susceptibility contrast between Cenozoic sediments and basement. In addition, basins are not structurally extremely complex. Tilt-depth method (Salem et al., 2007) shows very consistent and homogeneous solutions, with maximum sedimentary thickness up to 2000 m in well-structured basins as Campo Arañuelo and Ciudad Rodrigo. Average thickness is 500-600 m. Main depocenters are associated to the footwall of the alpine thrusts. Those basins not limited by main alpine thrust has a moderate sedimentary record and do not have such well-defined depocenters.

Referencias

Getech (2011). European & Mediterranean magnetic project (EMMP). Report Number: G1135.

Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Ravat, D. y Smith, R. (2007). *The Leading Edge* 26, 1502-1505.

Inversión no lineal de curvas dispersión de ondas Rayleigh para la determinación de la estructura cortical de la Zona Vasco-Cantábrica

Nonlinear inversion of Rayleigh wave dispersion curves for the determination of the crustal structure of the Basque-Cantabrian Zone

A. Olivar-Castaño[1], M. Pilz[2], D. Pedreira[1], J. Pulgar[1], A. Díaz-González[1], J. M. González-Cortina[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo. C/Jesús Arias de Velasco s/n, 33007 Oviedo. olivar@geol.uniovi.es; david@geol.uniovi.es; pulgar@geol.uniovi.es; albadiaz@geol.uniovi.es; jmgcorti@geol.uniovi.es

2 Centro Helmholtz Potsdam, GFZ – Centro Alemán de Investigación en Geociencias. Telegrafenberg, 14473, Potsdam, Alemania. pilz@gfz-potsdam.de;

Palabras clave: ruido sísmico, estructura cortical, Cordillera Cantábrica, Zona Vasco-Cantábrica

Resumen

Durante el Mesozoico, los procesos de rifting que dieron lugar a la apertura del Atlántico Norte y el golfo de Vizcaya permitieron el desarrollo de una cuenca extensional muy subsidente en lo que hoy es la Zona Vasco-Cantábrica. La convergencia posterior entre la placa Europea y la sub-placa Ibérica, especialmente durante el Paleógeno, provocó el cierre de la cuenca y su incorporación al orógeno Alpino Pirenaico-Cantábrico. Como consecuencia de los procesos extensionales y orogénicos, la Zona Vasco-Cantábrica adquirió una estructura profunda compleja, evidenciada por diversas observaciones geofísicas que documentan grandes cambios laterales tanto de espesor cortical como de estructura interna de velocidades (p. ej. Pedreira *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2012). Este trabajo utiliza registros de ruido sísmico proporcionados por dos redes sísmicas desplegadas en la región entre 2014 y 2018 para obtener un modelo 3D de velocidades de ondas S. Para cada par de estaciones se han obtenido medidas de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh que han sido utilizadas en una inversión no lineal para producir una serie de modelos 1D de velocidad de ondas S con un espaciado regular, a partir de los cuales se ha interpolado el modelo 3D. Los resultados son coherentes con las observaciones geofísicas existentes e incrementan la disponibilidad de información de alta resolución en la Zona Vasco-Cantábrica.

Abstract

The Mesozoic rifting processes that gave birth to the North Atlantic Ocean and the Bay of Biscay led to the development of a highly subsident extensional basin in the present-day Basque-Cantabrian Zone. The subsequent convergence between the Iberian sub-plate and the European plate, especially during the Paleogene, caused the closure of the basin and its incorporation into the Pyrenean-Cantabrian mountain belt. As a result of the extensional and orogenic processes, the Basque-Cantabrian Zone attained a complex crustal structure, as evidenced by various geophysical observations documenting strong lateral variations in Moho depths and crustal velocities (e.g. Pedreira et al., 2003; Díaz et al., 2012). This work uses seismic noise recordings provided by two seismic networks deployed in the region between 2014 and 2018 to obtain a 3D shear-wave velocity model. For each station pair, Rayleigh wave phase velocities are measured and used in a non-linear inversion to produce regularly spaced 1D shear-wave velocity models, which are then interpolated to form the 3D model. Our results agree with previous geophysical observations and extend the area for which high resolution information is available in the Basque-Cantabrian Zone.

Referencias

Díaz, J., Pedreira, D., Ruiz, M., Pulgar, J. A. y Gallart, J. (2012). *Tectonophysics*, 570-571: 114-122.

Pedreira, D., Pulgar, J. A., Gallart, J. y Díaz, J. (2003). *Journal of Geophysical Research*, 108 (B4), 2204.

Interpreting the Sub-crustal Reflectivity beneath the Iberian Massif.
Interpretando la reflectividad subcortical bajo el Macizo Ibérico.

I. Palomeras[1], P. Ayarza[1], J. Andrés[2], J. Díaz[2], J. Alcalde[2], A. Alvarez-Valero[1], J. Gómez-Barreiro[1], y R. Carbonell[2]

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, imma@usal.es; puy@usla.es; aav@usal.es; jugb@usal.es.

2 Departamento de Estructura y Dinámica de la Tierra, Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera-CSIC, c/ Lluís Solé i Sabarís, 08028, Barcelona. juvenalandrescabrera@gmail.com; jdiaz@ictja.csic.es; jalcalde@ictja.csic.es; ramon.carbonell@csic.es.

Abstract: *Since the late 80s, the Iberian Massif has been sampled by different controlled and natural source seismic experiments. The ILIHA-DSS, IBERSEIS-WA and ALCUDIA-WA wide-angle reflection/refraction surveys acquired in south and western Iberia have offsets and energy large enough to illuminate the uppermost mantle and reveal some deep reflected energy. Sub-Moho reflections can be also observed in vertical incidence (ALCUDIA-NI) and seismic interferometry (CIMDEF) transects beneath the Central Iberian Zone. All datasets indicate that the energy reflects off an interface with a positive velocity contrast at a depth that concurs with that assumed for the Hales discontinuity that is the phase transition from spinel to garnet lherzolite. The coda and amplitude of this event suggest that it can correspond to a ~10 km thick heterogeneous layer where the spinel and garnet ratio varies. To test this hypothesis we used a 2D second order finite-difference acoustic full wave-field scheme on a P-wave velocity model with a layer consisting of randomly distributed bodies, thinner than ¼ of the wavelength of the seismic waves featuring a ΔVp=±0.1 km/s at the considered depth range. Resulting synthetic shot gathers reproduce well the observed amplitudes and codas as the constructive interference caused by the layering produces a tuning effect in this gradient heterogeneous zone.*

Keywords: *Mantle lithosphere, Hales discontinuity.*

Resumen: Desde finales de los 80 el Macizo Ibérico ha sido estudiado con diferentes experimentos de sísmica de fuente controlada y de fuente sísmica natural. Los perfiles de reflexión de alto ángulo/refracción ILIHA-DSS, IBERSEIS-WA y ALCUDIA-WA adquiridos en el S y O de Iberia tienen offsets y energía suficiente como para iluminar la parte superior del manto y mostrar la energía reflejada a altas profundidades. Reflexiones subcorticales son también observadas en perfiles de incidencia vertical (ALCUDIA-NI) y de interferometría sísmica (CIMDEF) bajo la zona Centro Ibérica. Todos estos datos indican que la energía se refleja en una interfase con un contraste positivo de velocidades situado a la profundidad en que se encuentra la discontinuidad de Hales, es decir, donde la transición de espinela a granate tiene lugar dentro del manto. La coda y la amplitud de este evento sugiere que existe una capa heterogénea de ~10 km de grosor donde la proporción entre espinela y granate varía. Para comprobar esta hipótesis hemos usado un esquema 2D de diferencias finitas de segundo orden que considera un campo de onda acústica completo aplicado a un modelo de velocidad de ondas P con una capa formada por cuerpos de espesor menor de ¼ de la longitud de onda de la onda sísmica emitida y ΔVp=±0.1 km/s, distribuidos de forma aleatoria a la profundidad considerada. Los disparos sintéticos obtenidos reproducen bien las amplitudes y reverberaciones observadas como resultado de la interferencia constructiva causada por los lechos que definen esta zona de gradiente heterogénea.

Palabras clave: Manto litosférico, Discontinuidad de Hales.

INTRODUCTION

It is nowadays widely accepted that the mantle is highly heterogeneous, with lithological and structural changes that are capable of giving impedance contrasts high enough to be observed in seismic data (Fumagalli and Klemme, 2015). The birth and evolution of new seismic techniques and the densification of seismic arrays have confirmed the presence of layering within the continental lithosphere, with numerous positive and negative velocity discontinuities (e.g. Thybo and Anderson, 2006, and references therein). One of such lithospheric reflectors is the Hales discontinuity, named after Hales (1969), observed at ~60-90 km depth as a result of an increase in isotropic velocity with depth. The origin of this upper mantle discontinuity has been addressed to petrological changes responding to a phase transition from spinel-garnet to garnet-only peridotites (Hales, 1969).

Since the late '80s, the Iberian Massif in western Iberia (Figure 1) has been sampled by controlled source seismic experiments, and more recently by passive source experiments.

The ILIHA-DSS (Iliha DSS Group, 1993), IBERSEIS-WA (Palomeras et al., 2009), and ALCUDIA-WA (Ehsan et al., 2015) wide-angle reflection/refraction experiments used energy sources large enough to study the uppermost mantle showing strong sub-Moho arrivals at large offsets (>180 km). The ALCUDIA-NI transect (Martínez Poyatos et al., 2012) also images prominent sub-Moho arrivals beneath the Central Iberian Zone (CIZ) in the vertical incidence dataset. Similar mantle images have been obtained for the north CIZ by the CIMDEF profile where autocorrelation has been applied to both global earthquakes recordings (Andrés et al., 2019) and to continuous seismic ambient noise records (see J. Andrés et al., this issue).

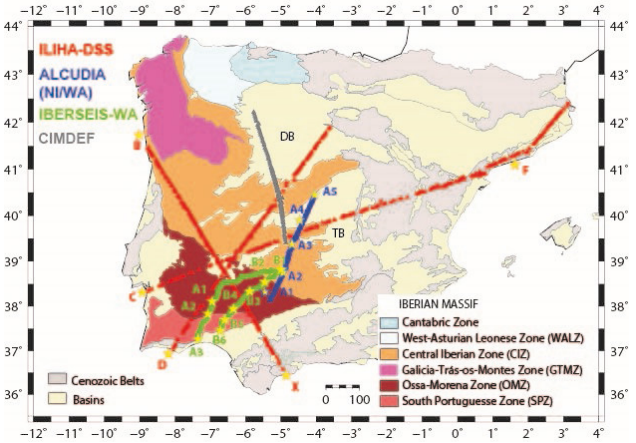


FIGURE 1. Tectonic map of the Iberian Peninsula with the location of the ILIHA-DSS, IBERSEIS-WA, ALCUDIA-NI, ALCUDIA-WA, and CIMDEF profiles (red, green, blue, and gray triangles). Yellow stars indicate the shot position. DB: Duero Basin; GB: Guadalquivir Basin; TB: Tajo Basin..

All these datasets indicate the presence of an upper mantle reflector beneath the Iberian Massif. In this work, we study the nature of this sub-Moho reflection with the aim to make a joint interpretation of this reflector and to establish its source, defining its extension and relevance as a regional discontinuity in the Iberian Massif

DATA ANALYSIS, MODELING AND DISCUSSION

The seismic datasets recorded in western Iberia by the different experiments presented here have shown that the southern and western part of the Iberian Massif features at least two sub-Moho reflectors. The shallowest event presents a positive polarity indicating that it corresponds to an increase in velocity. Forward modelling places this interface at ~70-75 km depth beneath the Ossa-Morena Zone (OMZ) and shallows up to 50-60 km beneath Central Iberian Zone (CIZ). This boundary produces reflections at large offsets and it is observed discontinuously as a few tens of kilometers wide feature. The wide-angle dataset sampling this feature has a dominant frequency of around 10 Hz for the upper mantle phase, which implies a lateral resolution (Fresnel Zone) of 3.5-4 km at depths of 60 km. Furthermore, the P-wave reflectivity response from autocorrelation of global earthquakes and autocorrelation with ambient noise carried out in this region, use dominant frequencies of 1.5-4 Hz, which implies Fresnel Zones between 6 and 9.5 km at the same depth. This indicates that subsurface zones smaller than these values cannot be detected by the seismic data presented here, establishing a minimum lateral extent for the modeled feature. Moreover, the normal incidence profile ALCUDIA-NI images a few tens of km long sub-Moho reflections. That allows us to postulate that the reflector is characterized by sets of a few km-long flat reflectors distributed heterogeneously below the OMZ and the CIZ at 50-75 km depth range.

The signal of this sub-Moho feature also presents a high amplitude (higher than the Pn) and a ~1s-coda (at 8 km/s reduced time) indicating some degree of heterogeneity. In a medium where heterogeneities are thinner than the vertical resolution of the signal (1/4 of the wavelength of the seismic waves (Hansen and Balling, 2004)), a constructive interference caused by the tuning effect of waves is produced. Therefore, we interpret the observed reverberation (coda and amplitude) can correspond to a ~10 km thick heterogeneous gradient.

To test this hypothesis, we have built a ~420 km-long reference P-wave velocity model for the southern Iberian lithosphere (Figure 2a). The crustal part is constrained by the P-wave distribution obtained by the modeling of the IBERSEIS-WA and ALCUDIA-WA datasets. Then a ~15 and ~2 km thick small-scale heterogeneity zones are included at the depth where the mantle reflection comes from and at the base of the crust, respectively (Figure 2b). Within these bands, randomly distributed bodies smaller than ¼ of the wavelength of the seismic waves (~150 m) in thickness and with velocity variations in the range ±0.1 km/s are considered. Using a 2D second order finite-difference acoustic full wave-field scheme, synthetic shot gathers were calculated and compared with the field recorded data (Figure 2c and 2d).

Resulting synthetic shot gather reproduce the arrival time, amplitude and coda of the field shot gathers. Our study indicates that the observed amplitude and coda of the phase reflected off the sub-Moho interface is the result of the constructive interference caused by the tuning effect produced by a gradient heterogeneous zone.

The characteristics (contrast in physical properties and depth level) of this sub-Moho interface are consistent with those of the phase transition from spinel to garnet-lherzolite, the so-called Hales discontinuity. Therefore, we suggest that this lithospheric mantle reflector corresponds to this phase transition (Hales discontinuity). The observed amplitudes and codas would be the result of constructive interferences on heterogeneities where the spinel and garnet ratio varies.

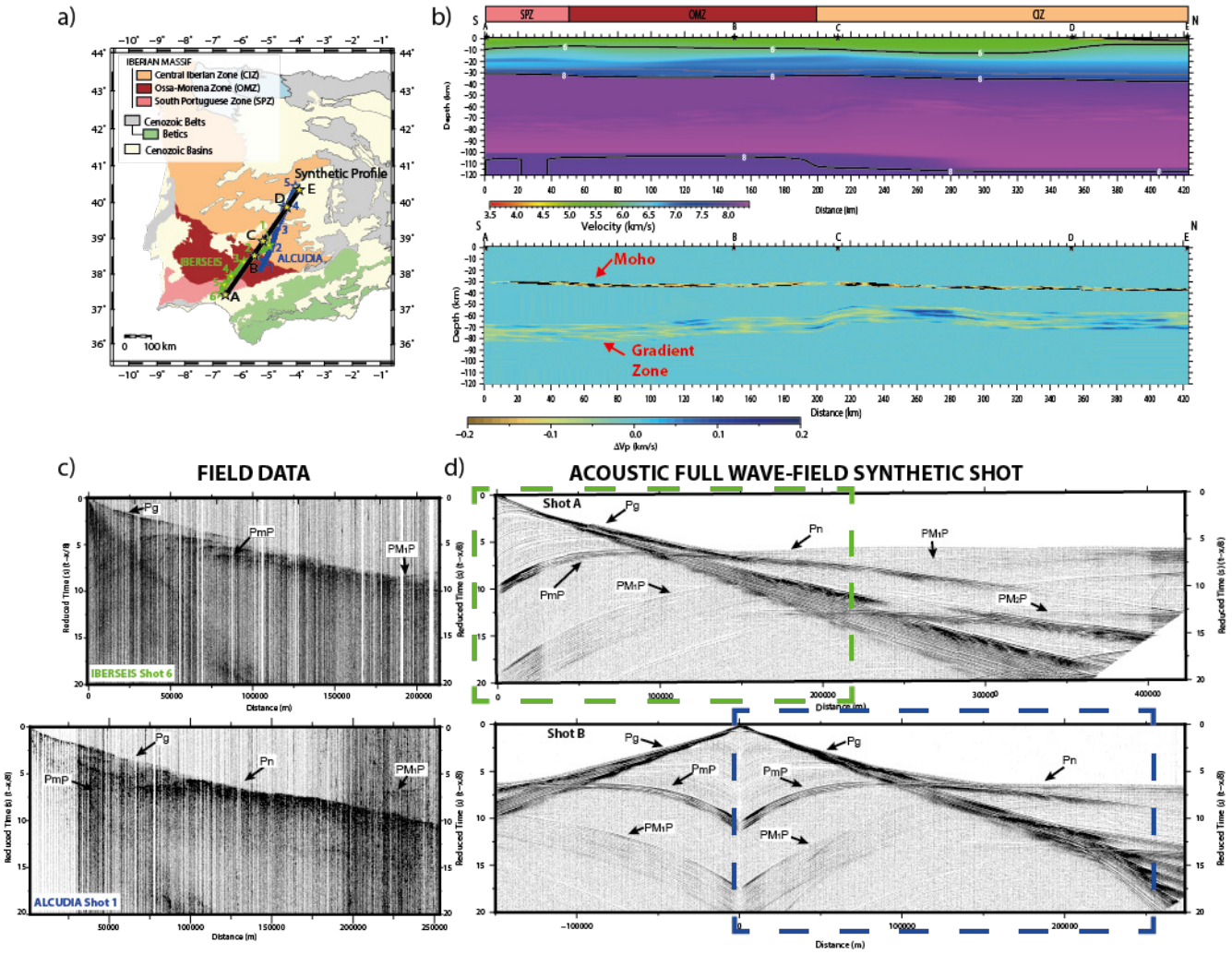


FIGURE 2. : a) Tectonic map of the area indicating the position of the reference P-wave velocity model in b) (black solid line) and the shot positions used for the generation of synthetic shot gathers (d and e). The position of the IBERSEIS-WA Transect B and ALCUDIA-WA is also indicated as a green and blue line, respectively, as well as the shot position as yellow stars. b) Top panel: Reference P-wave velocity model for the south Iberian lithosphere created from the P-wave velocity distribution of the IBERSEIS-WA for the SPZ and OMZ, and from the ALCUDIA-WA for the CIZ. A ~15 and ~2 km thick small-scale heterogeneity zone is included at the depth where the PM1P reflection is modeled and at the base of the crust, respectively. Velocity fluctuations are randomly distributed with velocity variations in the range ±0.1 km/s from the reference P-wave velocity model (bottom panel) (see text for explanation). c) Two examples of field data registered by the IBERSEIS-WA Transect B and ALCUDIA-WA experiments that recorded sub-Moho reflectors. Field recorded shot gathers (c) are plotted next to the corresponding synthetic acoustic (d) full wave-field seismograms generated using the velocity model on b) for comparison. Shot position is labeled on a) and b). Shots are plotted at a reduced velocity of 8.0 km/s. Primary phases are labeled accordingly.

CONCLUSIONS

The characteristics of the mantle lithospheric reflection observed under the western Variscan belt in Iberia suggest that it is produced by a band of heterogeneities placed at approximately 55-85 km depth featuring an increase in P-wave velocity with depth. The origin of this boundary is attributed to the phase change from spinel to garnet, the so called Hales discontinuity. Although the phase change from spinel- to garnet-lherzolite has a low reflection coefficient (Warner and McGeary, 1987) to explain the observed reflections, we have proved that layering or lenses where the spinel and garnet ratio varies could account for the observed reflectivity. At this point, we propose a lithospheric model for the Iberian Massif with a lamellar nature at the upper mantle in the range of 55-85 km depth.

ACKNOWLEGMENTS

This research was funded by the Spanish Ministry of Economy and Competitivety CGL2016-78560-P, the Junta de Castilla y León SA065P17. This work was supported by the Spanish Ministerio de Educación y Formación and the University of Salamanca fellowship BEAGAL18/00090.

REFERENCIAS

Andrés, J. et al. (2019): Lithospheric image of the Central Iberian Zone (Iberian Massif) using Global-Phase Seismic Interferometry, *Solid Earth*, 10(6), 1937-1950. doi: 10.5194/se-2019-107.

Ehsan, S. A. et al. (2015): Lithospheric velocity model across the Southern Central Iberian Zone (Variscan Iberian Massif): The ALCUDIA wide-angle seismic reflection transect, *Tectonics*, 34(3), 535–554. doi: 10.1002/2014TC003661.

Fumagalli, P. and Klemme, S. (2015): Mineralogy of the Earth: Phase Transitions and Mineralogy of the Upper Mantle, in Schubert, G. (ed.) *Treatise on Geophysics.* second. Oxford: Elsevier, Oxford, 7–31. doi: 10.1016/B978-0-444-53802-4.00052-X.

Hales, A. L. (1969): A seismic discontinuity in the lithosphere, *Earth and Planetary Science Letters*, 7(July), 44–46.

Hansen, T. M. and Balling, N. (2004): Upper-mantle reflectors: Modelling of seismic wavefield characteristics and tectonic implications, *Geophysical Journal International*, 157(2), 664–682. doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02217.x.

Iliha DSS Group (1993): A deep seismic sounding investigation of lithospheric heterogeneity and anisotropy beneath the Iberian Peninsula, *Tectonophysics*, 221, 35–51.

Martínez Poyatos, D. et al. (2012): Imaging the crustal structure of the Central Iberian Zone (Variscan Belt): The ALCUDIA deep seismic reflection transect, *Tectonics*, 31(3), TC3017 doi: 10.1029/2011TC002995.

Palomeras, I. et al. (2009): Nature of the lithosphere across the Variscan orogen of SW Iberia: Dense wide-angle seismic reflection data, *Journal of Geophysical Research*, 114(B2), 1–29. doi: 10.1029/2007JB005050.

Thybo, H. and Anderson, D. L. (2006): The heterogeneous mantle, *Tectonophysics*, 416(1–2), pp. 1–6. doi: 10.1016/j.tecto.2005.12.002.

Warner, M. and McGeary, S. (1987): Seismic reflection coefficients from mantle fault zones, *Geophysical Journal Royal Astronomical Society*, 89(1), 223–229. doi: 10.1111/j.1365-246X.1987.tb04412.x.

ALCUDIA-WA: Composición de la corteza de la Zona Centro Ibérica a partir de los modelos de Vp, Vs y coeficientes de Poisson.

ALCUDIA-WA: Composition of the Central Iberian Zone crust inferred from Vp and Vs models, and Poisson's ratios.

I. Palomeras[1], P. Ayarza[1], S.A. Ehsan[2], D. Martínez-Poyatos[3], y R. Carbonell[4]

1Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced, 37008 Salamanca, imma@usal.es; puy@usal.es;
2 Department of Physics, COMSATS University Islamabad, Lahore-Campus, Pakistan. siddiquemir1@gmail.com
3 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Universidad de Granada, 18071 Granada. djmp@ugr.es
4 Departamento de Estructura y Dinámica de la Tierra, Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera-CSIC, Barcelona. ramon.carbonell@csic.es

Palabras clave: Iberian Massif, Central-Iberian Zone, wide-angle profile, S-wave velocity model, Crustal Composition.

Resumen

Se ha estudiado la naturaleza de la corteza de la Zona Centro Ibérica (CIZ) mediante el perfil de sísmica de reflexión de alto ángulo ALCUDIA-WA, que se extiende desde el límite con la Zona de Ossa-Morena (la Unidad Central) hasta la Cuenca Cenozoica del Tajo. Aunque los datos se registraron utilizando sensores de componente vertical, los parámetros de adquisición y las altas frecuencias de la fuente usada proporcionaron registros, no solo de las ondas P sino de la componente vertical de las ondas S. Mediante modelización directa (*forward modeling*), se obtuvo un modelo de velocidad 2D de las ondas S. Conjuntamente con el modelo de velocidad de ondas P obtenido previamente (Ehsan *et al.*, 2015), se ha calculado el coeficiente de Poisson de la corteza. Las propiedades físicas resultantes se han comparado con mediciones en laboratorio hechas en muestras de rocas bien caracterizadas, lo que nos permite restringir la naturaleza y composición de la corteza de la ZCI. Estos resultados junto con los obtenidos previamente para las zonas Sud-Portuguesa y de Ossa-Morena (perfil sísmico de reflexión/refracción de alto ángulo IBERSEIS) (Palomeras *et al.*, 2011) permiten arrojar algo de luz sobre la composición y evolución de la orogenia Varisca en el SW de Iberia.

Abstract

The nature of the crust beneath the Central Iberian Zone (CIZ) was assessed by a wide-angle reflection/refraction seismic transect, the ALCUDIA-WA, which extends from the boundary with the Ossa Morena Zone (the Central Unit) to the Cenozoic Tajo Basin. Although the data were recorded using vertical component sensors, the acquisition parameters and the high frequency controlled sources used provided not only P waves but the vertical component of well-defined S-waves. The resulting S-wave velocity model was calculated from these data by iterative forward modeling. Jointly with the previously obtained P-wave velocity model (Ehsan et al., 2015), the Poisson's ratio of the crust is calculated. The resulting physical properties are then compared with laboratory measurements of rock samples in order to constrain the nature and composition of the CIZ crust. The results are then integrated with those previously obtained for the South Portuguese and Ossa-Morena Zones (IBERSEIS wide angle reflection/refraction profile) (Palomeras et al. 2011) providing some light on the composition and evolution of the Variscan orogeny in SW Iberia.

Referencias

Ehsan, S. A. *et al.* (2015) 'Lithospheric velocity model across the Southern Central Iberian Zone (Variscan Iberian Massif): The ALCUDIA wide-angle seismic reflection transect', *Tectonics*, 34(3), pp. 535–554. doi: 10.1002/2014TC003661.

Palomeras, I. *et al.* (2011) 'Shear wave modeling and Poisson's ratio in the Variscan Belt of SW Iberia', *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(7). doi: 10.1029/2011GC003577.

Mapa de anomalía de Bouguer del Pirineo Suroccidental

Bouguer anomaly map of the southwestern Pyrenees.

E.L. Pueyo[1,2], F.M. Rubio[3], R. Toro[7], A. González[3], J.M. Llorente[3], L. Ezquerro[4], A. Montañés[4], C. Rey[3], P. Santolaria[5], C. Ayala[6], A.M. Casas[2,7], E. Izquierdo-Llavall[8], J. Giménez[7], C. Pérez-Bielsa[1,2], R. Soto[1,2], P. Clariana[1,2], O. Pueyo-Anchuela[2,7], B. Oliva-Urcia[9],

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, C/Manuel Lasala 44, 50006, Zaragoza. unaim@igme.es
2 Unidad Asociada en Ciencias de la Tierra IGME/Universidad de Zaragoza. acasas@unizar.es
3 Area de Geofísica. Dpto. Investigación y Prospectiva geocientífica. c/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. fm.rubio@igme.es
4 Freelance geologists. Trekking Aragón. trekkingaragon@gmail.com
5 Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona. pablo.santolaria.otin@gmail.com
6 Instituto Geológico y Minero de España, now visiting at the Institue of Earth Sciences "Jaume Almera"-CSIC, C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. C.ayala@igme.es
7 Geotransfer. Dpto. Ciencias de la Tierra. IUCA. Univ. de Zaragoza. C/ P. Cerbuna s/n, 50006, Zaragoza. ingrosibethtoro@gmail.com
8 E2S-UPPA, UPPA-CNRS-Total, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau, France. eizquierdollavall@gmail.com
9 Dpto. de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid. belen.oliva@uam.es

Keywords: Basement geometry, Gravimetric surveying, Petrophysics

Resumen

Las relaciones geométricas y cinemáticas entre las unidades de basamento de los Pirineos Suroccidentales, específicamente entre la terminación de la Zona Axial y el afloramiento de los Macizos Vascos, son desconocidas y potencialmente muy complejas (Oliva-Urcia, 2018). La gravimetría se ha aplicado con éxito en otras regiones pirenaicas para resolver la geometría de las unidades de cobertera y basamento debido al contraste de densidad existente en las rocas involucradas. Con el objetivo de resolver dichas relaciones y sus implicaciones en la comprensión 4D de esta parte de la cadena, hemos llevado a cabo un exhaustivo programa de adquisición de datos gravimétricos (2018-2020) entre los valles de Salazar (al oeste) y del Aragón Subordán (hacia el este) en el marco del proyecto 3DGeoEU (GeoERA-H2020). Más de 1500 nuevas estaciones (varias de ellas en alta montaña) junto con > 1700 puntos de la base de datos SITOPO, ≈ 1200 de campañas mineras, y > 500 de anteriores proyectos del IGME hacen un total de > 5000 estaciones gravimétricas armonizadas. Además, se han recopilado > 500 datos de densidad de bases de datos o muestreados en el campo. En este trabajo presentaremos los mapas de anomalías Bouguer y de anomalía residual obtenidos, junto con una revisión de las principales estructuras cartográficas en la zona.

Abstract

The geometric and kinematic relationships between the basement thrust sheets in the Southwestern Pyrenees, specifically between the pinch out of the Axial Zone and the outcrop of the isolated Basque Massifs, are unknown and potentially very complex (Oliva-Urcia, 2018). Gravimetric surveying has been successfully conducted in other Pyrenean regions to unravel the geometry of cover/basement units due to the proven density contrast of the involved rocks. Aiming to solve its geometry, with direct implications in the 4D understanding of this part of the Pyrenees, we have carried out a thorough gravimetric data acquisition program (2018-2020) between the Salazar (to the West) and the Aragón Subordán valleys (to the East) in the frame of the 3DGeoEU project (GeoERA-H2020). More than 1500 new stations (several of them in high mountain areas) together with > 1700 previous points from the SITOPO database, ≈ 1200 from mining campaigns, and > 500 from previous IGME projects give a total of >5000 harmonized gravimetric stations. Additionally, > 500 density data were compiled from databases or sampled in the field. In this presentation we will introduce the resulting Bouguer and residual anomaly maps together with a reviewed hierarchized map of the main structural features in the area.

Referencias

Oliva-Urcia, B. (2018). *Revista de la Sociedad Geológica de España,* 31, 2, 51-68.

Sismicidad, sismotectónica y peligrosidad sísmica en la región Cantábrica: nuevos datos a partir de las redes sísmicas SISCAN y MISTERIOS (2014-2020)

Seismicity, seismotectonics and seismic hazard in the Cantabrian re-gion: new data from the SISCAN and MISTERIOS dense seismic networks (2014-2020)

J. A. Pulgar[1], A. Díaz-González[1], D. Pedreira[1], J.M. González-Cortina[1], A. Olivar-Castaño[1] L. Pie-Perales[1], J. Gallastegui[1], M. Ruiz[2], J. Gallart[2], J. Diaz[2], A. Frankovic[3] y A. Franco[3]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, Oviedo. pulgar@uniovi.es
2 GEO3BCN-CSIC, Barcelona
3 Ente Vasco de la Energía (EVE), Bilbao

Palabras clave: sismicidad, sismotectónica, zona vasco-cantábrica, monitorización sísmica, Pirineos

Resumen

La región Cantábrica, al tratarse de una zona tradicionalmente considerada de baja sismicidad, ha suscitado menor atención que otras regiones sísmicamente más activas. Los nuevos datos recogidos por las redes sísmicas temporales implantadas en el marco de los proyectos SISCAN y MISTERIOS (2014-2020) han permitido mejorar el conocimiento acerca de la actividad sísmica de la zona. Durante el periodo del estudio, de casi seis años, se desplegaron más de 50 estaciones en la Región Cantábrica y norte de la Cordillera Ibérica. La densidad de estaciones y la geometría regular de estas redes han permitido registrar una sismicidad significativa. Se han localizado más de más de 1200 terremotos y se han calculado más de 60 mecanismos focales, en una región dónde apenas existían este tipo de datos. Los eventos localizados con mayor precisión y los mecanismos focales calculados se utilizaron para avanzar en la interpretación sismotectónica, con la identificación de las principales fallas activas. Por último, se ha llevado a cabo una evaluación de la peligrosidad sísmica de la región cantábrica y del Pirineo occidental. Para ello se ha abordado una modelización probabilista de la peligrosidad sísmica en términos de aceleración pico (PGA) y de aceleraciones espectrales (SA (T)) para un periodo de retorno de 475 años.

Abstract

The present-day seismicity in the Cantabrian region (North of Iberia) is not well known due to the limited coverage of stations from permanent seismic network in the area. Being an area traditionally considered of low seismicity, it has attracted less attention than other seismically more active regions, such as the southeast and northwest of the Iberian Peninsula, or the Pyrenean area. The new data collected by the temporary seismic networks implemented during the SISCAN and MISTERIOS projects (2014-2020) have allowed us to improve our knowledge about the seismic activity in the area. During the study period, for almost six years, a seismic network of more than 50 stations was deployed in the Cantabrian Region and the northern Iberian Chain. The density of stations and the regular geometry of these seismic net-works have allowed us to register a significant seismic activity. More than 1200 earthquakes have been located and more than 60 focal mechanisms have been calculated in a region where such data was hard-ly available. The events located with the greatest precision and the calculated focal mechanisms were used to improve the seismotectonic interpretation, with the identification of the main active faults. Final-ly, an evaluation of the seismic hazard in the Cantabrian region and the western Pyrenees has been carried out. To this end, a probabilistic modeling of the seismic hazard in terms of peak ground acceleration (PGA) and spectral acceleration (SA (T)) has been addressed for a return period of 475 years.

Estudio del margen oriental de la Península Antártica aplicando deconvolución de Euler

Study the eastern margin of the Antarctic Peninsula applying Euler deconvolution

Rey-Moral, Carmen[1]; Bohoyo Muñoz, Fernando[1]; Druet Vélez, Maria[1]; Galindo Zaldívar, Jesus[2,3] y Golynsky, Alexander[4]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). c/ La Calera s/n., 28760, Madrid. Spain c.rey@igme.es; f.bohoyo@igme.es; m.druet@igme.es.
2 Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. Campus de Fuentenueva s/n. Granada. Spain. jgalindo@ugr.es.
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. de Granada).
4 VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia. sasha@vniio.nw.ru.

Palabras clave: Península Antártica, gravimetría satelital, datos aeromagnéticos, estructura cortical.

Resumen

La península Antártica, forma parte del cinturón orogénico Andino de edad mesozoico-cenozoica, está constituida por rocas ígneas y metamórficas, y se separó de Sudamérica tras la apertura del paso del Drake en el Oligoceno. El margen oriental, menos conocido por su inaccesibilidad, es de tipo pasivo y se caracteriza por una plataforma continental extensa con un tránsito gradual hacia el dominio oceánico del mar de Weddell. La modelización de 3 perfiles magnéticos y gravimétricos (Rey-Moral *et al.,* 2020) muestra [1] que la estructura cortical presenta un adelgazamiento progresivo hacia el SE, [2] gran variación del espesor de sedimentos y [3] diques basálticos asociados al borde occidental del mar de Weddell. La aplicación de deconvolución 3D de Euler (índice estructural=1, para contactos verticalizados y ventana de búsqueda de 20x20 km, para alcanzar fuentes corticales), muestra un conjunto de soluciones, en: [1] la Península Antártica, soluciones a menos de 10 km de profundidad asociadas a la base de los batolitos y [2] el Estrecho de Bransfield, entre 10 y 12 km de profundidad, asociadas a la intrusión de material mantélico. En el margen oriental de la Península Antártica, un grupo de soluciones marcan un límite N-S claro, en el meridiano 55°W, probablemente relacionadas con el adelgazamiento hacía el E de la corteza continental y la aparición de corteza oceánica.

Abstract

The Antarctic Peninsula, part of the Mesozoic-Cenozoic Andean orogenic belt, is composed of igneous and metamorphic rocks and separates from South America during the opening of the Drake Passage from the Oligocene. The eastern margin is poorly known due to its inaccessibility and is described as a continental passive margin gradually in transition to the Weddell Sea ocean floor. The modelling of 3 magnetic and gravimetric profiles (Rey-Moral et al., 2020) shows [1] that the eastern margin of the Antarctic Peninsula depicts a progressively thinning of the upper crust towards the SE, [2] changes in the sediment thickness and [3] basaltic dikes related to the western edge of the Weddell Sea. Moreover, the 3D Euler deconvolution analysis, allowed estimating the anomaly source locations. Some well-focussed set of solutions has been determined by using structural index 1, to obtain results from vertical contacts and a 20x20 km window size to reach crustal structures. In: [1] the Antarctic Peninsula depth sources less than 10 km related to the Pacific Margin Anomaly batholiths and [2] the Bransfield Strait between 10 and 12 km depth discontinuities associated to intrusions. At the eastern Antarctic Peninsula margin, a group of solutions follows an outstanding N-S trend close to 55°W, probably related to the boundary where continental crust thins and the oceanic crust originates.

Referencias

Rey-Moral, C., Bohoyo, F., Druet, M., Golynsky, A. y Galindo-Zaldívar, J. Estudio del margen oriental de la Península Antártica a partir de datos gravimétricos y magnéticos. *Geogaceta* 67 (2020): 99-102. ISSN (versión impresa): 0213-683X. ISSN (Internet): 2173-6545.

Modelización gravimétrica del Complejo Anortosítico de Kunene (Angola)

Gravimetric modelling of the Kunene anorthositic Complex (Angola)

C. Rey-Moral[1], T. Mochales[2], J.L. García Lobón[1], D. Ballesteros[3], M.T. López Bahut[1], R. Martín-Banda[2] y M.C. Feria[2]

1 IGME (Instituto Geológico y Minero de España), c/ La Calera s/n. 28760. Tres Cantos, Madrid. c.rey@igme.es; jl.garcia@igme.es
2 UTE PLANAGEO-IGME, c/ La Calera s/n. 28760. Tres Cantos, Madrid, taniamochales@gmail.com, raquel.martin@uteplanageo.com, maria.feria@uteplanageo.com.
3 USB (Universidad Simón Bolivar), Valle de Sartenejas, Municipio Baruta.1080. Caracas, Venezuela

Palabras clave: Angola, complejo anortosítico, modelización gravimétrica 2D, densidad

Resumen

Angola forma parte del Cratón del Congo, configurado durante el episodio tectonotérmico del Proterozoico (~2 Ga), considerado uno de los dos periodos principales de adelgazamiento cortical en el registro terrestre. El Complejo Anortosítico de Kunene (KAC) representa un complejo ígneo formado principalmente por anortositas y gabros, que se extiende desde la región de Quipungo (SW de Angola) hasta el N de Namibia (Zebra Mountains). El afloramiento del KAC ocupa unos 15000 km^2 (300 km de N a S y entre 25-50 km de E a W). El mapa de anomalía de Bouguer regional (Bonvalot, *et al.*, 2012) muestra un gradiente gravimétrico de W a E, desde valores +250 mGal en la costa de Angola, hasta -30 mGal en el límite E de la zona de estudio. Este gradiente se interpreta como la transición desde una corteza oceánica de composición basáltica, densa y en el W adelgazada, de edad mesozoica y formada durante la apertura Atlántica, hasta llegar a una corteza continental (cratón del Congo) más antigua y engrosada, en el E. El afloramiento del KAC coincide con una zona de anomalía de Bouguer, en valores intermedios (de +50 mGal en el W hasta +10 mGal en el E). El límite W del KAC se asocia con anomalías positivas de Bouguer asociadas a intrusiones de gabros, mientras que hacia el E los miembros anortosíticos del KAC se corresponden con valores bajos de anomalía de Bouguer. Se han modelizado 4 perfiles corticales para reconstruir la geometría de la corteza superficial del KAC y su prolongación hacia el E, bajo los sedimentos del Kalahari. Su continuación lateral ha sido demostrada, pudiendo atribuir un área total para el KAC de alrededor de 40500 km^2, al menos dos veces mayor que el afloramiento cartografiado.

Abstract

Angola is part of the southwestern Congo craton, which geologic features were largely structured during the tectonothermal Proterozoic episode (~2 Ga), interpreted as one of the two main episodes of crustal thinning of the Earth's record. The Kunene Anorthositic Complex (KAC) represents a wide igneous body, mainly anorthositic and gabbroid in composition, extending from the Quipungo region (SW Angola) to the N of Namibia (Zebra Mountains). The exposed portion of KAC overspreads about 15000 km^2 (N-S trend throughout c. 300 km and 25-50 km wide). The Bouguer anomaly map (Bonvalot et al. 2012) depicts a gravity gradient from W to E, showing values of +250 mGal on the Angolan coast side to -30 mGal towards the eastern boundary of the study area. This gradient is explained by the transition from a western young, dense, basaltic, and thin oceanic crust, formed during the Atlantic Mesozoic rifting, to an older, less dense, and thicker continental crust (Congo craton) to the E. The KAC outcropping lies within the aforementioned gravity trend, featuring intermediate values on the W (+50 mGal) to low values on the E (+10 mGal). At the western periphery of the Kunene Complex outcrops, several positive relative gravity anomalies have been linked to gabbroic intrusions of KAC whereas relative minima have been attributed to anorthositic members. Four gravity profiles have been modelled with the aim to investigate the eastern limit of the KAC, where the shallow crustal structure is reconstructed below the Kalahari sediments. Lateral continuation of KAC in this area is demonstrated, thus confirming an extension for the KAC of, at least, twice (about 40500 km^2) the currently mapped outcropping area.

Referencias

Bonvalot, S., Balmino, G., Briais, A., M. Kuhn, Peyrefitte, A., Vales N., Biancale, R., Gabalda, G., Reinquin, F., Sarrailh, M. (2012). World Gravity Map. CGMW. Eds. BGI-CGMW-CNES-IRD, Paris.

Estudio del subsuelo de la Ciudad Autónoma de Melilla mediante prospección geofísica y modelización geológica 3D.

Subsurface study of the Autonomous City of Melilla through geophysical prospecting and 3D geological modeling.

A. Ruiz-Constán[1], C. Marín-Lechado[1], F.J. Martínez-Moreno[2], J. Galindo-Zaldívar[3,4] y A. Pedrera-Parias[5]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Urbanización Alcázar del Genil, 4. Edificio Zulema bajo, 18006 Granada, España. a.ruiz@igme.es; c.marin@igme.es.
2 Instituto Dom Luiz, Facultade de Ciências, Universidade de Lisboa. Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal. fjmoreno@fc.ul.pt
3 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada. Campus de Fuentenueva 18071 Granada, España. jgalindo@ugr.es
4 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR). Avd. de las Palmeras, 4, 18100 Armilla, Granada, España.
5 Instituto Geológico y Minero de España. Plaza de España, Torre Norte 41013 Sevilla, España. a.pedrera@igme.es

Palabras clave: inversión gravimétrica 3D, Cordillera del Rif, cuenca Melilla-Nador.

Resumen

La Ciudad Autónoma de Melilla está localizada sobre la cuenca neógena-cuaternaria de Melilla-Nador, situada hacia el NE del Rif. Su relleno sedimentario está constituido por calizas bioclásticas y niveles detríticos. Los relieves más importantes que limitan la cuenca son antiguos volcanes con actividad durante el Neógeno-Cuaternario, en su extremo norte el Cabo de Tres Forcas y en su extremo sur el monte Gourougou. Los materiales emitidos en las diversas erupciones constituyen un conjunto de coladas subaéreas y niveles piroclásticos que se han ido intercalando secuencialmente en el relleno sedimentario de la cuenca pero de las que no se conoce la totalidad de su extensión lateral. El basamento de la cuenca no aflora en el territorio de Melilla aunque un sondeo de investigación revela la existencia de rocas paleozoicas (mármoles y metapelitas) a más de 560 metros de profundidad. Se realizó una campaña de prospección gravimétrica con estaciones de medida distribuidas en una malla que cubre la totalidad del territorio de Melilla, con el objetivo de delimitar la geometría del basamento y establecer la extensión lateral, geometría y espesor del relleno sedimentario de la cuenca y de las intercalaciones de coladas volcánicas. Finalmente, se ha construido un modelo geológico 3D en el que se han integrado las observaciones geológicas de superficie, datos de subsuelo existentes (sondeos y sondeos eléctricos verticales) y la inversión 3D de los datos gravimétricos.

Abstract

The Autonomous City of Melilla is located at the Neogene-Quaternary basin of Melilla-Nador, at the NE part of the Rif. Its sedimentary infill is constituted by bioclastic limestones and detritic levels. The most important reliefs that limit the basin are ancient volcanoes with Neo-Quaternary activity, Tres Forcas Cape at its northern end and the Mount Gourougou at its southern part. The rocks emitted in the various eruptions are constituted by subaerial volcanic flows and pyroclastic levels that have been sequentially interlayered in the sedimentary infill of the basin but whose lateral extension is unknown. The basement of the basin does not crop out in the territory of Melilla although a deep borehole reveals the existence of Paleozoic rocks (marbles and metapelites) more than 560 meters deep. A gravimetric survey was carried out with stations distributed in a mesh which covers the entire territory of Melilla. The aim of the survey was to establish the geometry of the basement and the lateral extension, geometry and thickness of the sedimentary infill and the different volcanic levels. Finally, a 3D geological model has been built through the integration of surface geological observations, previous subsurface data (boreholes and vertical electric soundings) and the 3D inversion of gravity data.

Geometría del basamento Pirenaico Suroccidental a partir de la exploración sísmica.

Basement geometry of the southwestern Pyrenees from seismic exploration.

R. Toro[1], A.M. Casas[1,2], E. Izquierdo-Llavall[3], E.L. Pueyo[2,4], J. Navas[5], C. Peropadre[6], J. Martín[7]

1 Geotransfer. Dpto. Ciencias de la Tierra. IUCA. Universidad de Zaragoza. C/ P. Cerbuna s/n, 50009, Zaragoza, 774048@unizar.es / 2 Unidad Asociada en Ciencias de la Tierra IGME/Universidad de Zaragoza, C/ P. Cerbuna s/n, 50009, Zaragoza, acasas@unizar.es / 3 Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, TOTAL, LFCR, Pau, France, esther.izquierdo-llavall@univ-pau.fr / 4 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, C/Manuel Lasala 44, 50006, Zaragoza, unaim@igme.es / 5 Área de Geología del Subsuelo y Almacenamiento Geológico, Dpto. Investigación y Prospectiva Geocientífica, IGME C/ La Calera 1, 28760, Tres Cantos, Madrid.j.navas@igme.es / 6 Área de Geología del Subsuelo y Modelización Geológica 3D. Dpto. Investigación y Prospectiva Geocientífica, IGME. C/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, c.peropadre@igme.es / 7 Área de Geofísica y Teledetección, Dpto. Investigación y Prospectiva geocientífica, IGME C/ La Calera 1, 28760, Tres Cantos, Madrid, j.martin@igme.es

Palabras clave: secciones sísmicas, modelado 3D, geometría del basamento.

Resumen

Los Pirineos Suroccidentales (norte de Aragón y Navarra) muestran algunas características claves para entender la geometría de la cadena: 1) la terminación hacia el oeste del afloramiento principal de la Zona Axial, el eje de la cadena donde afloran las rocas del basamento, 2) el afloramiento de unidades aisladas de basamento más al oeste (los llamados Macizos Vascos) y 3) la variación lateral en la geometría de la base de la corteza, caracterizada por el cabalgamiento de gran escala de la corteza europea por encima de la Ibérica, con la corteza superior formando una cuña orogénica (Muñoz, 1992; Teixell, 1998; Pedreira *et al.*, 2003).

El número, la secuencia y las relaciones laterales de las unidades de basamento que forman esta cuña de la corteza superior son complejas y/o desconocidas. En este trabajo mostramos el primer modelo 3D basado en exploración geofísica (142 secciones sísmicas de reflexión en tiempo) de la región. Para llevar a cabo la conversión de las interpretaciones en tiempo a profundidad, consideramos un modelo de velocidad sísmica basado en los registros sónicos de varios sondeos (Roncal, Sangüesa-1, Aoiz-1, y Pamplona sur). Los resultados han permitido definir con precisión el ascenso del techo del basamento hacia el norte (mediante una secuencia de cabalgamientos de zócalo cuya expresión en superficie es el cabalgamiento de Gavarnie) y la geometría de las principales unidades sedimentarias que conforman el sistema de cabalgamientos imbricados surpirenaico.

Abstract

The Southwestern Pyrenees (north of Aragón and Navarra) display some key geometric features of the chain; 1) the westward termination of the main outcrop of the Axial Zone, the backbone of the chain where the basement rocks emerge 2) the outcrop of isolated basement units further west (the so-called Basque Massifs) and 3) the lateral variation in crustal geometries, characterized by the underthrusting of the lower Iberian crust beneath the European one, with the upper crust forming an orogenic wedge (Muñoz, 1992; Teixell, 1998, Pedreira et al., 2003).

The number, sequence and lateral relationships of the subsurface basement thruss forming this upper crust wedge are complex and/or unknown. In this work we show the first 3D model based on geophysics in the region (142 reflection seismic sections in time). To carry out the conversion of time interpretations to depth we consider a seismic velocity model based on sonic logs from several wells (Roncal, Sangüesa-1, Aoiz-1, and Pamplona south). The results obtained have allowed to precisely define the progressive northwards shallowing of the top of the basement (through a sequence of basement thrusts whose surface expression is the Gavarnie Thrust) and the geometry of the main sedimentary units that define the orogenic wedge and the South-Pyrenean orogenic system.

Referencias

Muñoz, J. A. (1992). *Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. In Thrust tectonics*. Edited by K.R. McClay (235-246). Springer, Dordrecht.

Pedreira, D., Pulgar, J. A., Gallart, J., & Díaz, J. (2003). Seismic evidence of Alpine crustal thickening and wedging from the western Pyrenees to the Cantabrian Mountains (north Iberia). J*ournal of Geophysical Research: Solid Earth,* 108(B4).

Teixell, A. (1998). Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees. *Tectonics*, 17(3), 395-406.

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos. Curso abierto (OCW) de la Universidad de Oviedo

Alteration, durability and conservation of rock materials. Open course (OCW) of the University of Oviedo

F. J. Alonso Rodríguez[1]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. fjalonso@uniovi.es

Palabras clave: Alteración. Durabilidad. Conservación. Rocas. Patrimonio.

Resumen

Curso de libre acceso de la Universidad de Oviedo donde se presentan los conocimientos impartidos en la homónima asignatura de la anterior licenciatura en Geología de la Universidad de Oviedo. El curso está orientado a la adquisición de conocimientos y competencias sobre las rocas cuando se utilizan como materiales de construcción, se consideren sus características petrofísicas y los factores ambientales que influyen en su alteración, los procedimientos para valorar su durabilidad y los aspectos relacionados con su conservación en los monumentos. El curso incluye *material de clase* formado por 22 presentaciones ordenadas en 10 temas con los siguientes contenidos: conceptos generales; métodos de estudio; factores internos, agentes externos y factores de construcción en la alteración de las rocas; procesos, formas, productos y grados de alteración; durabilidad de rocas y valoración de tratamientos; conservación de materiales pétreos: criterios, diagnóstico, intervención y mantenimiento. Entre las *actividades prácticas* se proporcionan procedimientos y se proponen ejercicios (análisis químico, porosimetría, propiedades físicas…). Como *material de estudio* se aportan documentos propios y publicaciones del Grupo de Alteración de Oviedo, y en el apartado *otros recursos* informaciones relevantes de libre acceso en la red (publicaciones, tesis doctorales, jornadas…) y la solución a los ejercicios de prácticas. Incluye una *evaluación* de los conocimientos mediante la realización de distintos tipos de preguntas para cada uno de los temas propuestos y se indica las respuestas.

Abstract

Course of free access of the University of Oviedo where the knowledge taught in the homonymous subject of the previous degree in Geology of the University of Oviedo is presented. The course is aimed at acquiring knowledge and skills about rocks when used as building materials, their petrophysical characteristics and environmental factors that influence their alteration, procedures to assess their durability and aspects related to their conservation in the monuments are considered. The course includes class material consisting of 22 presentations organized in 10 subjects with the following contents: general concepts; study methods; internal factors, external agents and construction factors in the alteration of rocks; processes, forms, products and grades of alteration; rocks durability and treatments assessment; conservation of stone materials: criteria, diagnosis, intervention and maintenance. Practical activities include procedures and exercises (chemical analysis, porosimetry, physical properties…). As material of study documents own and publications of the Group of Oviedo are provided, and in the section other resources relevant information of free access in the network (publications, doctoral theses, working days…) and the solution of the practical exercises It includes an evaluation of the knowledge through the realization of different types of questions for each of the proposed topics and the answers are indicated.

Referencias

Alonso F.J. (2014). Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos. Open Curse Ware, Universidad de Oviedo. http://ocw.uniovi.es/course/view.php?id=171

Diseño de una base de datos en SIG para la gestión del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel (España)

Design of a GIS-database for the management of the Courel Mountains UNESCO Global Geopark (Spain)

D. Ballesteros[1,2], P. Caldevilla[1,3], R. Vila[1,4], X.C. Barros[1], L. Rodríguez-Rodríguez[5], M. García-Ávila[1,6], E. Sahuquillo[7], M. Llorente[8], J.B. Diez[1,6], M. Fuertes-Fuente[9], S.M. Timón-Sánchez[10], A. de Lombera-Hermida[1,11], I. Álvarez[1], I. Pérez-Cáceres[12], P. Orche Amaré[13], M. Acebo[14], y M. Alemparte[1,15].

1 Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel. Rúa do Courel 21, 27320 Quiroga. www.courelmountains.es
2 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071 Granada, dballesteros@ugr.es
3 Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas, Universidad de León. Campus de Vegazana s/n, 24071 León. pcald@unileon.es
4 Museo Xeolóxico de Quiroga. Rúa do Courel 21, 27320 Quiroga. concello.quiroga@eidolocal.es
5 Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria. Avenida de los Castros s/n, 39005 Santander. laura.rodriguezr@unican.es
6 Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, y Asociación Paleontolóxica Galega, Universidade de Vigo. Campus Universitario Lagoas Marcosende, 36310 Vigo. manugarcia@uvigo.es, jbdiez@uvigo.es
7 Departamento de Bioloxía, Facultade de Ciencias, Campus da Zapateira, Universidade da Coruña, 15008 A Coruña. elvira.sahuquillob@udc.es
8 Instituto Geológico y Minero de España. c/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. m.llorente@igme.es
9 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. c/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33003 Oviedo. mercedf@uniovi.es
10 Unidad de Salamanca, Instituto Geológico y Minero de España. Plaza de la Constitución 1, 3º, 37001 Salamanca. s.timon@igme.es
11 Grupo de Estudos para a Prehistoria do Noroeste Ibérico-Arqueoloxía, Antigüidade e Territorio (GEPN-AAT). Departamento de Historia. Universidade de Santiago de Compostela. Praza da Universidade 1, 15782 Santiago de Compostela. arturode.lombera@usc.es
12 Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC). c/ Lluís Solé i Sabaris s/n, 08028, Barcelona. irepcaceres@gmail.com
13 Servicio de Minas. Secretaría General de Industria y Minas. Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades, c/ Johannes Kepler, 1. 41.092 Isla de la Cartuja – Sevilla. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM), mariap.orche@juntadeandalucia.es
14 Pizarras de Villarbacú, S.L. y Pizarras de Quiroga, S.A (PIQUISA). Carretera de Vegamolinos, 156, 32300 O Barco de Valdeorras. macebo@piquisa.com
15 Grupo de Desarrollo Rural Ribeira Sacra-Courel. Rúa Doctor López Lallana 6, 1ºD, 27340 Bóveda. grupogdr8@yahoo.es

Palabras clave: base de datos, geoparque, gestión, SIG, metodología.

Resumen

Se ha desarrollado una base de datos en un sistema de información geográfica (SIG) para la gestión del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel (NO de España). El SIG incluye 66 capas de información topográfica, geológica, minera, biológica, arqueológica y etnográfica, que pueden ser combinadas entre sí para elaborar mapas temáticos adaptados a la finalidad y al usuario. Los mapas generados son empleados en actividades de divulgación, en el diseño de cartografías técnicas de apoyo a los gestores del Geoparque, en el desarrollo de estudios científicos y en acciones de geoconservación. En conjunto, el SIG ayudará en la toma de decisiones facilitando la identificación y evaluación de alternativas.

Keywords: *database, geopark, management, GIS, methodology.*

Abstract

A database has been created within a geographic information system (GIS) to manage the Courel Mountains UNESCO Global Geopark (NW Spain). The database includes 66 coverages of topographic, geologic, mining, biologic, archaeologic and ethnographic information that may be combined for the elaboration of thematic maps considering purpose and audience. The maps are used for scientific dissemination, technical assistance for the Geopark's management, development of scientific studies and geoconservation actions. Altogether, the GIS-database is a powerful instrument for policy-making, facilitating the identification and evaluation of alternatives.

Diseño de un inventario de lugares de interés geológico para la gestión del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel (España)

Design of an inventory of geosites for the management of the Courel Mountains UNESCO Global Geopark (Spain).

P. Caldevilla[1,2], D. Ballesteros[1,3], R. Vila[1,4], X.C. Barros[1], M. García-Ávila[1,5] y M. Alemparte[1,6].

1 Comisión Científica del Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel. www.courelmountains.es
2 Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas, Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071 León, España. pcald@unileon.es
3 UMR 6266 IDEES, Université de Rouen-Normandie / CNRS. Mont Saint-Aignan CEDEX. daniel.ballesteros@univ-rouen.fr
4 Museo Xeolóxico de Quiroga. Rúa do Courel, 21, 27320 Quiroga. concello.quiroga@eidolocal.es
5 Departamento de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio / Asociación Paleontolóxica Galega, Universidade de Vigo. Campus Universitario Lagoas - Marcosende, 36310 Vigo. manugarcia@uvigo.es
6 Grupo de Desenvolvemento Rural Ribeira Sacra-Courel, Rúa Doctor López Lallana 6, 1ºD, 27340 Bóveda. grupogdr8@yahoo.es

Palabras clave: geoparque, gestión, inventario, LIG, metodología.

Resumen

Los geoparques deben emplear inventarios de lugares de interés geológico (LIG) para la gestión de su patrimonio geológico, la cual está enfocada principalmente al desarrollo sostenible de un territorio. No obstante, la mayoría de metodologías propuestas para la elaboración de inventarios de LIG analizan, además de los valores intrínseco/científico y didáctico/interpretativo, el valor relativo al potencial turístico/recreativo (Pereira y Pereira, 2012; Brilha, 2016). Sin embargo, éste, en ocasiones, no identifica su uso real. En el estudio que se presenta se ha profundizado en la valoración del potencial turístico-recreativo de los LIG estudiados mediante la identificación de su uso potencial y también de su uso real. En este trabajo se propone una metodología basada en trabajos previos, optimizada para la elaboración del inventario de lugares de interés geológico en el Geoparque Mundial de la UNESCO Montañas do Courel. Dicha metodología se apoya en un panel de especialistas y en la base documental multidisciplinar del Geoparque (desarrollada mediante un Sistema de Información Geográfica), e incluye cinco índices principales: Valor Natural, Valor Científico, Uso Público Potencial, Uso Real, y Vulnerabilidad y Riesgo de Degradación. A su vez, el índice de Uso Público Potencial incluye los índices de: Visitabilidad, Promoción Turística-Educativa, Oferta de Servicios, y Otros Intereses. Los valores de los índices se representan mediante distribuciones de frecuencias para facilitar su lectura y cuantificar la evolución de los diferentes índices en el tiempo, especialmente los de uso potencial y real.

Abstract

Geoparks should use inventories of geosites to manage their Geological Heritage. This management is mainly focused on the sustainable development of a territory; however, most of the methodologies designed for the elaboration of LIG inventories analyse, besides the intrinsic/scientific and didactic/interpretative values, the value regarding touristic/recreative potential (Pereira and Pereira, 2012; Brilha, 2016). However, sometimes this does not identify its actual use. In the study presented here, valuation of the touristic-recreative potential of the selected LIG has been thoroughly analysed through the identification of both their potential and natural uses. This work proposes a new methodology based on previous work optimized for the elaboration of the inventory of geosites of the Courel Mountains UNESCO Global Geopark do. This methodology is based on a panel of experts and on the multidisciplinary database of the Geopark (developed through a Geographic Information System), and includes five main indexes: Natural Value, Scientific Value, Potential Public Use, Actual Use, and Vulnerability-and-Degradation Risk. In turn, the Potential Public Use index includes the indexes of: Visiting-Suitability, Tourism and Educative Promotion, Offer of Services, and Other Interests. The values from indexes are represented by frequency distributions to facilitate their reading and to quantify their evolution over time, especially those parameters related to potential and actual uses.

Referencias

Pereira P., Pereira D.I. (2012). Assessment of geosites tourism value in geoparks: the example of Arouca Geopark (Portugal). Proceedings of the 11th European Geoparks Conference, Arouca: 231–232.

Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage* 8, 119–134. https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3

Análisis de inestabilidades de acantilados del Geoparque de la Costa Vasca (Gipuzkoa). Apuntes para una gestión respetuosa en zonas de alto valor geológico

Analysis of cliff instabilities of the Basque Coast Geopark (Gipuzkoa). Notes for a respectful management in areas of high geological value

J.A. Clemente[1], J.A. Uriarte[1], L. Damas Mollá[1], A. Hilario[2], T. Morales[1]

1 Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, 48940 Leioa. jonander.clemente@ehu.eus; jesus.uriarte@ehu.eus; laura.damas@ehu.eus; tomas.morales@ehu.eus

2 Geoparque Mundial de la UNESCO de Costa Vasca, Ifar Kalea, 4, Deba (Gipuzkoa). flysch@gipuzkoa.eus

Palabras clave: Inestabilidades, Patrimonio Geológico, Geoparque, Geoturismo, Gestión Específica

Resumen

El estudio de procesos de inestabilidad en acantilados que presenten un especial valor es fundamental para una gestión adecuada de este patrimonio geológico. Las nuevas metodologías de trabajo utilizan modelizaciones en el análisis de estos procesos a una escala amplia (Sarro *et al.*, 2018). Sin embargo, en este trabajo se presenta una propuesta para el estudio y seguimiento de estas inestabilidades mediante una caracterización de detalle y una modelización de las caídas de rocas, que permite monitorizar de manera focalizada cada zona del área de estudio, localizada en los acantilados costeros de Zumaia, que forman parte del Geoparque de la Costa Vasca (Gipuzkoa). Con el fin de conservar el valor paisajístico de esta zona se trabaja con herramientas de gestión mínimamente invasivas y respetuosas (Morales *et al.*, 2021). Esta zona atrae un geoturismo vinculado a la oferta del Geoparque. Dada la afluencia de más de 100.000 visitantes cada año, es indispensable abordar una serie de actuaciones para controlar y minimizar los riesgos, sobre todo el relativo a la caída de rocas (Crosta and Agliardi, 2004).

Abstract

The study of instability processes in cliffs that present a special value is fundamental for an adequate management of this geological heritage. Novel work methodologies use modeling in the analysis of these processes at a broad scale (Sarro et al., 2018). However, this paper presents a proposal for the study and monitoring of these instabilities through a detailed characterization and modeling of rockfalls, which allows monitoring in a focused way each zone of the study area, located in the coastal cliffs of Zumaia, which are part of the Basque Coast Geopark (Gipuzkoa). In order to conserve the landscape value of this area, we work with minimally invasive and respectful management tools (Morales et al., 2021). This area attracts geotourism linked to the Geopark offer. Given the influx of more than 100,000 visitors each year, it is essential to address a series of actions to control and minimize risks, especially those related to rockfall (Crosta and Agliardi, 2004).

Referencias

Crosta, G.B., Agliardi, F. (2004). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4(4): 583-598.

Morales, T., Clemente, J.A., Damas, L., Izagirre, E., Uriarte, J.A. (2021). *Engineering Geology* 283, 106023

Sarro, R., Riquelme, A., García-Davalillo, J.C., Mateos, R.M., Tomás, R., Pastor, J.L., Cano, M., Herrera, G. (2018). *Remote Sensing* 10 (12), 1923.

Actualización del Inventario de Espacios de Interés Geológico de Catalunya.

Updating Catalan Geoheritage Inventory.

A. de Paz[1], C. Puig[1] y N. Herrero[2]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona. ana.depaz@icgc.cat; carme.puig@icgc.cat
2 Departament de Territori i Sostenibilitat. Provença, 204-208. 08036 Barcelona. nherrero@gencat.cat

Resumen: Veinte años después de su elaboración el Inventario de Lugares de Interés Geológico de Catalunya requiere de una profunda revisión. El avance en las herramientas SIG, la información geológica disponible, las metodologías de elaboración, el marco legal y los nuevos retos reclaman ser incorporados en gestión del patrimonio geológico catalán.

La Estrategia del Patrimonio Natural y la Biodiversidad de Catalunya 2030, aprobada en 2018, considera prioritaria la identificación y el diagnóstico del patrimonio natural, y de manera explícita se refiere a la actualización del IEIGC y a la aprobación de un marco legal para la conservación del patrimonio geológico.

La colaboración entre la Dirección General de Políticas Ambientales del Departamento de Territorio y Sostenibilidad y el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya se ha marcado como objetivo no sólo la actualización del IEIGC con la incorporación de nuevos espacios de interés y la revisión de la valoración de estos siguiendo metodologías de referencia, sino también crear la base de datos asociada dando cumplimento a la Directiva INSPIRE.

Palabras clave: Inventario, patrimonio geológico, INSPIRE

Abstract: *The Catalan Geoheritage Inventory (IEIGC) was done between 1997 and 1999. Twenty years after it requires a deep review. Since GIS applications are widely used and a continuous geological map at a resolution equivalent scale 1:50 000 is available new geological sites delimitation needs to be performed following geological criteria. Furthermore, there are new candidates to be included in the IEIGC.*

The Natural Heritage and Biodiversity Strategy of Catalonia 2030, approved in 2018, considers the identification and diagnosis of natural heritage as a priority, and explicitly, refers to update the IEIGC and to establish a new legal framework for the conservation of its geoheritage.

The collaboration between the Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural (Ministry of Territory and Sustainability) and the Cartographic and Geological Institute of Catalonia started in 2019. The goal to be achieved is not only to update the IEIGC, but also to create a database in compliance with the INSPIRE European Directive.

Keywords: *Inventory, geoheritage, INSPIRE*

EL INVENTARIO DE ESPACIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO DE CATALUNYA

El Inventario de Espacios de Interés Geológico de Catalunya (IEIGC) constituye el instrumento de referencia para la gestión el patrimonio geológico en Catalunya. Identifica, describe, delimita los elementos de interés geológico y diagnostica su estado de conservación y señala, para cada espacio geológico, las principales amenazas. Elaborado con la participación de más de 80 profesionales de las ciencias de la Tierra entre los años 1999 y 2000, actualmente está constituido por 158 localidades de interés geológicos, de las cuales 113 son Geozonas (superficie >1ha) y 45 Geotopos (superficie <1 ha).

En el momento de su elaboración todavía no se contaba con un mapa geológico completo y continuo de todo el territorio y el uso de soportes digitales para la información geo-referenciada (aunque ya tenían un grado de madurez importante) no era tan extendido como hoy en día. En consecuencia, la localización y la delimitación de los espacios presenta algunas deficiencias y no sigue siempre criterios geológicos.

MARCO LEGAL DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO EN CATALUNYA

La Estrategia del Patrimonio Natural y la Biodiversidad de Catalunya 2030 (Generalitat de Catalunya, 2018) considera prioritaria la identificación y el diagnóstico del patrimonio natural, y de manera explícita se refiere a la actualización del IEIGC y a la aprobación de un marco legal para la conservación del patrimonio geológico.

Aunque aún no existan figuras legales específicas para la protección del patrimonio geológico, cabe destacar que aproximadamente el 75% de la superficie de los espacios de interés geológico incluidos en el IEIGC se ubican en Parques Naturales, en Espacios de Interés Natural o en espacios de la Red Natura 2000 (fig.1). Obviamente, los espacios incluidos en Parques Naturales gozan de un grado de protección mayor debido a la regulación más detallada de usos que incluyen sus normas de declaración y planes de gestión.

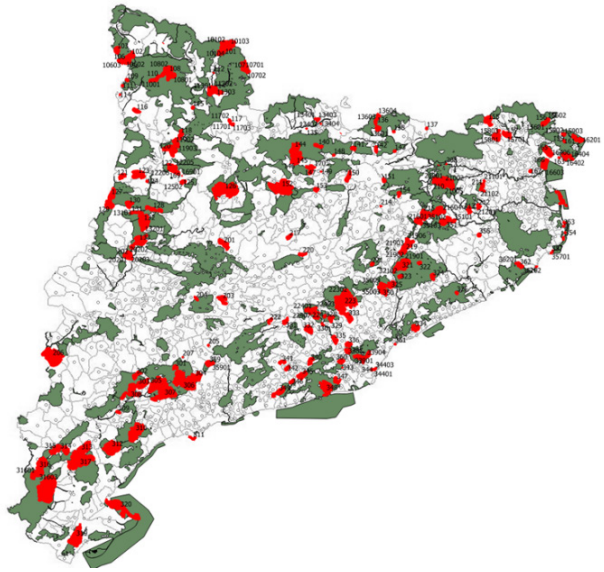


Figura 1. En el mapa pueden observarse en rojo los espacios de interés geológico que incluye el IEIGC vigente y en verde el sistema de espacios naturales protegidos de Catalunya (incluye la red Natura 2000).

Es destacable que, desde el año 2005, la legislación urbanística en Catalunya incluye referencias a la protección del patrimonio geológico en las actuaciones en suelo no urbanizable, en el subsuelo, en la elaboración de los catálogos de bienes protegidos y los planes especiales de protección. La misma ley determina que es el Instituto Geológico de Catalunya (desde 2014, ICGC) el organismo que debe informar los proyectos de actuaciones específicas en suelo no urbanizable sobre la afectación a yacimientos paleontológicos y puntos de interés geológico. Para la valoración de la posible afectación a algún elemento de interés geológico se contrasta la ubicación de la actuación con el IEIGC publicado.

El ICGC también informa en relación a los riesgos geológicos y a la afectación a elementos geológicos de interés en el marco de la tramitación ambiental y urbanística de los instrumentos de planeamiento. Además, la legislación sectorial establece que el Instituto informe los programas de restauración de actividades extractivas. En total, el ICGC valora anualmente en torno a 800 expedientes y emite el correspondiente informe con carácter preceptivo o potestativo y no vinculante.

OBJETIVOS DE LA ACTUALIZACIÓN DEL IEIGC

La actualización del Inventario de Espacios de Interés Geológico de Catalunya responde en primera instancia a la necesidad de dotarnos de una delimitación geológicamente coherente de los espacios de interés. Pasados veinte años desde su elaboración y a la vista de las iniciativas que le han sucedido, el IEIGC debe hacer un ejercicio de revisión de los elementos que lo integran y una puesta al día de los criterios de valoración de los espacios. Disponer de un inventario actualizado y metodológicamente compatible y comparable con otros inventarios es esencial para poder definir estrategias de geo-conservación adecuadas que contribuyan a mejorar la calidad y eficacia de la intervención administrativa, a poner en valor el patrimonio geológico y garantizar su conservación.

El proyecto Global Geosites (2013) y el reconocimiento por parte de la UNESCO de los Geoparques de la Catalunya Central en 2012 y de la Cuenca de Tremp- Montsec en 2018 (actualmente Geoparc Orígens), imponen la necesidad de incorporar nuevos elementos de interés al IEIGC. Así mismo, durante los últimos veinte años, los Parques Naturales han llevado a cabo trabajos de valorización del patrimonio natural y algunos de ellos han elaborado sus propios inventarios, identificando elementos de interés geológico que también deben ser incorporados, como los itinerarios y los puntos de observación. En este tiempo también se ha tenido conocimiento de otras localidades que podrían ser merecedoras de ser incorporadas y se han detectado ámbitos geológicos poco representados en el IEIGC.

Otro de los objetivos es la armonización de la metodología de valoración de los espacios. La aplicación de las recientes metodologías de valoración sistemáticas permitirá comparar resultados entre elementos del inventario y potenciales incorporaciones, así como con otros inventarios autonómicos y estatales.

En la actualidad se dispone de recursos informáticos y cartográficos que facilitan la identificación y delimitación de elementos del territorio. Cabe mencionar que las delimitaciones de los espacios y elementos de interés del nuevo inventario serán establecidas en la medida de lo posible sobre la cartografía geológica, siempre y cuando no se trate de puntos de observación de paisaje o itinerarios. Este requisito responde a la necesidad de que los límites tienen que ser consistentes, ya que el IEIGC es el instrumento de referencia para la valoración de la afectación al patrimonio geológico en la emisión de informes.

Así, el objetivo final será la integración de los conjuntos de información del IEIGC en un entorno SIG con un modelo de datos que responda a las necesidades internas de consulta y explotación, y que facilite su actualización, revisión y publicación. A su vez deberá dar cumplimiento a las especificaciones dictadas para los Lugares Protegidos en la Directiva INSPIRE, y ser compatible con los modelos de datos del Instituto Geológico y Minero de España.

CALENDARIO DE LOS TRABAJOS

Los trabajos previstos para la actualización del Inventario de Espacios de Interés Geológico de Catalunya se incluyen en el Contrato Programa (2019-2023) entre el Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Catalunya y el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya.

Se prevé que la publicación de la actualización del IEIGC pueda realizarse el año 2023, al menos en una primera fase. También se contempla la posibilidad de incluir nuevas capas de información a diferentes niveles que podrían habilitarse más adelante.

CONCLUSIONES

La actualización del Inventario permitirá disponer de información oficial y estandarizada de los elementos de interés geológico que actualmente lo integran. Así mismo, los trabajos previstos establecen una metodología que hará posible su ampliación con la incorporación de nuevos elementos que van siendo recopilados a partir de los inventarios que realizan los Geoparques, los Parques Naturales, los ayuntamientos y las publicaciones de la comunidad científica y divulgativa.

REFERENCIAS

Generalitat de Catalunya (2018) Estrategia del patrimonio natural i la biodiversitat de Catalunya http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/estrategia-catalana-del-patrimoni-natural-i-la-biodiversitat/ (25/02/2020)

Inventari d'espais d'interès geològic http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/inventari_despais_dinteres_geologic/ (25/02/2020)

Patrimonio edáfico de la Región de Murcia. Paleosuelos con horizonte árgico.

Edaphic heritage of the Region of Murcia. Paleosuelos with argic horizon.

M. J. Delgado-Iniesta, P. Marín-Sanleandro, A. Girona Ruiz y A. Sánchez-Navarro

Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Campus de Espinardo. Universidad de Murcia. 30100 Murcia. delini@um.es.

Resumen

En este trabajo se presenta un suelo relicto, formado en unas condiciones climáticas diferentes a las actuales, que se desarrolló a partir de un material metamórfico. Se caracteriza por estar formado por una serie de horizontes edáficos (A1-A2-2BtA-2Bt-2BtCk-2Ck), destacando el horizonte Bt de acumulación de arcillas y óxidos de hierro en forma de hematites que le confieren a este suelo su color rojo característico. Se ha clasificado como un Thapto Luvic Kastanozem (Chromic, Endoclayic) (IUSS, 2015).

Es un suelo policíclico, ya que en él se observan dos ciclos diferentes de evolución. Los procesos que ha sufrido en el ciclo antiguo han sido una descarbonatación, desbasificación, ilimerización, y rubefacción. Posteriormente se erosionó parcialmente y se depositaron sobre él nuevos materiales, que dan lugar al actual horizonte A. Estos estudios pueden contribuir al conocimiento de las condiciones paleoclimáticas a lo largo de la historia, por lo que pueden considerarse estos paleosuelos como indicadores objetivos con un alto valor patrimonial.

Palabras clave: patrimonio edafológico, protección, conservación, suelo rojo mediterráneo, paleosuelo.

Abstract

This paper presents a relict soil, formed in different climatic conditions than the current ones, which was developed from a metamorphic material. It is characterized by being formed by a series of edaphic horizons (A1-A2-2BtA-2Bt-2BtCk-2Ck), highlighting the horizon Bt of accumulation of clays and iron oxides in the form of hematites that give this soil its red color characteristic. It has been classified as a Thapto Luvic Kastanozem (Chromic, Endoclayic) (IUSS, 2015).

It is a polycyclic soil, since it shows two different cycles of evolution. The processes that have suffered in the old cycle have been a decarbonation, debasification, ilimerization, and flushing. Subsequently it was partially eroded and new materials deposited on it, which give rise to the current horizon A. These studies can contribute to the knowledge of paleoclimatic conditions throughout history, so that these paleosols can be considered as objective indicators with a high patrimonial value.

Keywords: *edaphological heritage, protection, conservation, Mediterranean red soil, paleosoil.*

El potencial didáctico del afloramiento granítico de El Berrocal (Geoparque Sierra Norte de Sevilla): procesos sin-magmáticos

Educational potential of the El Berrocal granitic outcrop (Sierra Norte de Sevilla Geopark): syn-magmatic processes

M. Díaz-Azpiroz[1] y M. Castaño[1]

1 Dpto. Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, 41013 Sevilla. mdiaazp@upo.es

Palabras clave: dique sin-plutónico, geoparque, granito, Sevilla, tonalita

Resumen

Una de las geomorfologías más representativas del Geoparque Sierra Norte de Sevilla es la que se desarrolla sobre rocas graníticas (*e.g.*, Moreno *et al.*, 2008) y, sin embargo, el catálogo de lugares geológicos del Geoparque no incluye ninguno que ilustre los procesos magmáticos que intervinieron en la generación de dichas rocas. Para avanzar en este aspecto, en este trabajo se presenta la cartografía de detalle de un afloramiento del granito de El Berrocal (Almadén de la Plata). La calidad excepcional de este afloramiento facilita la observación directa de algunas estructuras magmáticas. La mayor parte del plutón de El Berrocal corresponde a un granito leucocrático, que en el afloramiento estudiado muestra numerosos cuerpos de tamaño centi- a decimétrico de una tonalita. Los contactos lobulados sugieren que ambas fases se encontraban en estado magmático cuando entraron en contacto. El estudio de detalle de estos contactos revela relaciones de viscosidades relativas opuestas, aunque predominan aquellos que indican una mayor viscosidad del magma de composición tonalítica, incluyendo algunos en los que la tonalita parece desarrollar un borde frío, así como estructuras de *back veining* del magma granítico. Todo ello sugiere que en el momento en que se produjo la interacción entre ambos magmas, la temperatura del sistema sería ligeramente inferior a la de inversión de viscosidades entre dos sistemas de composición distinta. Por tanto, consideramos que este es un afloramiento con un gran potencial didáctico para ilustrar procesos ígneos, concretamente, cómo se desarrollaría una zona de interacción magmática generada por la intrusión de un dique sin-plutónico de tonalita en una cámara granítica.

Abstract

One of the most representative geomorphologies of the Sierra Norte de Sevilla Geopark is the one that is developed on granitic rocks (e.g., Moreno et al., 2008) and still, the geosites catalogue of the Geopark does not include any that illustrate about the magmatic processes that took place during the genesis of such rocks. To advance in this issue, we present here the detailed cartography of an outcrop of the El Berrocal granite (Almadén de la Plata). The high quality of this outcrop allows one to directly observe several magmatic structures. The El Berrocal pluton is mostly composed of leucocratic granite, which shows in the studied outcrop several centi- to decimetric bodies of tonalite. Lobulated contacts suggest both phases were in the magmatic state when they get in contact. A detailed analysis of these contacts reveals opposite relative viscosity relationships, although those indicating a higher viscosity of the granitic magma predominate. These include some cooling margins in the tonalite, as well as granite back-veining. These observations suggest that when interaction between magmas occurred, the temperature of the system would be slightly below the viscosity inversion temperature between two systems with different compositions. Therefore, we believe this is an outcrop with a high didactic potential for igneous processes, helpful to show the development of a magmatic interaction zone by the intrusion of a tonalitic syn-plutonic dyke into a granitic magma chamber.

Referencias

Moreno, C., Sáez, R. y González, F. (2008) *Guía Geológica e Itinerarios. Parque Natural Sierra Norte de Sevilla*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 210 p.

Lugares de interés geológico en la costa oeste de la isla de Gran Canaria (municipios de Agaete, Artenara y La Aldea de San Nicolás)

Geosites in the western coast of Gran Canaria Island (Agaete, Artenara and La Aldea de San Nicolás municipalities)

R. B. García-Guerra[1], L. Arencibia-Pérez[1], I. Menéndez[1], L. Quevedo-González[1] y J. Mangas[1]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC, Campus de Tafira 35017 Las Palmas de Gran Canaria. romualdobentorgg@gmail.com, larenp97@gmail.com, inmaculada.menendez@ulpgc.es, luisquevedo.master@gmail.com, jose.mangas@ulpgc.es

Palabras clave: costa, LIG, oeste de Gran Canaria, mioceno, patrimonio geológico

Resumen

En este trabajo se han estudiado diez lugares de interés geológico (LIG) en la costa de los municipios de Agaete, Artenara y La Aldea de San Nicolás, al oeste de la isla de Gran Canaria. Los LIG costeros se han analizado siguiendo el documento IELIG (García-Cortés *et al.*, 2018) y son, de norte a sur: Punta Gorda, La Caleta-Barranco de Agaete, Puerto de Las Nieves, La Laja del Risco (Agaete); Punta de Las Arenas (Artenara); y Andén Verde - Punta La Aldea, Playa La Aldea - Roque Colorado, Guguy, El Descojonado, Playa de Tasarte (La Aldea); y se sitúan en los espacios protegidos emergidos del Parque Natural de Tamadaba, la Reserva Natural de Guguy, el Parque Rural El Nublo, zonas sumergidas de la Franja Marina de Mogán, y la Reserva de la Biosfera de Gran Canaria. En la franja litoral dominan los acantilados de cientos de metros de altura asociados con grandes deslizamientos gravitacionales miocenos cortados por escasos barrancos con playas de cantos y arena. Este litoral, con una extensión de unos 45 kilómetros presenta materiales, morfologías y estructuras volcánicas, y en menor medida, sedimentarias, relacionados con el escudo basáltico (14,5-14,1 Ma), la caldera de Tejeda con la emisión de la ignimbrita P1 (14,1 Ma), y los flujos piroclásticos y lávicos exocaldera del episodio traqui-riolítico (14,1-13,4 Ma) y traqui-fonolítico (13,4-9,3 Ma). Estas formaciones geológicas tan singulares representan las etapas de construcción del escudo insular y de declive alcalino de la isla, lo que nos permite interpretar una parte fundamental en la historia geológica miocena de Gran Canaria como ejemplo de formación de isla oceánica de intraplaca.

Abstract

In this work, we studied a set of ten geosites situated on the coast of Agaete, Artenara and La Aldea de San Nicolás municipalities, in the western Gran Canaria. We analysed through the IELIG method (García-Cortés et al., 2018) the following coastal geosites, from north to south: Punta Gorda, La Caleta - Barranco de Agaete, Puerto de Las Nieves, La Laja del Risco (Agaete); Punta de Las Arenas (Artenara); and Andén Verde - Punta La Aldea, Playa La Aldea - Roque Colorado, Guguy, El Descojonado, Playa de Tasarte (La Aldea). They are located in the emerged protected areas of Tamadaba Natural Park, Guguy Natural Reserve and Nublo Rural Park and in the submerged zones of Franja Marina de Mogán, and the Gran Canaria Biosphere Reserve. This coastal strip shows cliffs hundreds of meters high, linked to giant gravitational landslides and cut by scarce ravines ending in sand and gravel beaches. This coastal strip with an extension of 45 kilometers presents mainly volcanic and, to a lesser extent, sedimentary materials, morphologies and structures from basaltic shield (14.5-14.1 Ma), the Tejeda caldera with the emission of the P1 ignimbrite (14.1 Ma), and the pyroclastic and lavic extracaldera flows of both trachytic-rhyolitic (14.1-13.4 Ma) and trachytic-phonolitic (13.4-9.3 Ma) stages. These unique formations are representative of the Miocene shield-building and alkaline-declining island stages, thus allowing for the interpretation of part of its geological history as an example of oceanic intraplate island growth.

Referencias

García-Cortés, Á.; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E. y Vegas, J. (2018). *Documento Metodológico para la Elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG)*. IGME, ver. 5, act.19, 61 pp.

La necesidad de considerar el patrimonio geológico y la geodiversidad en las canteras históricas. Las canteras romanas de la Región de Murcia

The necessity of considering geological heritage and geodiversity in historical quarries. Roman quarries of the Region of Murcia

F. Guillén-Mondéjar[1], J. A. Antolinos[2], J. M. Noguera[2], J. F. Rosillo[1], B. Soler[2] y M. A. Alías[1]

1 Grupo de investigación de Geología. Dpto. de Química Agrícola, Geología y Edafología. Fac. de Química. Univ. de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Murcia (España). mondejar@um.es

2 Grupo de investigación de Arqueología histórica y patrimonio del Mediterráneo occidental. Dpto. Prehistoria, Arqueología, Historia Antigua, Historia Medieval y Ciencias y Tecnologías Historiográficas. Fac. de Letras, Univ. de Murcia. Campus de la Merced, C/ Santo Cristo, 1. 30001 Murcia (España). noguera@um.es

Resumen: Los trabajos geológicos de canteras históricas comúnmente se basan en estudios clásicos de sus rocas (mineralogía, petrología y propiedades geo-mecánicas) con el único objetivo de conocer la procedencia de la materia prima de los monumentos y/o para la restauración de los mismos. Pero es muy común que estas canteras posean un gran valor histórico por los usos tradicionales de la geodiversidad, y estén protegidas con algunas figuras legales como Bien de Interés Cultural. Además, estas canteras suelen estar en lugares de interés geológico y/o contienen un rico patrimonio geológico mueble e inmueble, que suele pasar desapercibido. Por ello en este trabajo se recomienda la necesidad de considerar en los estudios geológicos de las canteras históricas el enfoque geo-conservacionista, analizando su patrimonio geológico. Además, según la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, se deben incluir en los inventarios de los Conocimientos Tradicionales de la Geodiversidad. Así se ha considerado en el estudio de 20 canteras de origen romano de la Región de Murcia. Catorce de ellas, que se describen en este artículo, poseen un importante patrimonio geológico o están dentro de Lugares de Interés Geológico.

Palabras clave: Región de Murcia, cantera romana, patrimonio geológico, usos tradicionales, geodiversidad.

Abstract: *Geological studies about historical quarries are usually based on classical studies about their rocks (mineralogy, petrology and geo-mechanical properties) with the objective of knowing the origin of the raw material of the monuments and/or for their restoration. However, it is very common that these quarries have great historical value for the traditional uses of geodiversity, being they protected with some legal figures such as Property of Cultural Interest. In addition, these quarries are usually situated in places of geological interest and/or contain a rich geological heritage that usually remains unnoticed. Therefore, in this work it is recommended to consider the geoconservationist approach in the geological studies of historical quarries, analysing their geological heritage. Moreover, according to Law 42/2007, of December 13, on Natural Heritage and Biodiversity, historical quarries must be included in the inventories of Traditional Knowledge of Geodiversity. Thus, 20 quarries of Roman origin in the Region of Murcia have been considered to be studied. Fourteen of them either have an important geological heritage or are situated within places of geological interest and are described in this article.*

Keywords: *Región of Murcia, roman quarry, geological heritage, traditional knowledge, geodiversity.*

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS

Los estudios geológicos de las canteras históricas se han basado principalmente en el análisis mineralógico, petrológico y de las características geotécnicas de sus rocas. A veces con los únicos fines de identificar las canteras con los monumentos que contienen sus rocas o para que puedan volver a servir como materia prima para la restauración de dichos monumentos. Pero no se debe olvidar que, en la mayoría de las ocasiones, estas canteras están en entornos naturales de gran interés y que pertenecen, por sí mismas, al patrimonio histórico. Por tanto, deben ser conservadas y de hecho muchas están declaradas como Bien de Interés Cultural. Por ello sus estudios deben también, o incluso principalmente, considerar esta visión patrimonial, inventariando y realzando todos sus componentes de interés, incluido el patrimonio natural, y en particular el patrimonio geológico. Entendiendo este patrimonio como: "*el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida*" (Art. 3, Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, a partir de ahora LPNB).

Otra visión de las canteras históricas es su realización por parte de nuestros antepasados de una forma artesanal y a pequeña escala, en la mayoría de las ocasiones, y de que la materia prima que se extrae forma parte de la geodiversidad. Esta visión de los usos tradicionales de los recursos geológicos permite que estas canteras deban de ser incluidas en los inventarios nacionales y autonómicos de los conocimientos tradicionales relativos al patrimonio natural y la biodiversidad, que promueve la LPNB en su art. 9. Hay que recordar que en su art. 74, apartado c. dice lo siguiente "*Promoverán la realización de Inventarios de los Conocimientos Tradicionales relevantes para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad y geodiversidad*,". También el Real Decreto 556/2011, de 20 de abril, para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, indica que el inventario español de conocimientos tradicionales costará de: "*La geodiversidad o al aprovechamiento de los recursos minerales (lugares geológicos utilizados para fiestas, tradiciones populares, u origen de leyendas, así como minas y* ***canteras artesanales****, con sus construcciones anexas, como hornos, establecimientos de beneficio, almacenes, etc)*".

Esta visión de que las canteras históricas deben ser consideradas como parte de los conocimientos y usos tradicionales, también la refleja Rosillo Martínez en su tesis doctoral defendida en 2019 y titulada "P*atrimonio Geológico y Usos Tradicionales de la Geodiversidad en la Comarca de Huéscar (Granada)*", donde incluye en el inventario algunas de ellas y define los siguientes conceptos:

Conocimiento y usos tradicionales de la Geodiversidad (CUTG): "*El conjunto de saberes, costumbres, valores, creencias, prácticas y/u oficios artesanales que se transmiten entre generaciones, asociados al conocimiento y/o aprovechamiento tradicional y/o artesanal de los componentes de la Gea, su variedad de elementos geológicos como rocas, minerales, fósiles, suelos, agua, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas, paisajes, procesos geológicos, etc… También las construcciones, elementos, restos o productos asociados, a este aprovechamiento, así como aquellos lugares geológicos utilizados para fiestas, tradiciones populares, u origen de leyendas, que se transmiten por medio de la tradición popular en un entorno local*".

Lugar de Interés por su Conocimiento y Uso Tradicional de la Geodiversidad (LICUTG): "*Aquél lugar inmueble, que su diversidad geológica, su Gea, ha generado, condicionado y/o facilitado su habitabilidad, el modo de vida y la historia de un pueblo, su cultura, religión, leyendas, costumbres y/o tradiciones populares, y/o que contiene manifestaciones, elementos o restos asociados a la actividad humana por el aprovechamiento artesanal y tradicional de sus recursos geológicos*".

El Grupo de Investigación de Geología de la Universidad de Murcia participó en el proyecto de investigación "*Recursos, explotación y empleo de materiales pétreos en la Región de Murcia durante época Romana*", además de con los estudios clásicos de geoarqueología, con esta doble vertiente, patrimonio y tradición. Se han estudiado 20 canteras romanas, en cuyos informes técnicos siempre se han considerado en su descripción y recomendaciones los valores del patrimonio geológico. En este trabajo se hace una descripción sucinta de las 14 canteras con mayor interés geológico.

CANTERAS ROMANAS MURCIANAS Y SU PATRIMONIO GEOLÓGICO

Con la visita a las canteras romanas distribuidas en los poco más de once mil km^2 que ocupa la Región de Murcia, se puede disfrutar de una diversidad geológica de las más importantes de España, que con sus recursos (variabilidad de rocas y minerales explotados por los romanos), relieve, procesos geológicos, etc., ha condicionado la evolución e historia del ser humano, incluyendo sus oficios tradicionales. Por tanto, las canteras las podemos utilizar con fines educativos, para enseñar la diversidad geológica de la Región de Murcia, para conocer su historia geológica y de todo el planeta, desde el Paleozoico hasta el Pleistoceno, pues se encuentran distribuidas en la mayoría de las unidades geológicas. Se han estudiado canteras de las zonas Internas (complejos Nevado-Filábride y Alpujárride), de las cuencas néogeno-cuaternarias (en las centrales, marinas del Mioceno superior y en las del sur, marinas y continentales, plio-cuaternarias) y también canteras situadas en los afloramientos de los tres episodios volcánicos principales en la Región de Murcia (Pérmico-Triásico, Mioceno y Plio-Pleistoceno). También tienen un interés científico, pues algunas de ellas se sitúan y permiten ver los contextos geológicos de relevancia internacional descritos en el anexo VIII-II de la LPNB. Otras incluso están situadas dentro de los Lugares de Interés Geológico (LIG) inventariados (Arana *et al.*, 1999 y 2009, y Guillén-Mondéjar, *et al.*, 2018) y otras están en entornos geológicos de alto valor, que incluso deberían considerarse como propuestas de nuevos parques regionales o incluso Geoparques de la UNESCO. Se hace aquí un resumen de las 14 canteras más relevantes por su patrimonio geológico:

Cabezo Gordo (Torre Pacheco). Mármoles del Pérmico-Triásico del Nevado-Filábride. Situada en el Paisaje Protegido homónimo, que se considera un LIG por su serie estratigráfica, yacimiento de magnetita, por sus fósiles de Neanderthal (Sima de las Palomas) y por su patrimonio minero (Arana *et al.*, 1999). Apenas quedan restos de canteras romanas por actividades posteriores.

Cabezo Mingote (Cartagena). Calizas y diabasas triásicas del Alpujarride. Presencia de uno de los mejores ejemplos documentados de huellas de extracción tradicional en canteras romanas mediante la inserción de cuñas. Arana *et al.* 1999, proponen este enclave como lugar de interés geológico por su gran interés petrológico y tectónico como ejemplo tipo de las intrusiones de rocas básicas en materiales béticos. Se observan las relaciones con las rocas encajantes, los fenómenos de contacto y las mineralizaciones tardías asociadas, particularmente anfíboles de la serie tremolita-actinolita y óxidos de hierro. Se requiere una urgente actuación de limpieza de la cantera de diabasas.

El Carmolí (Cartegna). Andesitas del volcanismo calcoalcalino potásico neógeno. Incluidas en un LIG por su petrología y morfología volcánica (Arana *et al.*, 1999) podría representar el contexto de interés internacional "*Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica*". Incluido en el Paisaje Protegido de Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor.

Cabezo Beaza (Cartagena). Andesitas del volcanismo calco-alcalino potásico y shoshonítico neógeno. Domo sub-volcánico, muy próximo a afloramientos volcánicos del Cabezo de la Fraila, de la misma composición, el cuaternario de la Viuda y ultra-potásico de La Aljorra. Toda la base del Cabezo está muy afectada por escombros y restos de utensilios de las canteras modernas, se recomienda limpiar todo el perímetro y diseñar un recorrido interpretativo.

Canteras y Loma de Canteras (Cartagena). Espectaculares canteras situadas en la cuenca cenozoica de Mastia. Se extrajo la denominada arenisca "tabaire" del Messiniense. LIG por sus depósitos de playa, tormentitas y mareas, fósiles marinos, sus taffonis, etc. Fueron utilizadas recientemente como vertedero.

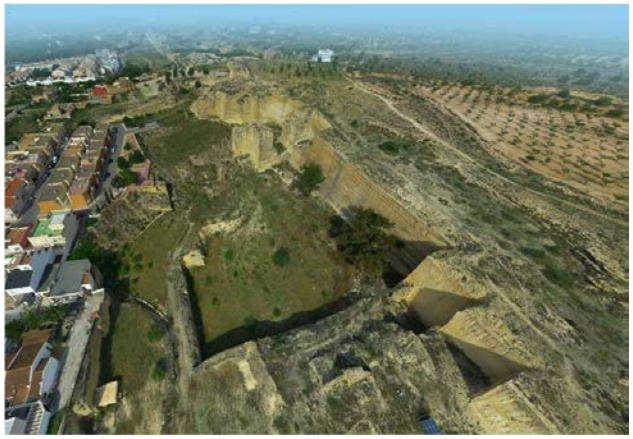


Figura 1. Canteras romanas de la pedanía homónima (Cartagena).

Fuente de la Pinilla (Fuente Álamo-Mazarrón). Areniscas de depósitos litorales miocenos. Interés por sus yacimientos de fósiles marinos, rocas metamórficas, morfología fluvial, usos tradicionales de la geodiversidad por sus galerías hidráulicas con lumbreras. Canteras muy bien conservadas.

Torralba (Lorca). Areniscas de depósitos costeros del margen norte de la cuenca neógena de Lorca. Interés por sus estructuras sedimentarias, sus restos de fósiles, la geomorfología de los Calares y el barranco del Madroño. Muy bien conservadas.

Rambla de la Canteras (Lorca). Areniscas y biolititas coralinas del Tortoniense superior-bajo. Existen dudas si las canteras más antiguas pueden ser romanas. LIG excepcional por su edificio coralino, depósitos deltáicos, yacimientos de Crasostraea crassisima, espejos de fallas normales, etc. merecedor de ser declarado Monumento Natural. Catalogado como LIGMU 18 "*Confluencia ramblas de las Canteras y Hortillo con el Río Guadalentín*" de interés nacional (Arana *et al.*, 2009). Perfectamente conservadas las canteras y su entorno, aunque hay expolio de fósiles.

Ermita de La Encarnación (Caravaca de la Cruz). Areniscas litorales miocenas de la cuenca neógena de Terragoya. Entorno propuesto como LIG por el Estrecho, el yacimiento paleontológico Neanderthal de Cueva Negra, yacimientos paleontológicos, estructuras sedimentarias, mineralizaciones cretácicas de bario-estroncio, etc. Varias canteras, en la ermita templaria y santuario romano que incluso están musealizadas.

Sierra del Baño (Fortuna). Areniscas y conglomerados litorales y deltaicos del norte de la cuenca neógena de Fortuna-Mula. Cantera situada junto al santuario-balneario romano homónimo. Además del interés del agua termal, las rocas presentan bioturbaciones y otros fósiles. Incluida en un contexto geológico que, por sus excepcionales arrecifes y su morfología submarina original, merece ser declarado Geoparque. Próximo al LIG catalogado LIGMU 16 "*Arrecifes del Cabezo del Desastre*" de interés internacional (Arana *et al.*, 2019). Bien conservadas y existe un plan director del yacimiento arqueológico.



Figura 2. Restos arqueológicos del santuario romano de Baños de Fortuna, parcialmente excavado en la arenisca.

Calblanque (Cartagena). Areniscas de paleo-dunas litorales Tirreniense. Situada en el Parque Regional de Calblanque, Monte de la Cenizas y Peña del Águila. Enclave que podría representar el contexto de interés internacional "*Costas de la Península Ibérica*". Propuesto como parque Geológico y LIG por su morfología dunar, geoformas costeras, rocas metamórficas, yacimientos minerales, karst costero, registro climático del Cuaternario, patrimonio minero, etc. (Guillén Mondéjar *et al.*, 2017). Bien conservadas.

Punta del Cigarro (Águilas). Areniscas de paleodunas litorales del Tirreniense, con interés científico ya que permiten conocer la evolución de las costas y los cambios climáticos del Mediterráneo occidental. Su geomorfología, casi un tómbolo con la Isla del Fraile, la diversidad de contextos geológicos, los ejemplos de fallas y pliegues de los acantilados paleozoicos y sus mineralizaciones de hierro, son

algunos contenidos que avalan este entorno como nuevo LIG del litoral murciano. Canteras bien conservadas.



Figura 3. En el centro canteras de areniscas pleistocenas de la Punta del Cigarro. Al fondo la Isla del Fraile y sus restos arqueológicos, con arcillas rojas y dolomías triásicas del Maláguide y calizas del Mioceno inferior. En primer plano los esquistos paleozoicos del Alpujárride.

Cabezo de la Almagra (Mula). Travertinos de origen fluvio-palustre afectados por aguas termales del Pleistoceno. Cantera situada en el bello entorno semiárido de los Baños de Mula, la cantera está incluida en el LIGMU-32 "*Geodiversidad de La Puebla y Los Baños de Mula*", de interés internacional por contenido estratigráfico, sedimentológico, geomorfológico, paleontológico, tectónico, petrológico-geoquímico, minero-metalogenético, hidrogeológico y edificios singulares por la roca de construcción (Guillén-Mondéjar *et al.*, 2018 y Mahillo Calle, 2019). Apenas quedan restos romanos por explotaciones modernas.



Figura 4. Cabezo de la Almagra (Mula), donde se sitúan el poblado y las canteras romanas de travertinos rojos hidrotermales.

Cabezo de la Viuda (Cartagena). Cantera de basaltos originados hace 2,6 millones de años situada en un LIG por pertenecer a las últimas emisiones volcánicas de la Cordillera Bética. Catalogado como LIGMU 11 de interés nacional (Arana *et al.*, 2009). Afloramiento que podría representar el contexto geológico internacional "*Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica*". Desgraciadamente con fecha redacción de este trabajo no es visitable por los problemas de contaminación fosfo-yesos del entorno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al proyecto "*Recursos, explotación y empleo de materiales pétreos en la Región de Murcia durante época Romana*", financiado por la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

REFERENCIAS

Arana, R., Rodríguez Estrella, T., Mancheño, M.A., Guillén-Mondéjar, F., Ortíz Silla, R., Fernández, M.T., Del Ramo, A. (1999) *El patrimonio geológico de la Región de Murcia*, Fundación Séneca, Murcia. 399 p.

Arana, R., Guillén-Mondéjar, F., Mancheño, M.A., Manteca, J.I., del Ramo, A., Rodríguez Estrella, T., de Santisteban, C. y Romero, G. (2009): *Actualización del inventario de lugares de interés geológico en la Región de Murcia*. Consejería de Agricultura y Agua. 254 pp. En Región de Murcia Natural.

Guillén-Mondéjar J.F., Alías Linares, A., Antolinos Marín, J.A., Del Ramo Jiménez, A., Noguera Celdrán, J.M., Romero Sánchez, G. Rosillo Martínez, J.F. y Soler Huertas, B. (2017): Patrimonio minero y usos tradicionales de la geodiversidad en Espacios Naturales Protegidos. Las canteras romanas de la costa de Calblanque (Murcia) En: *Minería del pasado: proyecto de futuro* (J.M. Mata-Perelló y M. A. Hunt Ortiz, eds.). SEDPGYM, 437-461.

Guillén-Mondéjar, F., Romero Sánchez, G., Alías Linares, Mª A., Rosillo Martínez, J.F., Manteca Martínez, J. I., de Santisteban Bové, C., Martínez Díaz, J. J., Pérez Salgado, B., Arrufat Milán, L., Navarro Sequero, A. y López Sandoval, M. (2018): *Actualización del inventario de Lugares de Interés Geológico de la Región de Murcia 2018*. Consejería de Empleo, Universidades, Empresa y Medio Ambiente. 337 p.

Mahillo Calle, A. (2019). P*uesta en valor del Patrimonio Geológico de los Baños de Mula. Trabajo Fin de Máster Áreas Protegidas, Recursos Naturales y Biodiversidad.* Universidad de Murcia, 57 p.

Rosillo Martínez J.F. (2019): *Patrimonio Geológico y Usos Tradicionales de la Geodiversidad en la Comarca de Huéscar (Granada)*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Escuela Internacional de Doctorado. 1061 p.

Participación de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España en la Ley 21/2015, por la que se modifica la Ley 43/2003 de Montes

Participation of the Commission on Geological Heritage of the Geological Society of Spain in Law 21/2015, which modifies Law 43/2003 of Forest

F. Guillén-Mondéjar, E. Díaz-Martínez, N. Herrero, J. Lorente, J.M. Mata, M. Monge-Ganuzas, J.C. Utiel

Junta Directiva de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España. Facultad de Ciencias, Univ. de Salamanca. Plaza de la Merced s/n. 37008 Salamanca. mondejar@um.es

Resumen: La Sociedad Geológica de España a través de su Comisión de Patrimonio Geológico, participó activamente en la tramitación de la Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. Los resultados fueron agridulces pues, de las 28 enmiendas que se presentaron al anteproyecto de Ley, solo se aceptó parcialmente una de ellas, que en su Artículo 13 dice que los Lugares de Interés Geológico pueden ser catalogados de utilidad pública. Prácticamente todas las demás enmiendas fueron asumidas por los partidos políticos de la oposición que las presentaron en el trámite parlamentario: en el Congreso de los Diputados (Boletín Oficial de las Cortes, 10-A-182-2, de 7/5/2015) y en el Senado (Boletín Oficial de las Cortes, 541, de 15/6/2015). A pesar de ello, en las votaciones finales en el Congreso de los Diputados, todas nuestras propuestas fueron rechazadas. En esta comunicación se presentan las propuestas más importantes y su justificación.

Palabras clave: Ley de Montes, Sociedad Geológica de España, enmiendas, patrimonio geológico.

Abstract: *The Spanish Geological Society through its Geoheritage Commission actively participated in the draft of Law 21/2015, of July 20, which modifies Law 43/2003, of November 21, of Forestry. The results were bittersweet because, from the 28 amendments that were submitted, only one of them was partially accepted: the 13th article now says that Geosites can be listed as a public utility. Nevertheless, the opposition political parties that presented the amendments during the parliamentary process had adopted practically all other amendments, both in the Chamber of Deputies (Official Gazette of the Courts, 10-A-128-2, dated 7/5/2015), and in the Senate (Official Gazette of the Courts, 541, dated 6/15/2015). However, during the final vote in the Chamber of Deputies, all our proposals were rejected. This article summarizes the proposals presented and their justification.*

Keywords: *Forestry Law, Spanish Geological Society, amendments, geological heritage.*

INTRODUCCIÓN

La Sociedad Geológica de España a través de su Comisión de Patrimonio Geológico, ha participado activamente, desde 2007, en varias leyes que han marcado un antes y un después en la conservación del patrimonio geológico. Aquí se presenta su actuación en la tramitación de la Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. Los resultados fueron agridulces pues, de las 28 enmiendas que se presentaron al anteproyecto de Ley, solo se aceptó parcialmente una de ellas, enmienda que en su Artículo 13 dice que los Lugares de Interés Geológico (LIG) pueden ser catalogados de utilidad pública (ver enmienda 11). Prácticamente todas las demás enmiendas fueron asumidas por los partidos políticos de la oposición que las presentaron en el trámite parlamentario: en el Congreso de los Diputados (Boletín Oficial de las Cortes, 10-A-182-2, de 7/5/2015) y en el Senado (Boletín Oficial de las Cortes, 541, de 15/6/2015). A pesar de ello, en las votaciones finales en el Congreso de los Diputados, todas nuestras propuestas fueron rechazadas.

JUSTIFICACIÓN DE LAS ENMIENDAS

La biodiversidad y los hábitats ligados a los sistemas naturales, espacios forestales y de la Red Natura 2000, deben su existencia a su geodiversidad y a los procesos geológicos. Por ejemplo, los sistemas orgánicos están sustentados por el medio geológico (también atmosférico u oceánico), a cuya dinámica están adaptadas las comunidades biológicas. En el suelo, en el ciclo del carbono e hidrológico influye la geodiversidad, por lo que la restauración, conservación y beneficios ambientales de los hábitats necesitan de un conocimiento de la naturaleza y dinámica del sustrato geológico. Entre el sustrato y los organismos de todo el planeta existe un flujo permanente de materiales y de energía que es lo que se denomina el flujo del sistema Tierra. La primera percepción del visitante de los espacios forestales es su paisaje, que tiene su base en las características y dinámica

del sustrato geológico en el que se asientan los organismos. Los espacios forestales y de la Red Natura 2000 suelen estar situados en contextos geológicos que poseen un patrimonio geológico muy importante, incluso a escala mundial, cuya integración justifica su conservación, pero que por desgracia en la mayoría de los casos es desconocido. En ocasiones contienen o se sitúan en ellos enclaves con un patrimonio cultural muy relevante, por ejemplo, el patrimonio minero. Tanto el patrimonio natural como el cultural son recursos científicos, educativos y turísticos que están en auge en España y en el mundo entero, siendo una herramienta novedosa que se está utilizando eficazmente para la conservación de la naturaleza y el desarrollo económico de los habitantes del medio rural. Sin embargo, en las políticas de gestión de los montes, de su forestación y reforestación, no se ha considerado adecuadamente la diversidad geológica y su patrimonio geológico. Existen muchos ejemplos de lugares de interés geológico que han sido destruidos por actuaciones que no tuvieron en cuenta la conservación de los valores geológicos (Figuras 1 y 2.)



Figura 1. Volcán de rocas ultrapotásicas del Salmerón (Moratalla-Murcia), de interés internacional, afectado por la reforestación.



Figura 2. Yacimiento paleontológico de ammonites del Jurásico (Sierra de Lugar, Fortuna-Murcia) destruido por repoblaciones forestales.

ENMIENDAS PRESENTADAS

Se resalta en cursiva las inclusiones propuestas en el texto del proyecto de Ley.

Enmienda 2: Añadir en el artículo (art.) 3 de la Ley 43/2003: Principios que inspiran esta Ley, en la letra g: geodiversidad y paisaje.

g) La integración en la política forestal española de los objetivos de la acción internacional sobre protección del medio ambiente, especialmente en materia de desertificación, cambio climático, biodiversidad, *geodiversidad y paisaje*.

Enmienda 3: Añadir en el art. 3 de la Ley: Principios que inspiran esta Ley, una nueva letra:

m) *La conservación y mejora de la diversidad geológica, especialmente de su patrimonio geológico, de sus suelos y sus acuíferos y del paisaje.*

Enmienda 5: Incluir en el art. 5 (concepto de monte) otra letra: Tienen también la consideración de monte:

e) *Los terrenos con cualquier tipo de geomorfología y litología, que posean una diversidad biológica y geológica, y un patrimonio natural relevantes.*

Enmienda 6: Modificar el art. 6 de la Ley 43/2003 (Definiciones), en su letra e, por lo siguiente:

e) Gestión forestal sostenible: la organización, administración y uso de los montes de forma e intensidad que permita mantener *su geodiversidad*, su biodiversidad, productividad, vitalidad, potencialidad y capacidad de regeneración, para atender, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes en el ámbito local, nacional y global, y *sin producir daños a los sistemas naturales, al patrimonio natural, tanto geológico y biológico, ni al patrimonio cultural*.

Enmienda 7: Añadir en el art. 6 (Definiciones), en su letra (n) lo que está cursiva:

n) Proyecto de ordenación de montes: documento que sintetiza la organización en el tiempo y el espacio de la utilización sostenible de los recursos forestales, maderables y no maderables, en un monte o grupo de montes, para lo cual debe incluir una descripción pormenorizada del terreno forestal en sus aspectos ecológicos, *geológicos, patrimonio natural y cultural*, legales, sociales y económicos y, en particular, un inventario forestal con un nivel de detalle tal que permita la toma de decisiones en cuanto a la selvicultura a aplicar en cada una de las unidades del monte y a la estimación de sus rentas *compatibles con la conservación del patrimonio natural y cultural*.

Enmienda 8: Añadir en el art 6 (Definiciones) nuevas definiciones (tomadas en parte de la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y la Biodiversidad, LPNB):

r) *Conservación del Patrimonio Natural de los montes: Conjunto de bienes y recursos de la naturaleza fuente de diversidad biológica y geológica, que tienen un valor relevante medioambiental, paisajístico, científico o cultural y que debe considerarse en la ordenación de los montes*.

s) *Geodiversidad o diversidad geológica según LPNB.*

t) *Sistemas naturales: zonas terrestres o acuáticas diferenciadas por sus características abióticas y bióticas, tanto si son enteramente naturales como seminaturales.*

u) *Recursos naturales según LPNB.*

v) *Patrimonio Geológico según LPNB.*

w) *Patrimonio cultural de los montes: yacimientos arqueológicos, conjuntos históricos, minas y restos mineros de interés patrimonial, pinturas rupestres, lugares con usos, Leyendas y costumbres tradicionales, o cualquier otro acervo cultural de la sociedad situado en nuestros montes.*

x) *Lugar de Interés Geológico (LIG): Territorio que presenta un elevado valor en relación con alguna de las disciplinas de la geología y que ha sido elegido siguiendo la metodología propia del estudio del patrimonio geológico.*

Enmienda 9: Añadir en el párrafo 9 del proyecto de Ley para la letra a) del párrafo 2 del art. 7, dos documentos más:

6. *Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (Real Decreto 556/2011).*

7. *Programa de desarrollo rural sostenible (Ley 45/2007).*

Enmienda 10: Añadir al art. 7 una nueva letra en el apartado 2:

2. Asimismo, corresponden a la Administración General del Estado, en colaboración con las comunidades autónomas y sin perjuicio de sus competencias en estos ámbitos, las funciones que se citan a continuación:

j) *El fomento de la investigación, inventario y medidas de conservación, gestión y uso científico, cultural y turístico del patrimonio natural y cultural de los montes, con el fin de evitar su destrucción y fomentar el desarrollo rural y forestal sostenible.*

Enmienda 11: Añadir en la modificación 17 apartado e del art. 13: montes de utilidad pública:

e) Los que contribuyan a la conservación de la diversidad biológica y geológica a través del mantenimiento de los sistemas *naturales*, la protección de la *gea*, flora y la fauna o la preservación de la diversidad genética y, en particular, los que constituyan o formen parte de espacios naturales protegidos, ***lugares de interés geológico***, zonas de especial protección para las aves, zonas de especial conservación u otras figuras legales de protección, así como los que constituyan elementos relevantes del *patrimonio natural y cultural* y del paisaje.

Sólo lo que aparece en negrita sí fue aceptado.

Enmienda 12: Añadir en el art. 24, declaración de montes protectores (capítulo IV bis, Ley 10/2006), al apartado 1 el texto k: Podrán ser declarados protectores aquellos montes o terrenos forestales de titularidad pública o privada que se hallen comprendidos en alguno de los siguientes casos:

k) *Que contengan o formen parte del patrimonio geológico, biológico, arqueológico, minero y cultural*.

Enmienda 13: Añadir en el Artículo 24 bis, declaración de otras figuras de especial protección de montes (capítulo IV bis, Ley10/2006), al apartado 1:

1. Las comunidades autónomas podrán establecer otras figuras de especial protección de los montes de titularidad pública o privada que presenten, entre otras, algunas de las siguientes características:

a) Que contribuyan a la conservación de la diversidad biológica *geológica*, a través del mantenimiento de los sistemas ecológicos y *naturales*, la protección de la *gea*, flora y la fauna o la preservación de la diversidad genética, *de los lugares de interés geológico y cultural*.

b) Que constituyan o formen parte de espacios naturales protegidos, áreas de la Red Natura 2000, reservas de la biosfera, *Geoparques* u otras figuras legales de protección, o se encuentren en sus zonas de influencia, así como los que constituyan elementos relevantes del paisaje.

Enmienda 15: Añadir en la modificación 35 anteproyecto de Ley, párrafo 1 art. 28:

1. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente coordinará con los demás órganos competentes de la Administración General del Estado y las comunidades autónomas la elaboración de la Estadística forestal española, que incluirá las siguientes materias:

b) El Inventario nacional de erosión de suelos y el *Mapa de suelos del Proyecto de Lucha Contra la Desertificación del Mediterráneo (LUCDEME)*.

j) La diversidad biológica y *geológica* de los montes de España.

k) Estado de protección y conservación de los principales *sistemas naturales, patrimonio natural y cultural,* ecosistemas y especies forestales, españoles y efectos antrópicos y del cambio climático en los mismos.

n) *Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (Ley 42/2007).*

ñ) *Inventarios regionales y locales del patrimonio natural y cultural de los montes.*

p) *Inventarios de riesgos y recursos naturales de los montes.*

q) *Cartografías geológicas y geoambientales de los montes.*

Enmienda 17: Añadir al apartado 6 del art. 3 de la Ley 43/20031 en los párrafos a, b y h:

6. Las comunidades autónomas, a propuesta de su órgano forestal, elaborarán y aprobarán los PORF y determinarán la documentación y contenido de estos que, con independencia de su denominación, podrán incluir los siguientes elementos:

a) Delimitación del ámbito territorial y caracterización del medio físico, *geológico* y biológico.

b) Descripción y análisis de los montes y los paisajes existentes en ese territorio, sus usos y aprovechamientos actuales, en particular los usos tradicionales, así como las figuras de protección existentes, incluyendo las vías pecuarias,

y otros lugares de interés natural y cultural como los lugares de interés geológico y sus yacimientos paleontológicos y mineralógicos, y el patrimonio minero y arqueológico.

h) Establecimiento de las directrices para la ordenación y aprovechamiento de los montes, garantizando que no se ponga en peligro la persistencia de los ecosistemas, *sistemas naturales, el patrimonio geológico y cultural* y se mantenga la capacidad productiva de los montes.

Enmienda 19: Modificación del punto 43 del proyecto de modificación de la Ley en su apartado a y añadir un nuevo apartado c.

Cuarenta y tres: El párrafo 2 del Artículo 32 queda redactado de la siguiente forma:

2. El Gobierno…aprobará las directrices básicas comunes de gestión forestal sostenible en relación con los siguientes aspectos:

c. *La adaptación de las iniciativas de conservación, uso y gestión de los montes, incluida su forestación y reforestación, a primar la conservación del patrimonio natural, geológico y biológico, y su patrimonio cultural, minero y arqueológico*.

Enmienda 20: Modificación del punto 46 del proyecto de modificación de la Ley:

Cuarenta y seis. El párrafo 4 del Artículo 33 queda redactado de la siguiente forma:

4. El contenido mínimo de los proyectos de ordenación de montes y planes dasocráticos se determinará… establecidas en el Artículo 32 de esta Ley. La elaboración de estos instrumentos **se** *hará con equipos multidisciplinares de expertos en los componentes geológicos y biológicos de los montes* y…

Enmienda 21: Modificación del punto 48: del proyecto de modificación de la Ley:

Cuarenta y ocho. El Artículo 34 queda redactado de la siguiente forma: "Artículo 34. Gestión de montes catalogados y montes protectores.

1. Los montes catalogados y los montes protectores declarados… se evitará, en su caso, la fragmentación ecológica de los montes y *la destrucción de su patrimonio natural geológico y biológico y cultural*, y se aplicarán métodos silvícolas que persigan prioritariamente la *recarga de acuíferos*, el control de la erosión, del peligro de incendio, de los daños por nieve, vendavales, inundaciones y riadas, *movimientos de ladera* o de otros riesgos para las características protectoras del monte.

2. Los montes catalogados y los montes protectores… se gestionarán para garantizar su mantenimiento en un estado de conservación favorable o, en su caso para la restauración, *de los valores naturales geológicos y biológicos y culturales* que motivaron dicha declaración."

Enmienda 22: De adición al art. 41 de la Ley 43/2003, de un nuevo párrafo:

Artículo 41. Plan Nacional de Actuaciones Prioritarias de Restauración Hidrológico-Forestal y Programa de Acción Nacional contra la Desertificación.

5) *El plan nacional de actuaciones prioritarias de restauración hidrológico-forestal y el programa de acción nacional contra la desertificación, deberán considerar y conservar los valores de los procesos naturales, el patrimonio natural, biológico y geológico, y cultural, el paisaje, de las zonas afectadas para evitar su deterioro, modificación o destrucción.*

Enmienda 23: Modificación del punto 64 del proyecto de modificación de la Ley: Setenta y cuatro. El Artículo 55 queda redactado de la siguiente forma:

2. Las Administraciones públicas fomentarán la investigación forestal *y de los montes*, en particular, promoverán:

a. La transferencia tecnológica de los resultados de la Investigación Forestal, *geológica, biológica y cultural de los montes* a los órganos responsables de la Planificación y Gestión de los montes públicos y privados.

4. *La promoción de la investigación de los procesos y recursos geológicos y biológicos de los montes, y de su patrimonio geológico, biológico y cultural, que conlleven a una conservación integral de la naturaleza, al uso sostenible de sus recursos, y al desarrollo rural acorde con la Ley 45/2007 de Desarrollo Rural Sostenible.*

Enmienda 24: De adición al punto 34 de la Ley 10/2006 de un nuevo párrafo al art. 58 de la Ley 43/2003: Artículo 58. Extensión, policía y guardería forestal.

1. Las Administraciones públicas… deberán desempeñar…, las siguientes funciones…:

a) De policía, custodia y vigilancia para el cumplimiento de la normativa aplicable en materia forestal *y de conservación de la naturaleza*, especialmente las de prevención, detección e investigación de la causalidad de incendios forestales.

c) *De policía, custodia y vigilancia de acciones humanas que perjudiquen la naturaleza de los montes, de su patrimonio natural geológico, mueble e inmueble, y biológico y de los valores culturales, arqueológicos y mineros, especialmente la de prevención y detección del deterioro, destrucción y expolio de sus bienes.*

Enmienda 25: Modificación del punto 69 del proyecto de modificación de la Ley:

Setenta y nueve. El párrafo 2 del Artículo 65 queda redactado como sigue: "2. Para estos incentivos se tendrán en cuenta, entre otros, los siguientes factores:

d. *La conservación, restauración y mejora de la geodiversidad, de sus procesos y lugares de interés geológicos.*

e. *La prevención y mitigación de los riesgos geológicos.*

Enmienda 26: De modificación al punto 89 y 90 del proyecto de modificación que afecta al art. 67 y 68 de la Ley 10/2006, Tipificación y clasificación de las infracciones. Redactar estos dos Artículos para incluir, con la clasificación

de gravedad grave o muy grave, debido a que la alteración del patrimonio natural suele ser irreversible, sobre todo el geológico.

s) *La alteración, deterioro, destrucción, expolio o comercio, pérdida visual del patrimonio natural, geológico y biológico, y cultural, patrimonio arqueológico y minero, presente en los montes, y de los procesos naturales de la geodiversidad y biodiversidad.*

Enmienda 28: De adición al anteproyecto de un disposición adicional o final de modificación de la Ley 42/2007, del 13 de diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad de sus Artículos 75 y 76; Tipificación y clasificación de las infracciones y sanciones.

Se añade al Artículo 76, Tipificación y clasificación de las infracciones un nuevo apartado:

s) La destrucción o deterioro de la geodiversidad, de sus procesos geológicos, de su patrimonio geológico mueble e inmueble y sus lugares de interés geológico, especialmente aquellos incluidos en el Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. La recolección, posesión, comercio, intercambio o exportación de todos los bienes muebles del patrimonio geológico como fósiles, minerales, rocas, meteoritos y en general cualquier elemento de la gea de interés patrimonial, estén o no en espacios naturales protegidos. Salvo en aquellos casos que por razones de investigación y conservación se permita su extracción o posesión temporal, previa la pertinente autorización administrativa.

Se añade esta infracción "s" en el apartado 4b del Artículo 77, Clasificación de las sanciones:

b) Como graves las recogidas en los apartados a), b), c), d) e) y f), si los daños no superan 100.000 €, g), h), i), j) k) l), m), n) y s).

CONCLUSIONES

Tal y como queda de manifiesto en este artículo, es necesario seguir insistiendo ante el poder legislativo español acerca de la necesidad y la importancia de la conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico. La existencia de menciones al respecto en la legislación es lo que puede garantizar la geoconservación en España.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas de los partidos políticos que hicieron suyas nuestras enmiendas.

Visita interpretada a los lagos de Basturs en el Geoparque Orígens

Interpreted visit to th Basturs Lakes in Orígens Geopark

X. Mir Pellicer[1], R. Linares[2], M Zarroca[2], C. Roqué[3], G. Rivas[4]

1 Geoparc Orígens, Plaça de la Creu, 1 25620 Tremp, Lleida. xmir@geoparcorigens.cat
2 Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Cerdanyola del Vallès, Barcelona
3 Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, 17003, Girona
4 Associazione My Life Design, Via Medeghino, 24, 20141 Milano

Palabras clave: Geoparque Orígens, domo de toba, Pirineos, geoturismo, Marte

Resumen

Los lagos de Basturs y la zona del Mont de Conques, situados en el sector central del Geoparque Mundial UNESCO Orígens en los Pirineos Catalanes, representan el modelo más completo de Europa de un complejo de domos de toba calcárea (Linares *et al.*, 2010). Estas son morfologías poco frecuentes ya que su formación requiere de un contexto geológico muy particular, se podrían describir como volcanes de agua, pues consisten en morfologías dómicas autoconstruidas a partir de la precipitación de $CaCO_3$, alrededor de manantiales artesianos que descargan en zonas llanas. Diferentes vías de investigación han permitido generar los contenidos para un recorrido de descubierta alrededor de los lagos de Basturs. El recorrido ha sido equipado con señales y paneles de interpretación con contenidos asequibles dirigidos a todos los públicos. Estos paneles guían a los visitantes a lo largo de un paseo donde se puede aprender de forma gradual y autónoma sobre la geología, flora, fauna e historia de este rincón tan particular y sus alrededores. El inicio del recorrido presenta una cartelera donde se introducen los museos de la zona, el contexto geomorfológico y la relación del complejo con morfologías en Marte (Pellicer *et al.*, 2014). La parada en el Lago Grande presenta la flora y la fauna del entorno, las leyendas asociadas a este y el modelo evolutivo del complejo con su correspondencia con este lago. En el mirador al lago Pequeño se muestran: el modelo evolutivo con su correspondencia con este lago; un corte geológico que ilustra la zona de recarga, descarga y recorrido de las aguas subterráneas; el área que ocupó la lámina de agua de los lagos previo a su drenaje artificial; y una panorámica con topónimos de la zona.

Abstract

The Basturs lakes and the Mont de Conques area, located in the central sector of the UNESCO Orígens Global Geopark in the Catalan Pyrenees, is the most significant tufa mound complex in Europe (Linares et al., 2010). These are rare landforms since their formation require of very particular geological settings. These landforms could be described as water volcanoes, since they consist of self-constructed dome-like morphologies from precipitation of $CaCO_3$ around artesian springs that discharge in flat areas. Research carried out on a range of scientific disciplines made possible to generate the contents to create a discovery tour around the Basturs lakes. The route has been equipped with signs and interpretation panels with easy-to-understand content aimed to all audiences. These panels guide the visitors along a walk where they can gradually and autonomously learn about the geology, the flora, the fauna and the history of this unique site and its surroundings. The tour starting point presents a panel introducing the museums and interpretation centres in the region, the area geomorphological context and the relationship of these tufa mounds with similar landforms on Mars (Pellicer et al., 2014). The stop at the Big Lake presents the flora and fauna of the area, the legends associated with it and an evolutionary model of tufa mound formation with the corresponding stage with the lake. The viewpoint to the Small Lake shows: the evolutionary model again and its correspondence with the lake; a geological section illustrating the aquifer recharge area, the discharge outlets, and the groundwater pathway; the water surface the lakes covered prior to artificial drainage works; and a panoramic with the area place names.

Referencias

Linares, R., Rosell, J., Roqué, C., & Gutiérrez, F. (2010). Origin and evolution of tufa mounds related to artesian karstic springs in Isona area (Pyrenees, NE Spain). *Geodinamica Acta*, 23(1–3), 129–150.

Pellicer, XM., Linares, R., Gutiérrez, F., Comas, X., Roqué, C., Carbonel, D., Zarroca, M., Rodríguez, J. A. P. 2014. Morpho-stratigraphic characterization of a tufa mound complex in the Spanish Pyrenees using ground penetrating radar and trenching, implications for studies in mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 388, 197–210.

[1] www.parc-cretaci.com

Guía geológica del parque nacional de Doñana:una forma de adentrarse en el conocimiento geológico de un espacio natural de alto valor biológico

Geological guide of the Doñana national park: a way to enter into the geological knowledge of a natural space of high biological value

A. B. Pérez Muñoz[1], L. R. Rodríguez Fernández[2] y M. Villalobos Megía[1]

1 NUBIA Consultores, Pedro Antonio de Alarcón, nº 34, 1º, 10, 18002 Granada. anabelenperez@nubiaconsultores.es
miguelvillalobos@nubiaconsultores.es
2 IGME, Río Rosas 23, 28003 Madrid. lr.rodriguez@igme.es

Resumen: La colección de Guías Geológicas de Parques Nacional, iniciada en 2002, se desarrolla en colaboración entre el Instituto Geológico y Minero de España y el Organismo Autónomo Parques Nacionales. Recientemente la colección se ha ampliado, con la edición de Guía Geológica del Parque Nacional de Doñana. El objetivo de esta guía es enseñar a los visitantes que se acercan a este espacio natural, a conocer y profundizar en los paisajes y elementos geológicos de los escenarios naturales que son el soporte del singular mundo biológico que caracteriza a este territorio de la Red de Parque Nacionales. El espacio natural de Doñana ofrece la posibilidad de conocer la evolución geológica de la Cuenca del Guadalquivir, desde el neógeno a la actualidad, pasando de ser una cuenca marina, a estuarina y fluvial. En su interior se acumulan de forma continua cientos de metros de sedimentos que permiten reconstruir su historia geológica. Su situación geográfica ha favorecido la actuación de los agentes geológicos externos que han dado como resultado la formación de paisaje geológicos únicos y dinámicos, incluso a escala humana. Hoy, estos entornos, se conforman como laboratorios naturales que permiten divulgar la geología y el patrimonio geológico, ofreciendo un valor añadido a la demanda social actual más interesada en su biodiversidad.

Palabras clave: Geodiversidad, geoturismo, patrimonio geológico, Parque Nacional de Doñana.

Abstract: *The National Parks Geological Guides collection, which began in 2002, continues to expand its volumes. On this occasion, by including the Geological Guide of the Doñana National Park. We did the work in the framework of a collaboration agreement between the Geological and Mining Institute of Spain and the National Parks Autonomous Organization of Spain. The objective of the guide is to teach visitors of the natural space in order to know and interpret the landscapes and other geological elements of the Park that support its extraordinary biological elements. The natural area of Doñana offers the possibility of knowing the geological evolution of the Guadalquivir Basin, from the Neogene to the present day, from being marine, to become firstly estuarine and latterly riverine. Its geological record accumulates hundreds of meters of sediments that allow reconstructing its geological history. Its geographical location has favored the action of external geological agents, which has resulted in the formation of unique and dynamic geological landscapes, even on a human scale. The National Park is an excellent classroom and natural laboratory that allows the divulgation of geology and geoheritage and offer an added resource to the current social demand more interested in its biodiversity.*

Keywords: *Geodiversity, geoturism, geoheritage, Doñana Nacional Park.*

LOS PAISAJES GEOLÓGICOS DE DOÑANA

En Doñana la geología no es espectacular, pero sí es singular y explícita. Aparentemente constituye un vasto y monótono paisaje de arena y agua de formación muy reciente a escala geológica, es un gran paleo-estuario atlántico reducido hoy a una marisma y a un estuario transformado. Sin embargo, los paisajes de Doñana, además de los extraordinarios recursos ecosistémicos que proporcionan, agua y vida salvaje principalmente, ofrecen un registro geológico muy valioso, de gran valor científico y didáctico.

Doñana representa el mejor geosistema de la Red de Parques Nacionales para la observación y estudio de los procesos sedimentarios litorales y fluvio – litorales y de su relación durante el Cuaternario con la evolución geológica y paleogeográfica de la costa atlántica andaluza, extraordinariamente dinámica desde el punto de vista geomorfológico, incluso a escala humana. En consecuencia, este espacio se ofrece como un excepcional laboratorio natural para el estudio, predicción y prevención de los efectos del cambio climático, especialmente preocupantes en zonas costeras tan extraordinariamente sensibles como ésta.

Los paisajes geológicos de Doñana (Figura 1) se modelan sobre arenas y limos en forma de largos cordones litorales, de amplias playas y extensos campos de dunas, de flechas o barras litorales que cierran los espacios detrás de la playa, que en el sistema actual están ocupados por las marismas del Guadalquivir. Sucesiones estratigráficas que se superponen en el espacio y en el tiempo sobre otras más antiguas y que son a su vez discordantes sobre las potentes

formaciones de arenas deltaicas ligadas a la evolución de la desembocadura del Guadalquivir.

Los datos que proporciona el estudio sedimentológico de estas formaciones, en combinación con otros aportados por análisis geomorfológicos, paleoambientales y geoarqueológicos, permiten reconstruir con precisión la evolución paleogeográfica y paleoambiental más reciente de fachada litoral de la cuenca neógeno-cuaternaria del Guadalquivir, incluyendo, ya en el Holoceno, la evolución más reciente de los escenarios naturales ocupados durante la historia de los inicios de su colonización humana.

ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA GUÍA

La Guía Geológica del Parque Nacional de Doñana, recoge todos estos conceptos y los estructura bajo los mismos bloques temáticos que el resto de los números de la colección.

La primera parte adentra al lector en determinados conceptos básicos de Geología. Éstos incluyen desde una aproximación al tiempo geológico, el ciclo de las rocas sedimentarias, el ciclo del agua, y los sistemas morfodinámicos, con atención al sistema litoral, eólico, las marismas y el fluvio-mareal, que son los que caracterizan la configuración del parque. La segunda parte describe de forma sintética el origen de la cuenca del Guadalquivir, en el contexto de la formación de la Cordillera Bética y el Macizo Ibérico, para terminar, describiendo las diferentes secuencias deposicionales que conforman el relleno de dicha cuenca, a través de datos del subsuelo. La tercera parte, la más extensa de todas, está dedicado exclusivamente al Parque Nacional. Desde las primeras investigaciones geológicas hasta los más recientes estudios en Doñana, han permitido conocer la evolución geológica y geográficas de este espacio natural, y de las civilizaciones que han colonizado estas tierras. Sobre este territorio se han modelado una serie de paisajes naturales únicos y singulares en el contexto de la geografía española desde el punto de vista geológico, que a su vez ha sido la base de un conjunto de ecosistemas que albergue una de la diversidad biológica más importantes de Europa. Las dunas, los acantilados y flechas litorales o las marismas son los escenarios que dan la personalidad a Doñana. Y como denominador común para todo en Doñana: el agua, que recorre la superficie y la que discurre oculta bajo ella. Por último, el bloque recoge los principales usos agrícolas, ganaderos y turísticos que se desarrollan en este espacio natural. La cuarta parte de la guía está formada por los itinerarios que recorren el parque nacional. Se han seleccionado cuatro itinerarios que representan los principales ecosistemas del parque que son coincidentes con los itinerarios oficiales, con el objeto de contribuir a la conservación de este espacio naturales de altísimo valor

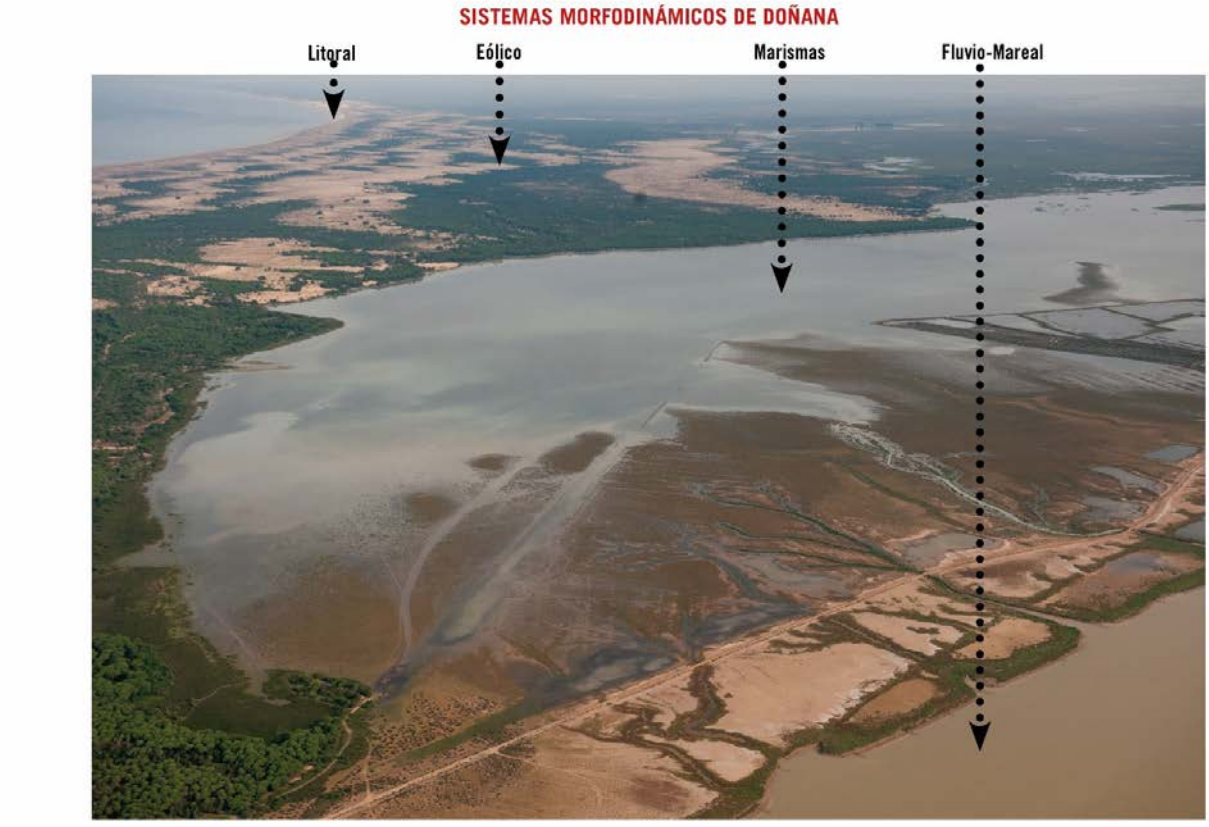


FIGURA 1. Los sistemas morfodinámicos de Doñana. Entorno de las Marismillas a vista de pájaro. (Autor: EBD)

natural. Cada uno de los recorridos se compone de una serie de paradas donde se podrán realizar diferentes observaciones geológicas, que se describen e ilustran mediante fotografías e infografías para facilitar su comprensión. La mayor parte de los recorridos propuestos se apoyan en equipamientos de uso público del parque, como son los centros de visitantes, miradores y servicios para la visita (salida en barco) que además proporcionan información complementaria. Por último, la guía en una quinta parte incluye información útil para el visitante, entre la que se incluye un glosario de términos geológicos más utilizados en la guía, unas referencias bibliográficas generales para profundizar más y un listado de direcciones de interés. La publicación ofrece, además, un mapa geológico sintético del Espacio Natural y su entorno, y un mapa con el trazado de los itinerarios geológicos propuestos.

Esta guía puede adquirirse en los servicios de publicaciones del IGME y OAPN, así como en las webs de librerías especializadas en naturaleza, que la envían al usuario a su domicilio. También está disponible como libro electrónico para su visualización en una web http://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/libros.htm, junto al resto de números de la colección. Esta página web y sus contenidos ha recibido una Mención de Honor en la convocatoria de los premios Ciencia en Acción de 2014 de la Caixa, en la categoría de: ¨Materiales didácticos en soporte no interactivo.

CONCLUSIONES

La edición de la Guía Geológica de Doñana ofrece al visitante unas nociones sobre los aspectos geológicos que caracterizan este espacio natural, que además de su valor en sí mismo para la ciencia, que explica la evolución de la Cuenca del Guadalquivir en los últimos 11.000 años, ha constituido la base física sobre las que se han desarrollado los ecosistemas y biotopos más importantes de Europa.

AGRADECIMIENTOS

Al director, conservador y gerente del Parque Nacional de Doñana. así como al personal del parque por su inestimable ayuda. A los sucesivos directores y subdirectores del OAPN por apoyar esta iniciativa para hacerla realidad. Finalmente, al resto de autores de la Universidad de Huelva y colaboradores de la Estación Biológica de Doñana.

REFERENCIAS

Cuadernos de Campo de Doñana, CSIC - Estación Biológica de Doñana (EBD) (2016). http://www.cuadernos-decampo.es/

Manzano, M.; Martos, C. y Custodio, E. (2009). *Las aguas subterráneas en Doñana: Aspectos ecológicos y sociales,* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (Ed). 246 pp.

Mapa Geológico Digital Continuo a escala 1:50.000 (GEODE)-Cuenca del Guadalquivir y Cuencas Béticas postorogénicas. Año 2009. IGME.

Mapa Hidrogeológico de España escala 1:200.000. Hoja 80/81 Huelva. Año 1982. IGME, Madrid.

Martín Machuca, M.; López Geta, J. A.; López Vílches, L.; Mantecón Gómez, R.; Cantos Robles, R.; Coleto Fiaño, I. (1992). *Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno.* IGME. 64 pp y planos.

Mayoral, E. y Abad de los Santos, M. (2008). *Geología de la Cuenca del Guadalquivir (Neógeno del SO de España).* In: Olías Álvarez, M., (coord..). Geología de Huelva. Lugares de interés geológico, 2ª ed. Huelva, Universidad de Huelva, 20-27.

Pérez Muñoz, A., Rodríguez Fernández, L.R., Villalobos Megía, M., Rodríguez-Ramírez, A y Mayoral, E. (2019).- *Parque Nacional de Doñana. Guía Geológica*. In: Guías Geológicas de Parques Nacionales 13 (Rodríguez Fernández, L.R editor.). Madrid. Instituto Geológico y Minero de España; Organismo Autónomo Parques Nacionales. 240 pp; 93 ils.;

Rodríguez-Ramírez, A. (2008). *Geomorfología del Parque Nacional de Doñana*. En Geología de Huelva: Lugares de interés geológico. Universidad de Huelva (Ed). 146-152.

Rodríguez-Ramírez, A. y Mediavilla, C. (2017). Doñana. (En) *La Geología de los Parques Nacionales Españoles*. (Eds) Durán Valsero, J.J.; Martín-Serrano, A; Robador Moreno, A.; Rodríguez Fernández, L. R. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)/Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN). ISBN: 978-84-8014-904-4. 359-379.

La cantera de piedras de molino de Pardos, Geoparque de Molina-Alto Tajo (Guadalajara, España)

The Pardos´ millstone quarry, Molina-Alto Tajo UNESCO Global Geopark (Guadalajara, Spain)

M.A. Perucha[1], M.A. Rodríguez-Pascua[1], J. Luengo[1], T. Sánchez García[1] y L.A. Larriba[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España. ma.perucha@igme.es; ma.rodriguez@igme.es; t.sanchez@igme.es; j.luengo@igme.es

2 Escuela de Folklore. Diputación de Guadalajara. Paseo Dr. Fernández Iparraguirre, 24, 19001-Guadalajara (España)

Palabras clave: Cantera, piedras de molino, Geoparque Molina-Alto Tajo, etno-geología, Lugar de Interés Geológico.

Resumen

El estudio de los molinos domésticos tiene un gran interés desde una perspectiva arqueológica y geológica porque están relacionados directamente con la actividad económica y alimentaria del ser humano. Además, son elementos materiales que aparecen desde el Neolítico hasta épocas muy recientes. Los estudios enfocados a determinar la materia prima con que fueron elaborados, el lugar de procedencia de ésta y cómo fue extraída y manufacturada tienen un desarrollo muy diferente a lo largo del territorio peninsular. En el caso del territorio celtibérico prácticamente no hay estudios al respecto. En este trabajo presentamos el estudio de las rocas de una cantera de piedras de molino localizada cerca de la localidad de Pardos, dentro del Geoparque Mundial de la UNESCO de la Comarca de Molina-Alto Tajo (Guadalajara, España). Se trata de un afloramiento de rocas volcánicas, mayoritariamente tobas riolíticas, de edad pérmica (Ramos, 1979; Sopeña *et al.*, 1995) en las que se observa disyunción columnar. En la cantera se aprecia claramente cómo el ser humano ha empleado el conocimiento etno-geológico para extraer el material, aprovechando las propiedades texturales y estructurales del cuerpo rocoso de origen volcánico. Dado que además del interes arqueológico y etnográfico el afloramiento muestra un importante valor asociado a la petrología y a la morfología volcánica, este yacimiento podría ser considerado como un Lugar de Interés Geológico (Fernández-Martínez y Díaz-Martínez, 2015).

Abstract

The study of domestic millstone is of great interest from archaeological and geological perspectives because they are directly related to the economic and food activities of the human being. In addition, millstones are material elements that appear from Neolithic to very recent times. The studies focused on determining the raw material with which they were made, the place of origin of this and how it was extracted and manufactured have a very different development throughout the peninsular territory. In the case of the Celtiberian territory, there are scarce researches in this regard. In this work, we present the study of the rocks of a quarry of millstones located near the village of Pardos, within the Molina-Alto Tajo UNESCO Global Geopark (Guadalajara, Spain). It is an outcrop of volcanic rocks, mostly rhyolitic tuffs, of Permian age with columnar jointing development. The quarry clearly shows how the humans have used ethno-geological knowledge to extract the material, taking advantage of the textural and structural properties of the rocky body of volcanic origin. In addition to the archaeological and ethnographic value the outcrop shows an important value associated to its petrology and volcanic morphology. Thus, this site could be considered as a Geosite.

Keywords: *Quarry, millstone, Molina-Alto Tajo UNESCO Global Geopark, ethnogeology, Geosite*

Referencias

Fernández-Martínez, E., Díaz-Martínez, E. (2015). El valor del Patrimonio Geológico: 2 Tipos de interés y de uso potencial. En: Hilario, A., Mendia, M., Monge, M., Fernández, E., Vegas, J. y Belmonte, A. Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos. *Cuadernos del Museo Geominero nº18*, IGME, Madrid, 91-96.

Ramos, A. 1979. *Estratigrafía y paleogeografía del pérmico y triásico al w de Molina de Aragón (prov. de Guadalajara)* Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 260 pp.

Sopeña, A., Doubinger, J., Ramos, A., Pérez-Arlucea, M. (1995): Palynologie du Permien et du Trias dans le Centre de Peninsule Iberique. *Sciences Géologiques Bulletin*, 48(1-3): 119-157.

Virtual outcrops generated with drone: enhancements, animations and internet publishing using computer game software.

Afloramientos virtuales generados con dron: mejoras, animaciones y publicación en internet utilizando softwares de juegos electrónicos.

R. Rocca[1]

1 Independent, Calle Maiquéz 30, 28009 Madrid, riccardo.rocca@hotmail.com

Abstract: *Using drones and photogrammetric software it is possible to generate spectacular 3D models of geological outcrops (virtual outcrops), that are very effective in documenting field geology. Being 3D models, they are more complex to edit compared to 2D images, for instance for adding an interpretation. Furthermore, the usual software for 3D editing and publishing are not specific to geology, but rather to computer games.*

This presentation describes a workflow that allows to enhance the 3D model of a geological outcrop by adding other graphic elements (like geological surfaces), by publishing it on the internet (making it available to a large audience) and by adding interactive buttons (that allow a user to animate the model). The workflow combines the use of three software, one specific for geologic modelling (Move) and the other two more dedicated to editing and publishing computer games 3D models (Blender and Sketchfab).

Three virtual outcrops are presented to demonstrate this workflow. Two of them were acquired along the Central System mountain range in Spain and represent a plunging anticline and a thrust fault. The third model was acquired in the Venezuelan Andes and represents a regional strike-slip fault (Boconó fault).

Keywords: *photogrammetry, drone, virtual outcrop, 3D model, computer game software*

Resumen: Utilizando drones y software fotogramétrico es posible generar espectaculares modelos 3D de afloramientos geológicos (afloramientos virtuales), que son muy eficaces en documentar la geología de campo. Siendo modelos 3D, es más complicado editarlos que las imágenes 2D, por ejemplo para añadir una interpretación. Además, los softwares habituales para la edición y publicación en 3D no son específicos para la geología, más bien para los juegos electrónicos.

Esta presentación describe un flujo de trabajo que permite mejorar el modelo 3D de un afloramiento geológico añadiéndole otros elementos gráficos (como superficies geológicas), publicándolo en internet (haciéndolo disponible para un grande público) y añadiéndole botones interactivos (que permiten al usuario de animar el modelo). El flujo de trabajo combina el uso de tres softwares, uno especifico para el modelado geológico (Move) y los otros dos más dedicados a la edición y publicación de modelos 3D para juegos electrónicos (Blender y Sketchfab).

Tres afloramientos virtuales son presentados para demonstrar este flujo de trabajo. Dos de ellos fueron adquiridos en la cordillera del Sistema Central en España y representan un anticlinal buzante y un cabalgamiento. El tercer modelo fue adquirido en los Andes de Venezuela y representa una falla de desgarre regional (Boconó fault).

Palabras clave: fotogrametría, dron, afloramiento virtual, modelo 3D, software de juegos electrónicos

INTRODUCTION

Using affordable drones and photogrammetric software it is possible to generate spectacular 3D models of geological outcrops that are very effective in documenting field geology features.

Unfortunately, when it comes to sharing the model with other co-workers, the most obvious solution is to take a screen capture of the model and share it as a 2D image. And when there is need to show also an interpretation over the model, the easiest solution is to edit the 2D image and draw some colour lines and polygons. These simple solutions do not allow to share the unique value of a 3D model, that is to be able to see it in three dimensions and from different points of view.

To overcome the limitations of sharing only 2D images it is necessary to explore the possibilities of software tools dedicated to handle 3D objects. There are a few of them publicly available which have been created to develop products like computer games, 3D printing and animated movies. As such, they are not specific to handle geological

objects, but they are very flexible and have many useful options, and with some initial effort they can be adapted to serve the purpose of editing and sharing the 3D models of geological outcrops acquired with drones.

The present work describes a workflow that combines the use of three software and allows to enrich the 3D model of a geological outcrop with other graphic elements, like geological surfaces, a reference section, a graphic scale. The model is made available on the internet to a large audience, allowing the users to manipulate it (rotate, zoom) and interact with it by hiding/showing certain graphic elements of the model.

DISCUSSION

The workflow consists in taking the 3D model of a geological outcrop generated with any photogrammetric package and further process it with three different software to add the geological interpretation and publish it on the internet.

The three software are Move, Blender and Sketchfab.

Move, by Midland Valley, is a desktop application dedicated to geologic modelling. It is particularly practical in integrating data collected from different sources during a geological field work. The main desktop application has tools that allow to generate graphic surfaces representing geological layers and consistent with the geometry of the strata that appear in an outcrop.

This software is used in the initial phase of the workflow, to interpret horizons and faults on the Digital Elevation Model (DEM) generated by the photogrammetric software.

The graphic surfaces representing the interpreted geological features can be exported using a data format (GOCAD ASCII) that, with minimal editing, can be imported in the next software.

Blender is a free 3D computer graphics software used for creating a very wide range of graphic products, from simple 3D objects to 3D printed models, computer games and animated movies.

In the workflow it is used to collect and create all the required graphic elements and combine them in a single 3D model with a consistent data structure, that can be exported to the next software.

The main elements to be combined are the mesh of the 3D outcrop model and the geological surfaces imported from Move. Additional elements, like a graphic scale, can be created within Blender and combined with the rest of graphic elements.

Sketchfab is a platform to publish and share 3D content on the internet, that can be viewed on any desktop or mobile browser and even with a Virtual Reality headset. With these features it can reach a very large audience and it is ideal to share a 3D model of the type generated with a drone.

Sketchfab 3D viewer can be embedded in a custom website and therefore be part of an internet page that provides more background information regarding the 3D outcrop.

It also provides a programming package (Api) that allows to add more functionalities to the viewer. For example, it is possible to add command buttons to hide/show the horizons and faults or to change the topography texture.

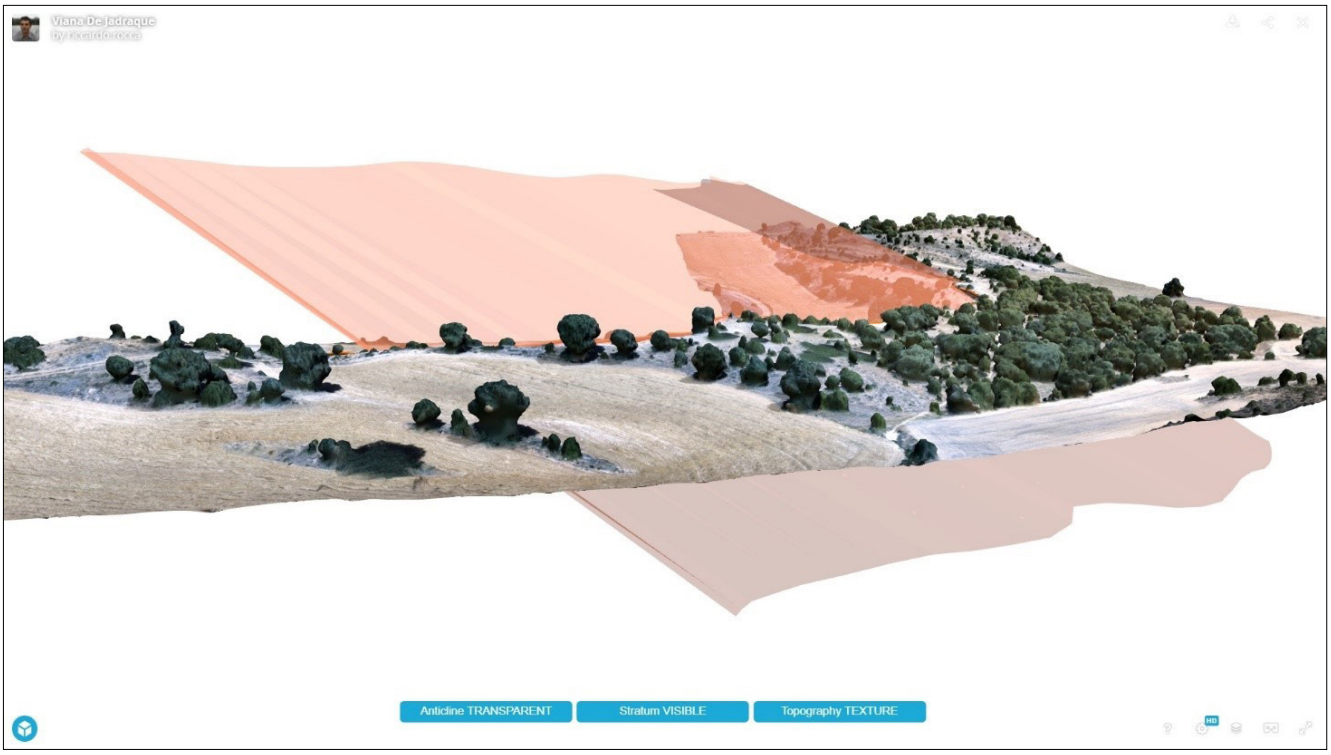


FIGURE 1. Virtual outcrop with interpretation representing a plunging anticline (Viana de Jadraque, Central System, Spain)

Link: https://riccardorocca.github.io/home/Viana_de_Jadraque.html

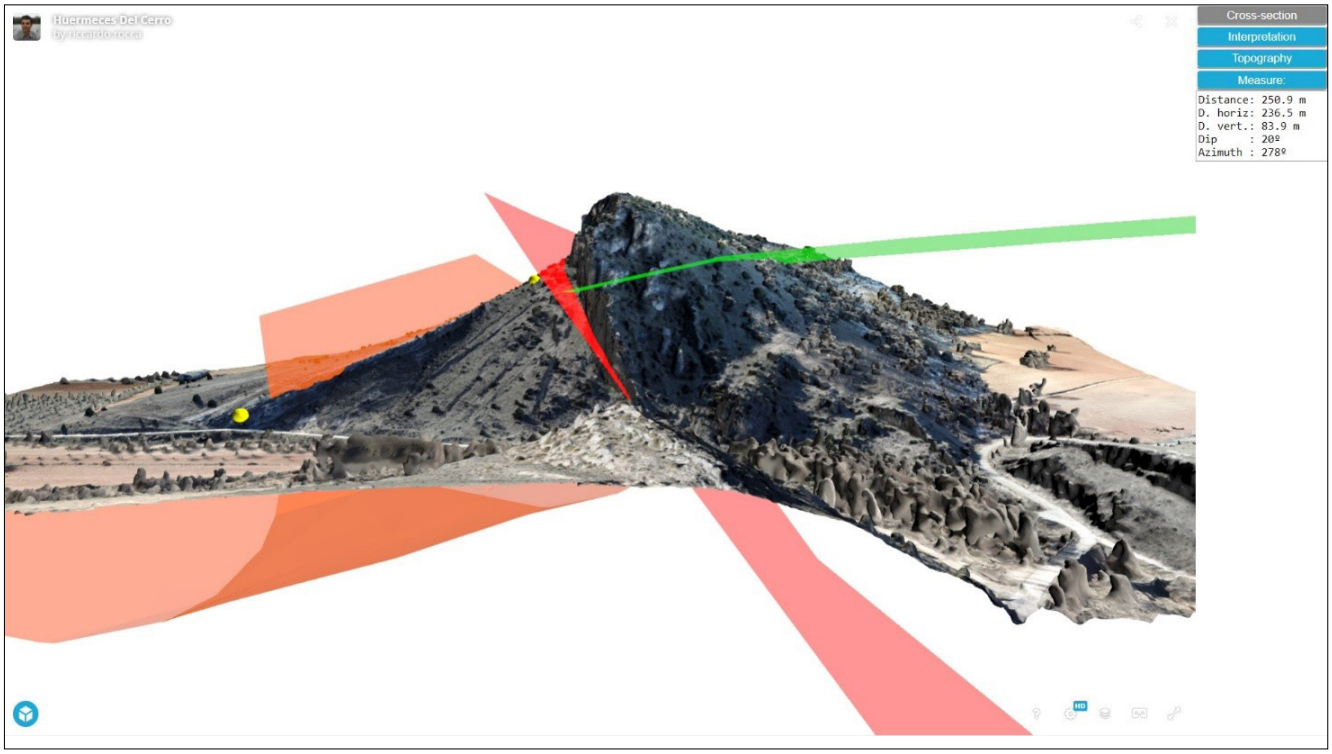


FIGURE 2. Virtual outcrop with interpretation representing a thrust fault (Huérmeces del Cerro, Central System, Spain)

Link: https://riccardorocca.github.io/home/Huermeces_del_Cerro.html

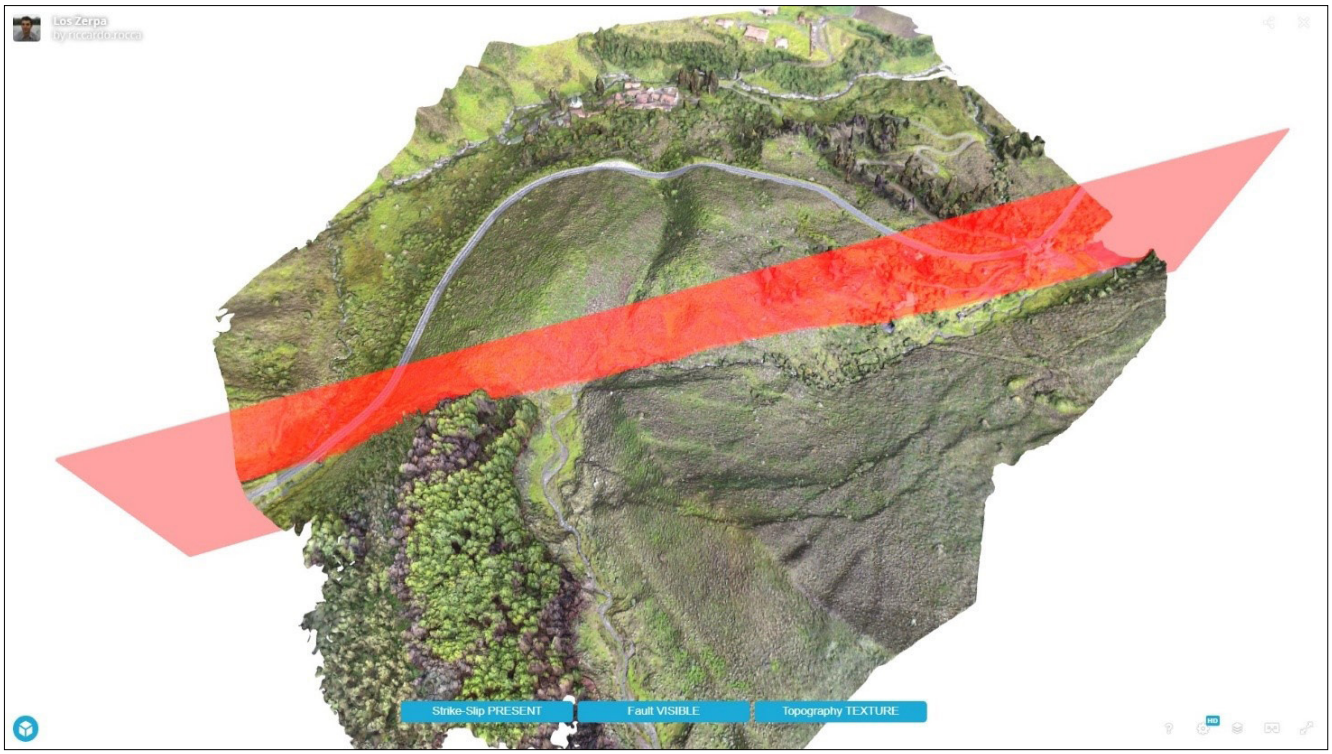


FIGURE 3. Virtual outcrop with interpretation representing a strike-slip fault (Boconó Fault: Los Zerpa, Mérida Andes, Venezuela)

Link: https://riccardorocca.github.io/home/Los_Zerpa.html

These options allow the user to interact with the model and improve his/her understanding of the geological features.

EXAMPLES

Three virtual outcrops are presented with live animations to demonstrate the workflow.

Two of them were acquired along the Central System mountain range in Spain. One model represents the surface expression of a plunging anticline (Fig. 1) and the other one represents a thrust fault with overturned strata in the footwall (Fig. 2).

The third model was acquired in the Venezuelan Andes and represents a portion of a regional strike-slip fault (Boconó fault) that has displaced a glacial moraine (Fig. 3).

In these examples, the geologic features of the outcrop (faults and horizons) are highlighted by adding geometrical surfaces that represent these features.

The models are accessible via internet by any potential user and therefore they can be easily shared with a vast public. A few buttons allow the users to interact with the models by letting some elements appear or disappear, changing the texture of the virtual outcrop, taking measurements of distances and angles.

In the case of the thrust fault, a geological section is included in the model, thus adding a more regional context.

In the case of the strike-slip fault, the buttons allow to animate the model, by shifting the two blocks separated by the fault and thus simulating the deformation that occurred along this fault.

CONCLUSIONS

This workflow allows to enhance the 3D model of a geological outcrop acquired with a drone and to share it with a large audience over the internet.

It overcomes the limitation of sharing only 2D snapshots of the model, thus missing the full 3D potential.

It makes use of free software that, although not specific for geology, is very flexible and can be adapted to handle virtual outcrops.

The workflow allows to enrich the model with additional features beyond the basic topographic view: surfaces representing the geological interpretation and buttons allowing the user to interact with the model by applying a few simple hide/show commands.

More commands could be added for instance to overlay a stratigraphic column, to measure linear distances or to animate the model.

With these improvements, the model can communicate much more information and can represent the geological features much more effectively.

It could provide a valuable complement when publishing articles or thesis, or to document geological field trips, and in general in those cases where it is necessary to share a virtual outcrop with a large audience.

REFERENCES

Carrillo, E., Audemard, F., Beck, C. and Cousin, M. (2002): *Sedimentary disturbances in Late Quaternary fluvio-lacustrine deposits of the Los Zerpa moraine induced by the Boconó fault, Mérida Andes, Venezuela.* 5th International Symposium on Andean Geodynamics

Schubert, C. (1983): *Tectonics and Sedimentation: an example from the Mérida Andes (Venezuela)*. In: Acta Geologica Hispanica

Vicente, G. and Muñoz-Martín, A. (2012): *The Madrid Basin and the Central System: A tectonostratigraphic analysis from 2D seismic lines.* In: Tectonophysics, 602, 259-285.

Conocimientos y Usos Tradicionales de la Geodiversidad: las leyendas de las Encantadas en España, el caso de la Encantada de Huéscar (Granada)

Traditional Knowledge and Uses of Geodiversity: the legends of the Encantadas in Spain, the case of the Encantada de Huéscar (Granada)

J.F. Rosillo Martínez, M.A. Alías Linares, A. Sánchez Navarro y F. Guillén-Mondéjar

Dpto. de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Murcia (España). josefidel.rosillo@um.es

Resumen: Sobre Las Encantadas existen en España numerosas publicaciones. Sin embargo, apenas aparecen estudios o inventarios referentes a los usos tradicionales de la geodiversidad sobre estas leyendas vinculadas con lugares geológicos. En este sentido, el primer estudio de detalle sobre esta temática ha sido el realizado por Rosillo Martínez (2019) en su tesis doctoral. Cuevas, roquedos, ríos, fuentes, cerros, etc., son elementos geológicos en los que pueden existir leyendas sobre Encantadas; fábulas o mitos que las generaciones actuales hemos escuchado de nuestros mayores o que aparecen reflejados en escritos antiguos. Son numerosos los lugares a lo largo y ancho de la geografía española, en los que su geodiversidad ha sido fundamental para la existencia de leyendas populares; saberes que han sido transmitidos durante siglos de generación en generación a través de la tradición oral. La identificación, inventario y descripción de estos lugares geológicos y sus leyendas, mediante la valoración de su interés científico, didáctico y turístico/recreativo, contribuirá sin lugar a dudas a la protección de nuestro patrimonio geológico y los conocimientos y usos tradicionales de la geodiversidad. Su puesta en valor fomentará el geoturismo y contribuirá al desarrollo económico de los pueblos donde se encuentran.

Palabras clave: Leyendas, Conocimientos, Tradiciones, Geodiversidad, España.

Abstract: *There are numerous legends about Las Encantadas published in Spain. However, scarce studies or inventories collecting traditional uses of geodiversity of these legends related to geosites has been carried out. In this way, the doctoral thesis of Rosillo Martínez (2019) constitutes the first detailed study about this topic. Caves, rivers, crags, hills, etc. are geological elements mentioned in these legends about Las Encantadas: fabulous myths that known by the new generations by hearing them from our elders or by reading old texts. There are many places in Spain whose geodiversity has been a nourishment of importance for these popular legends. The identification and description of these geosites and their legends, by evaluating their scientific, didactic and touristic interest, will contribute in the protection of our geoheritage, including geodiversity and traditional uses. The valuation of the geological heritage would promote geotourism and economic development of the villages that contain those places.*

Keywords: *Legends, Knowledge, Traditions, Geodiversity, Spain.*

INTRODUCCIÓN

A escala nacional, será a partir del año 1910, cuando el estudio de las leyendas tenga mayor rigor y valor con la publicación de la obra "*La Formación des Légendes*" (Van Gennep, 1914), que fue traducida al español por Guillermo Escolar. En 1953 el filósofo Vicente García De Diego consideró que una leyenda era "*La expresión más delicada de la literatura popular*", y realizó un importante estudio con la selección de las mejores leyendas españolas según diferentes regiones, así como, las de otros países.

Una importante contribución a estos estudios es la de Julio Caro Baroja (1989), que en su publicación "*De arquetipos y leyendas*", presentó un amplio tratado sobre leyendas. En 2006, González Reboredo, realizó una extensa descripción sobre las leyendas en Galicia, una de las comunidades de España con mayor tradición oral de leyendas. En el VI Seminario del Geoparque de Sobrarbe "*Geología Curiosa y divertida*", se trató sobre la relación que muchas veces existe entre los mitos y la actividad geológica de nuestro planeta (Belmonte Rivas, 2012).

El Real Decreto 556/2011, de 20 de abril, para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (BOE nº 112, 11 de mayo de 2011), indica que el inventario español de conocimientos tradicionales costará de:

"*Conocimientos tradicionales, así como sus elementos o restos culturales asociados, relativos a: La biodiversidad y el patrimonio natural. La geodiversidad o al aprovechamiento de los recursos minerales (**lugares geológicos utilizados para fiestas, tradiciones populares, u origen de leyendas**, así como minas y canteras artesanales, con sus construcciones anexas, como hornos, establecimientos de*

beneficio, almacenes, etc.). Deberán ser relevantes para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad y geodiversidad, con especial atención a los etnobotánicos".

En este sentido, se ha realizado en la Comarca de Huéscar (Granada), el primer inventario de Lugares de Interés por sus Conocimientos y Usos Tradicionales de la Geodiversidad, (LICUTG), donde las leyendas de las Encantadas forman parte de lugares geológicos utilizados para topónimos, fiestas, tradiciones u origen de leyendas (Rosillo Martínez, 2019).

LA LEYENDA DE LA ENCANTADA

La leyenda de la Encantada está muy extendida por la geografía española, y se trata de un conjunto de tradiciones orales y leyendas mitológicas sobre acontecimientos, en los que los protagonistas son seres sobrenaturales o extraordinarios. En la leyenda de la Encantada, aunque existen variantes, es habitual la existencia de una bella joven de largos cabellos que aparece en la noche del día de San Juan, con un espejo y peine de oro.

Según el diccionario de la RAE, encantar significa entre otras:

"*Someter a poderes mágicos". "Atraer o ganar la voluntad de alguien por dones naturales, como la hermosura, la gracia, la simpatía o el talento", "Entretener con razones aparentes y engañosas*".

Encantado o encantada significa:

"*Distraído o embobado constantemente*".

"E*ncantada"* deriva de en-cantar que, a su vez proviene del latín *incantare*, someter a poderes mágicos. Galmés de Fuentes (1996), considera dicho topónimo como una explicación o adaptación posterior del término prerromano **kanto* ("piedra, orilla pedregosa"), ya que estas encantadas suelen aparecer en lugares con muchas piedras. Al igual que el término Encantada significa "piedra", el prefijo "*Mor*" significa "montón de piedras".

Según Salmador Hernández y Salmador Martín, (2019):

"*Las Encantadas y las Moras no solo están cumpliendo funciones similares, compartiendo los mismos atributos y frecuentando los mismos lugares, sino que parecen tener una raíz etimológica similar*".

Si leemos la variada literatura existente sobre las leyendas y mitologías españolas, es habitual encontrar referencias a tierra, agua, oro, ruinas pedregosas, peñas, barrancos, ríos, abrigos, berrocales, piedras, cantos, cerros, cuevas, fuentes, etc., así como a diferentes megalitos como mámoas, antas, dólmenes, cromlechs, etc, así como referencias a seres sobrenatuales que modelan el paisaje. Por ello, desde el punto de vista de la geodiversidad y de los usos tradicionales, destacan en las leyendas de las Encantadas la existencia de formaciones geológicas, a veces de gran belleza y de interés geológico, así como la tradición de transmitir estos conocimientos de forma oral o escrita de generación en generación. Se trata por tanto de expresiones culturales relacionadas con la Gea, que difunden conocimientos y experiencias a las nuevas generaciones y que forman parte del patrimonio cultural inmaterial.

La Encantada tiene también un componente mitológico, muy extendido en el norte de España. En Galicia existen numerosas leyendas de Mouros y leyendas de Mouras (González Reboredo, 2006).

Según Quintía Pereira, (2012):

"*Los mouros realizan actividades comunes a los campesinos, salen de noche y duermen de día, viven debajo de la tierra y del agua, en cuevas o debajo de las rocas y construyen minas y túneles. Se divierten con música y bailes y son dueños de grandes riquezas y aunque tienen fabulosos tesoros "casi siempre encantados" con huchas y arcas llenas de oro, necesitan trabajar para vivir*".

"*Las Mouras, también conocidas como donas, damas, señoras, señoritas, princesas, raiñas, etc., son mujeres encantadas de enorme belleza, con cabellos rojos, rubios o dorados, de piel blanca y mejillas rosadas. Las Mouras viven en pozas, fuentes, ríos, monumentos arqueológicos o formaciones naturales entre otros, son sensuales pero también peligrosas. Poseen una fuerza sobrehumana y son capaces de construir megalitos y piedras figurativas que elevan sobre sus cabezas. Poseen grandes riquezas y objetos de oro, que generalmente sacan en días especiales como la mañana de San Juan*".

Parece ser que existen similitudes entre los Mouros y Mouras gallegas con otras mujeres y hombre míticos de España. En Asturias y León (Xanas), en el País Vasco (Mari, Maddi o Mairu), en Cantabria (Anjanas), en Aragón (Mariuena), etc. Encontramos también el término "Lamia", criaturas femeninas muy seductoras de la mitología y el folclore grecolatinos, que construyeron grandes esculturas y edificios, entre los que se encuentran el oráculo de Eros.

En el sureste de España también son habituales las leyendas de la Encantada que al parecer proviene del mito de las Lamias. Así, podemos encontrar diferentes leyendas de la Encantada relacionadas con cuevas, aunque también con otros elementos geológicos destacando las leyendas de los municipios de Orcera (Jaén), Hellín, Nerpio, Elche de la Sierra y Paterna de Madera (Albacete), Coy, Puerto Lumbreras, Moratalla, Fortuna, Sangonera la Seca, Fuente Caputa de Mula, Caravaca de la Cruz (Murcia), Rojales (Alicante), Baza y Huéscar (Granada). Son por tanto numerosas las versiones de leyendas sobre la cueva de la Encantada.

González Alcantud, (1989) dice:

"*De este dominio paisajístico es indicativo que en todas las poblaciones de la comarca dominadas por este conjunto montañoso, se cuente una misma leyenda: la que dice que desde una cueva de la sierra que se divisa a lo lejos, el día de San Juan, sale una encantá dándole de comer a pollos de oro*".

EL CASO DE LA ENCANTADA DE HUÉSCAR

En el caso concreto de Huéscar, en 1989 González Alcantud, escribió sobre el territorio y religión popular en

Andalucía oriental, haciendo referencia a la leyenda de la Encantada de Huéscar. En el lugar existe el antiguo castillo de Úxkar en la sierra de la Encantada, y muy próxima a éste, la cueva de la Encantada (Figuras 1 y 3).

Consultados los datos del Archivo Histórico de Huéscar, encontramos escritas diferentes versiones que se han transmitido por la tradición oral, sobre la leyenda de la cueva de la Encantada, entre las que se encuentra la siguiente:

VENCER EL MIEDO
PARA SALVAR A LA PRINCESA

"*Una vez hace mucho tiempo, había una princesa muy bella pero muy orgullosa. Su padre estaba desesperado porque ninguno de los pretendientes que venían a cortejar a su hija era del agrado de ésta. De forma que determinó casarla a la fuerza con un príncipe de una tierra cercana. A la princesa este príncipe le parecía el adecuado, pero el rey no quería oír más quejas.*

El día de la boda, cuando todos los invitados esperaban que se celebrara la ceremonia, la princesa tardaba en salir. Primero dijo que no había acabado de vestirse. Pasó más de media hora y dijo que estaba poniéndose los zapatos. Hora y media más tarde fue el rey en persona y la princesa estaba peinándose, el padre al verla se enfureció y dijo:

Permanecerás peinándote por los siglos.

Cayó sobre la princesa el encantamiento que la condenó a permanecer eternamente en el interior de una cueva.

Una noche al año, la noche de San Juan, la princesa encantada sale al umbral de la cueva y allí se la puede ver peinándose.

Según la leyenda, esa noche se puede romper el hechizo. Cuentan que tienes que subir a la cueva, decirle a la princesa que quieres ayudarle y cogerla de la mano. Ella te avisa que no debes volver la cabeza hacia atrás por muchos gritos y ruidos que oigas porque si lo haces, quedas convertido en estatua de sal y ella continua presa de su encantamiento.

Dicen que se oyen lamentos de almas en pena, rugidos de fieros animales, que el miedo se hace insoportable y que la princesa te dice que no has de temer, que todo es producto de la imaginación. Nadie ha podido soportar esos momentos infernales".

Además, este lugar se complementa con otros contenidos geológicos e históricos, como la proximidad de los Lugares de Interés Geológico (LIG) del manantial de Fuencaliente, exokarst de Sierra Bermeja o la cuenca endorreica de Bugéjar y la presencia de atalayas defensivas, restos de aljibes y el castillo de Uskar en la sierra de la Encantada (Figura 3 y 4).

El estudio de detalle como lugar de interés por sus conocimientos y usos tradicionales de la geodiversidad (Rosillo Martínez, 2019), de la sierra de la Encantada y la cueva de la Encantada de Huéscar (Granada) (Figura 2), que ha sido presentado en el ayuntamiento de esta localidad, ha permitido el comienzo de la puesta en valor de este lugar desde el punto de vista geoturístico, siendo presentado como atractivo turístico en la Feria Internacional de Turismo (FITUR 2020).



Figura 1. Cueva de la Encantada. Lugar de Huéscar (Granada), donde según la leyenda, una bella doncella sale para peinarse sus cabellos en el día de San Juan.



Figura 2. Portada de la ficha descriptiva y de valoración como Lugar de Interés por sus Conocimientos y Usos Tradicionales de la Geodiversidad (LICUTG) de la Cueva de la Encantada incluida en Tesis Doctoral de Rosillo Martínez (2019).



Figura 3. Vista aérea de la cima de sierra de la Encantada. Relieve kárstico en calizas del Jurásico inferior y medio (Hettangiense-Calloviense). Se observan restos de muralla de Huéscar la Vieja y aljibes. Uso tradicional de la geodiversidad incluido en tipo de interés principal "*utilizado en batallas o que ha servido para asentamientos, protección y defensa de los pueblos*" Rosillo Martínez (2019).

CONCLUSIONES

Las Encantadas en España son leyendas relacionadas con lugares geológicos que han sido considerados de interés por sus conocimientos y usos tradicionales de la geodiversidad. La concienciación ciudadana sobre la importancia de estos lugares permitirá su protección y conservación. El estudio de detalle de estos lugares, como el realizado en la Comarca de Huéscar, permitirá su puesta en valor desde el punto de vista científico, didáctico y turístico, donde la explotación sostenible del patrimonio geológico por parte de los habitantes de estos pueblos puede representar un motor económico, en aquellos municipios donde el envejecimiento paulatino de la población, junto con la despoblación son los principales problemas a los que se enfrentan en la actualidad.



Figura 4. Sierra de la Encantada. En primer plano una antigua calera incluida con tipo de interés secundario de LICUTG "*Explotaciones artesanales para su uso en construcción*", Rosillo Martínez (2019).

REFERENCIAS

Belmonte Rivas, A. (2012): *La Geología en el Origen de Mitos y leyendas. VI Seminario del geoparque de Sobrarbe. Boltaña*, 19, 20 y 21 de octubre de 2012.

Caro Baroja, J. (1991): *De los arquetipos y leyendas* (Vol. 113). Ediciones AKAL. 211 p.

Galmés De Fuentes, A. (1996): *Toponimia: Mito e Historia* (Real Academia de la Historia). 69 p.

García de Diego, V. (1953): A*ntología de leyendas de la literatura universal*. Editorial labor, Barcelona. Tomo I, p.3.

González Alcantud, J. A. (1989): Territorio y religión popular en Andalucía oriental. a da, *La religiosidad popular,* 1, 197-214.

González Reboredo, X. M. (2006): *Leyendas galegas de tradición oral* (Vol. 2). Editorial Galaxia. 64 p.

Quintía Pereira, R. (2012): Conferencia sobre Mouros e Mouras. Na preocupa de nós mesmos Actas das V Xornadas de Literatura de Tradición Oral. Os Mouros e as Mouras: máxicos enigmáticos da mitoloxía polular. Lugo 19 y 20 de octubre de 2012.

Rosillo Martínez J.F. (2019): *Patrimonio Geológico y Usos Tradicionales de la Geodiversidad en la Comarca de Huéscar (Granada)*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Escuela Internacional de Doctorado. 1061 p.

Salmador Hernández, D. y Salmador Martín A.L. (2019): *Las Moras y Moros Mitológicos*. 21 p.

Van Gennep, A. (1914). *La formación de las leyendas*, Madrid. Librería Gutenberg de José Ruiz. Ruiz hermanos. Sucesores. 211 p.

La Historia de la Geología en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico.

The History of Geology in the Spanish Inventory of Sites of Geological Interest.

Á. Salazar[1], A. Cabrera[2], G. Lozano[2], J. Vegas[2] y A. García-Cortés[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España, C/ La Calera, 1, 28760 Madrid - Tres Cantos. a.salazar@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. a.cabrera@igme.es, g.lozano@igme.es, j.vegas@igme.es, garcia.cortes@igme.es

Resumen: La Ley 42/2007 y su reglamentación determinan que debe elaborarse un Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). El IELIG pretende cubrir la totalidad del territorio español e integra los Lugares de Interés Geológico (LIG) inventariados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y sus colaboradores y aquellos LIG incluidos en los inventarios de las comunidades autónomas. El IELIG trata de cubrir todas las especialidades de la Geología, por lo que a cada LIG se le asigna un tipo de interés principal y uno o más tipos de interés secundario. A diferencia de los demás tipos de interés, la Historia de la Geología no define una categoría de LIG concreta, pues su interés radica en el papel que el lugar ha jugado en el desarrollo de la Geología como Ciencia, es una tipología singular que merecen un análisis individualizado. El objetivo del trabajo es examinar qué LIG se han calificado según el tipo de interés Historia de la Geología, si dicha calificación está justificada, cuál es su relevancia, sus tipologías, distribución espacial y valoración. A partir de dicho análisis, se han determinado las características típicas de los LIG con interés para la Historia de la Geología y se plantean posibles mejoras del IELIG.

Palabras clave: patrimonio geológico, lugares de interés geológico, Historia de la Geología, inventarios.

Abstract: *Law 42/2007 and its derivative regulations specify that a Spanish Inventory of Geosites (IELIG) must be carried out. The IELIG intend to cover the entire Spanish territory and integrates the Geosites (LIGs) inventoried by the Geological and Mining Institute of Spain (IGME) and its collaborators and those LIGs included in the inventories of the autonomous communities. The IELIG must cover all the specialties of Geology, so to each LIG a type of principal interest and one or more secondary interest types are assigned. Unlike the other types of interest, History of Geology does not define a specific type of LIG, since its interest lies in the role that the site has played in the development of Geology as Science; it is a special typology, so it deserves an individualized review. The aim of this paper is to review which LIG have been labelled with History of Geology interest, if this qualification is justified, what is the relevance of that sites, their typologies, spatial distribution and evaluation. From this study, the most typical characteristics of the LIGs with interest for the History of Geology have been determined and possible improvements of the IELIG are proposed.*

Keywords: *geoheritage, geosites, History of Geology, inventories.*

INTRODUCCIÓN

La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, modificada por la Ley 33/2015, determina que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, con la colaboración de las comunidades autónomas y de las instituciones y organizaciones de carácter científico, económico y social, elaborará y mantendrá actualizado un Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. El desarrollo normativo (RD 556/2011) estipula que ese Inventario debe incluir entre otros un Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). El, Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017 (RD 1274/2011) encomendó al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) la finalización del IELIG (IGME, 2013).

La metodología del IELIG (García-Cortés *et al.*, 2014) fue desarrollada por el IGME a partir de la actualización de la metodología del Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico, de las aportaciones de expertos y fue validada mediante un proyecto piloto (García-Cortés *et al.*, 2013). El IELIG pretende cubrir la totalidad del territorio español e integra tanto los lugares inventariados por el IGME y sus colaboradores como aquellos incluidos en los inventarios realizados por las comunidades autónomas. Actualmente, el IELIG incluye un total de 4.112 Lugares de Interés Geológico (LIG), de los cuales 276 son de relevancia internacional según el proyecto Global – Geosites (García-Cortés, 2008) y 1.270 son de relevancia local.

El IELIG trata de cubrir todas las especialidades de la Geología, por lo que a cada LIG, en consideración a su contenido y características propias, se le asigna un tipo de

interés principal (Edafológico, Estratigráfico, Geomorfológico, Geotécnico, Hidrogeológico, Historia de la Geología, Mineralógico, Minero-metalogénetico, Paleontológico, Petrológico-geoquímico, Sedimentológico, Tectónico) y uno o más tipos de interés secundario. Por razones diversas, las diferentes disciplinas de la Geología no tienen la misma representación en el IELIG (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018), siendo así que los lugares de interés principal Geomorfológico son los más abundantes (36%), seguidos de los de interés principal Estratigráfico (17%), Tectónico (12%), Sedimentológico (10%), Petrológico-geoquímico (7%), Paleontológico (6%), Hidrogeológico (5%), Minero-metalogenético (5%) y Mineralógico (1%). Los tres tipos de interés restantes (Edafológico, Geotécnico, Historia de la Geología) han tenido un uso muy limitado. En concreto, el interés Geotécnico nunca se ha usado como interés principal y aparece como interés secundario en 45 LIG (28 de ellos de relevancia local). El interés Edafológico se ha utilizado como principal en dos ocasiones y en 15 como secundario. Por último, Historia de la Geología, ha sido utilizada como interés principal en dos ocasiones (un yacimiento paleontológico y una estructura tectónica) y 44 veces se ha utilizado como un interés secundario del LIG.

A diferencia de los demás tipos de interés, la Historia de la Geología no define una categoría de LIG concreta. Es decir, mientras que un LIG de interés principal Paleontológico corresponde a un yacimiento de fósiles, uno de interés Geomorfológico será forzosamente una forma de modelado del relieve, uno de interés Tectónico deberá ser una estructura, etc., los LIG con interés para la Historia de la Geología podrían abarcar indistintamente cualquier clase de yacimiento, morfología, estructura, sección o afloramiento, pues su interés radica en el papel que el lugar ha jugado en el desarrollo de la Geología como Ciencia. Es por lo tanto una tipología de LIG de carácter singular, cuyo interés no depende de su propia naturaleza y que merecen un análisis particular.

OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El objetivo del trabajo es examinar qué LIG del inventario se han calificado según el tipo de interés Historia de la Geología, si dicha calificación está justificada, cuál es su relevancia, a qué tipologías corresponden, cuál es su distribución espacial y qué valoración tienen. A partir de dicho análisis, ha sido posible determinar cuáles son las características típicas de los LIG relevantes para la Historia de la Geología y plantear posibles mejoras en futuras revisiones del IELIG.

Como ya se ha comentado, en el IELIG se ha señalado Historia de la Geología como tipo de interés principal en dos LIG y como secundario en 44 LIG. Lo que suma un total de 46 LIG. De ellos, 44 han sido inventariados por el IGME y 2 proceden del inventario de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Las demás comunidades autónomas (País Vasco, Aragón, Cataluña, y Andalucía) no consideran la Historia de la Geología como un tipo de interés de manera explícita, aunque implícitamente sí se ha tenido en cuenta (por ejemplo, en el LIG CAT152 - Discordancias progresivas del Alto Cardener). En 34 de los 46 LIG considerados, el interés para la Historia de la Geología está justificado por los autores de las fichas y es sobre ese subconjunto de 34 LIG sobre los que se ha realizado el análisis (en adelante LIG-HG).

Entre los LIG-HG hay 6 que el proyecto *Global - Geosites* (García-Cortés, 2008) consideró de relevancia internacional y están repartidos por igual entre los contextos geológicos “Series estratigráficas del Paleozoico Inferior y Medio del Macizo Ibérico” y “Asociaciones volcánicas ultrapotásicas (lamproíticas) neógenas del SE de la Península Ibérica”. Los demás LIG-HG son de relevancia nacional.

La distribución por tipos de interés principal de los LIG-HG se muestra en la parte superior de la Fig. 1. Los lugares de interés principal Paleontológico son los más abundantes (35%), seguidos por los de interés principal Estratigráfico (21%) y los de interés Petrológico-geoquímico (21%), con una baja representación de los demás tipos de interés principal. Los 2 LIG-HG que tienen como interés principal Historia de la Geología tienen como interés secundario Paleontológico y Tectónico respectivamente.

La distribución de los lugares que forman el subconjunto de LIG-HG según los dominios geológicos definidos en el Plan GEODE (cartografía geológica digital continua del IGME) se muestra en la parte inferior de la Figura 1, donde se puede apreciar una mayor presencia en la Zona Cantábrica, Cuenca Tajo-La Mancha, Zona Centroibérica y Cordillera Ibérica.

Por último, se ha recopilado y analizado la valoración de los LIG-HG para sus tres usos posibles: científico, didáctico y turístico-recreativo (Figura 2), pero sin incluir los dos lugares procedentes del inventario de la Región de Murcia, cuya valoración se hizo con criterios ligeramente diferentes a los demás.

DISCUSIÓN

Entre los LIG-HG el porcentaje de lugares de relevancia internacional según el proyecto Global Geosites (García-Cortés, 2008) es significativamente más elevado, casi el triple, que en el total del IELIG. Es de destacar que ninguno de los LIG-HG es de relevancia local.

La distribución por tipos de interés principal de los LIG-HG (Figura 1) es bastante diferente a la de todo el IELIG. Los lugares de interés principal Paleontológico, que en el total del IELIG solo representan el 6%, (ver en la introducción) son los más abundantes, mientras que los LIG de interés principal Geomorfológico, que en el conjunto del IELIG constituyen el 36 %, apenas están representados en el subconjunto de LIG-HG. Es esperable que los LIG-HG sean preferentemente lugares cuyo interés principal esté en relación con algunas de las ramas o especialidades de la Geología que primero alcanzaron un desarrollo científico notable, es decir lugares de interés Paleontológico, Estratigráfico y Petrológico-geoquímico, como así ocurre. Por el contrario, hay pocos LIG-HG cuyo interés principal

en relación con las ramas de la Geología que alcanzaron madurez a lo largo de la segunda mitad del siglo XX (Tectónica, Geomorfología, Hidrogeología, Sedimentología). Aunque llama la atención el bajo número de LIG-HG de tipo de interés principal Mineralógico y Minero-metalogenético, que son especialidades que tuvieron un desarrollo temprano en la Geología, cabe señalar que ambos tipos de interés sí aparecen señalados como interés secundario en un total 14 lugares (el 41% de los LIG-HG).

El hecho de que cuatro de las cinco comunidades autónomas que tienen inventarios propios no contemplen la Historia de la Geología como un interés específico, desdibuja el análisis de la distribución geográfica de los LIG-HG. Con todo, se puede apreciar cierta mayor presencia en la Zona Cantábrica y secundariamente en la zona central de la Península, es decir, en la Cuenca Tajo-La Mancha, Zona Centroibérica y Cordillera Ibérica (Figura 1).

De modo general, el valor asignado a los LIG-HG (Figura 2) suele ser alto a muy alto para el uso científico, con un valor promedio 5,8, alto para el didáctico, con un promedio 5,2, y alto a medio para el uso turístico, promedio 4. Estos valores discrepan significativamente del conjunto del IELIG (802 LIG valorados), en especial en lo que respecta al valor científico, que en el conjunto del IELIG es de 4,9, casi un punto menos, y también en lo que respecta al valor didáctico, cuyo promedio para todo el IELIG es 4,5. Sin embargo, los LIG-HG no tienen un mayor valor para su uso turístico que el conjunto de lugares del IELIG (promedio 4,1).

Hay tres LIG-HG que tienen una menor valoración para uso científico y no cumplen por tanto la regla general de valor alto o muy alto. Se trata precisamente de los dos lugares cuyo interés principal es la Historia de la Geología (TM013 y TM025) y del que tiene interés principal Hidrogeológico (TM032), los tres son casos singulares.

Los lugares TM013 y TM025, son los dos únicos en que se ha utilizado Historia de la Geología como interés principal, en ambos precisamente porque su interés en otros aspectos es bajo. TM013 es la popular Falla de El Molar, cuyo interés radica en haber sido un lugar utilizado para la docencia en todos los niveles de formación y para la divulgación durante décadas, es decir, tienen interés en cuanto a la Historia de la docencia y la divulgación de la Geología en Madrid, pero su interés científico como estructura tectónica no es especialmente destacable a nivel regional. TM025 es el yacimientos paleontológico del valle del Manzanares de San Isidro, el primer yacimiento de fauna Pleistocena con industria lítica estudiado en España y tercero de Europa y que también es un yacimiento de vertebrados del Miocena estudiado en la primera mitad del siglo XIX por Ezquerra del Bayo (fósiles conservados en el museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard), pero que ahora es un parque público con un monumento conmemorativo del yacimiento, y cuyo interés científico actual es relativamente bajo debido a que no es una localidad tipo, a la imposibilidad de hacer observaciones, etc. (Salazar *et al.*, 2017). Algo similar ocurre con el lugar TM032, los manantiales y balneario de Carabaña, un importantísimo manantial de aguas purgantes en el siglo XIX y comienzos del XX, que exportó al mercado nacional y francés millones de litros y que es el único de España que sigue en activo. Como en los casos previos, desde el punto de vista científico, TM032 no es un caso excepcional, pero si tiene un componente histórico notable.

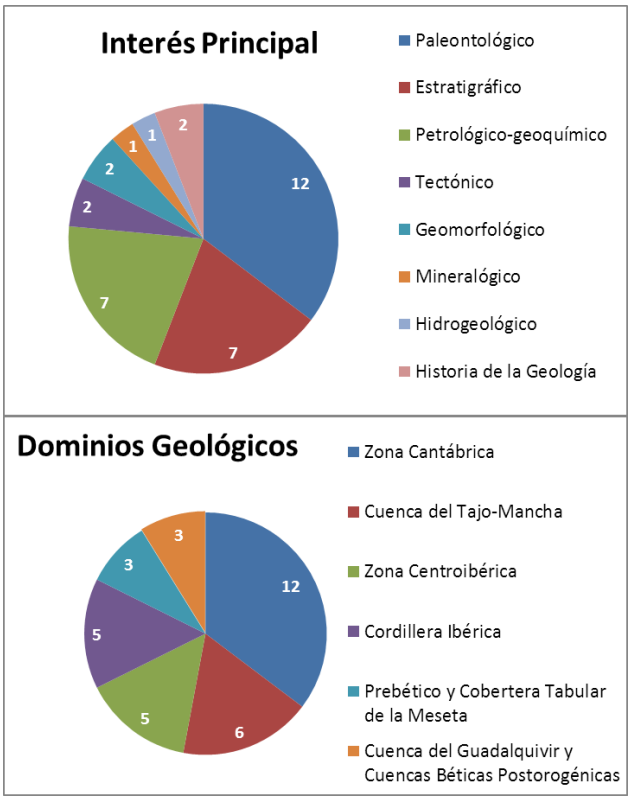


FIGURA 1. Arriba: distribución según los tipos de interés principal de los LIG que tienen interés para la Historia de la Geología (LIG-HG). Abajo: distribución según los dominios geológicos definidos en el Plan GEODE (cartografía geológica digital continua del IGME) de los LIG que tienen interés para la Historia de la Geología (LIG-HG).

CONCLUSIONES

La Historia de la Geología no constituye una materia equiparable a las demás disciplinas estructuradas de la Geología. Los criterios por los que un lugar tiene interés para la Historia de la Geología son diferentes a los de los demás tipos de interés y, en consecuencia, tienen características típicas diferenciadas. A partir de los resultados alcanzados, podemos concretar cuáles son esas características.

La primera característica de los LIG-HG es que son lugares de relevancia internacional o nacional, pero no local. Además, suelen ser lugares cuyo interés principal está en relación con las ramas o especialidades básicas de la Geología, las que primero alcanzaron desarrollo científico importante (Paleontológico, Estratigráfico, Petrológico-geoquímico, Mineralógico y Minero-metalogenético).

En la actualidad, debido a las limitaciones de los tipos de interés definidos en los inventarios de las comunidades autonómicas, no es posible definir cuál es la distribución geográfica de los LIG de interés de la Historia de la Geolo-

gía, que deberían de distribuirse en las zonas donde antes se comenzó la prospección geológica de España, es decir, en las cuencas mineras y cerca de las grandes ciudades.

Por último, cabe señalar que los LIG de interés de la Historia de la Geología son lugares con valoración más alta que la media en lo que respecta a su uso científico y didáctico, pero no en cuanto a su valor para uso turístico. Aunque existen algunas excepciones a esa regla general, estas excepciones son el resultado de circunstancias particulares y pueden ser explicadas fácilmente.

Como parte de la Semana de las Ciencias de la Tierra de 2014, *The Geological Society of London* y sus colaboradores lanzaron la idea de elaborar una lista de los 100 mejores lugares de interés geológico de Reino Unido e Irlanda (*The Geological Society*, en línea). La lista incluyó una subcategoría de lugares de importancia histórica y científica (*Historical & Scientific Importance*). Entre los 10 lugares de dicha categoría, se encontraban lugares tan importantes para la Historia de la Geología como la discordancia de Siccar Point, que resultó ser uno de los lugares más valorados en la votación popular realizada (tercer puesto). La consideración de la Historia de la Geología como un tipo especial de interés tiene así sus defensores en otros países con sólida tradición y experiencia en el estudio y conservación del Patrimonio Geológico. Sería deseable prestar a este tipo de interés una mayor atención en futuras revisiones del IELIG, como también es deseable que los inventarios elaborados por las comunidades autónomas incluyan como un tipo de interés particular y diferenciado la Historia de la Geología.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado con fondos propios del IGME (proyecto número 2819, Inventarios de patrimonio geológico y minero).

REFERENCIAS

García-Cortés, Á. (Ed.) (2008): *Contextos geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional.* IGME, Madrid, 235 p.

García-Cortés, Á., Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E. y Vegas, J. (2014): D*ocumento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)*. IGME, Madrid, http://www.igme.es/patrimonio/, 61 p.

García-Cortés, Á., Carcavilla, L., Vegas, J. y Díaz-Martínez, E. (2013): Algunos resultados del Inventario de Lugares de Interés Geológico de la Cordillera Ibérica. En: *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo* (J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez y C. Marchán, eds.). Cuadernos del Museo Geominero, nº 15. IGME, Madrid, 379-388.

The Geological Society (en línea): *100 Great Geosites* [página web] https://www.geolsoc.org.uk/100geosites

Instituto Geológico y Minero de España (2013): *Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG)* [base de datos]. http://info.igme.es/ielig/

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2018): *Informe anual 2017 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.* Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, 133 p.

Salazar, Á., Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á. y Vegas, J. (2017): Yacimientos paleontológicos desaparecidos ¿Por qué inventariarlos? En: *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural* (Carcavilla, L., Duque-Macías, J., Giménez, J., Hilario, A., Monge-Ganuzas, M., Vegas, J. y Rodríguez, A. eds.). Cuadernos del Museo Geominero, nº 21. IGME, Madrid, 45-50.

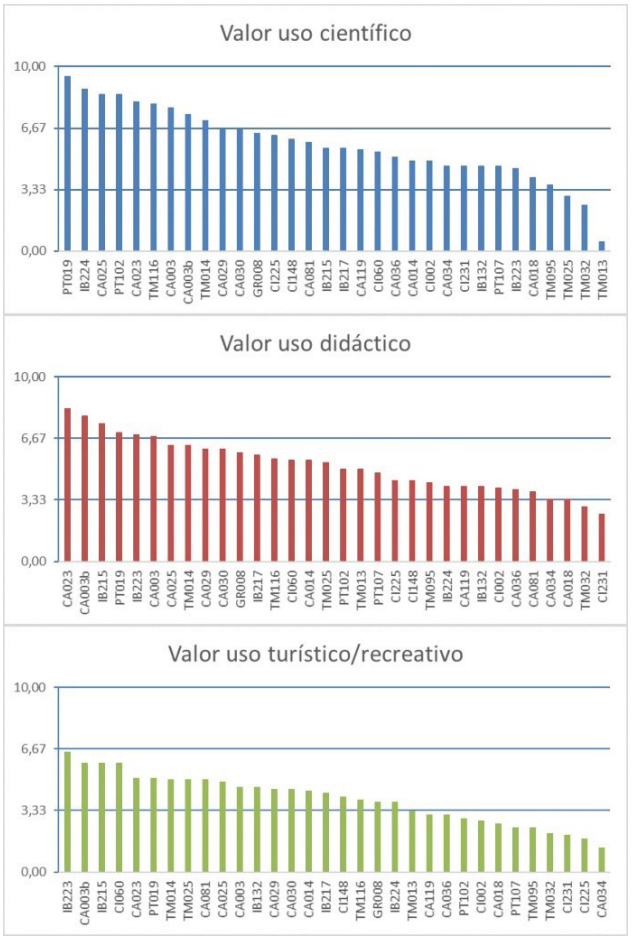


FIGURA 2. Valor asignado a los LIG de interés para la Historia de la Geología (LIG-HG) para los usos científico, didáctico y turístico/recreativo. Se considerará valor muy alto si la puntuación supera los 6,67 puntos, valor alto las puntuaciones comprendidas entre 3,33 y 6,67 y valor medio las puntuaciones inferiores a 3,33 puntos.

Actualización del inventario de Patrimonio paleontológico de Andorra

Update of the Paleontological Heritage inventory of Andorra

G. Silvério[1], A. Margalef[2]

1 Instituto de Ciências da Terra, Pólo de Évora, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho 59, 7000-671, Évora, Portugal. goncalo.silverio@sapo.pt

2 Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA – IEA). Av. Rocafort 21-23, 3ª planta; Sant Julià de Lòria (Andorra). amargalef@iea.ad

Palabras clave: Patrimonio paleontológico, inventario, macrofósiles, Paleozoico, Pirineos

Resumen

El Departamento de Patrimonio Cultural del Gobierno de Andorra encargó en 2018 la revisión y actualización del inventario de Patrimonio Paleontológico hecho por Turu (2006), basado en la recopilación bibliográfica e identificación sobre el terreno de los afloramientos descritos en los trabajos realizados hasta aquel momento. Con el conocimiento que aporta la nueva cartografía geológica 1:25.000 realizada en Andorra a partir de 2004 (Clariana, 2015; Margalef, 2015), se consideró oportuno realizar una revisión y ampliación de dicho inventario.

En este trabajo presentamos los primeros resultados de la campaña de campo, que se enfocó en la revisión de los yacimientos descritos en el inventario, la re-identificación de los macrofósiles presentes en las muestras adquiridas en 2006 y la identificación y muestreo de nuevos yacimientos. Hasta el momento, 6 grupos fósiles procedentes de más de 90 afloramientos han sido identificados, con edades entre Ordovícico y Devónico inferior.

Abstract

In 2018, the Cultural Heritage Department of Andorra Government ordered a review and an update of the existing Paleontological Heritage Inventory made by Turu (2006), which was based on a bibliographical collection and field identification of the outcrops described in previous works. After the knowledge provided by the new1:25.000 geological mapping carried out in Andorra since 2004 (Clariana, 2015; Margalef, 2015), a revision and extension of the inventory was considered proper

In this work, we present the preliminary results of the fieldwork, which was focused on the revision of the already described outcrops, the re-identification of macrofossils present in samples acquired in 2006 and the identification and sampling of new outcrops. At the moment, 6 fossil groups from more than 90 outcrops have been identified, with ages ranging between Ordovician and Lower Devonian.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Manu Monge-Ganuzas la revisión de este resumen. Gonçalo Silvério tuvo la financiación del Instituto de Ciências da Terra a través de los fondos nacionales portugueses concedidos por la FCT (Refs: UIDB/04683/2020 y UIDP/04683/2020) y de la beca de doctorado, también concedida por la FCT (ref. 2020.08450.BD).

Referencias

Clariana, P. (2015). *Estratigrafía, estructura y su relación con el metamorfismo en la Zona Axial pirenaica en la transversal del Noroeste de Andorra y comarcas del Pallars Sobirà y el Alt Urgell (Lleida)*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, 190 p.

Margalef, A. (2015). *Estudi estructural i estratigràfic del sud d'Andorra.* Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, 172 p.

Turu, V. (2006). *Inventari del Patrimoni Paleontològic del Principat d'Andorra. Mapa i memòria.* Informe técnico. 5 volúmenes y 1 CD.

Un patrimonio hidrogeológico vinculado a la identidad local: las fuentes de Sant Hilari Sacalm (Girona, Catalunya).

A hydrogeological heritage linked to local identity: the springs of Sant Hilari Sacalm (Girona, Catalonia).

D. Soler[1,2], A. Menció[2], M. Ordeix[1,3] y L. Benejam[4]

1 Càtedra de l'Aigua, Natura i Benestar. Espai Aqua, Mas Garriga s/n, 17403 Sant Hilari Sacalm (Girona). catedraaqua@santhilari.cat
2 Centre de Geologia i Cartografia Ambiental, Departament de Ciències Ambientals, Facultat de Ciències, Universitat de Girona (UdG). C/ Maria Aurèlia Capmany, 69, 17003 Girona. david.soler@udg.edu, anna.mencio@udg.edu
3 Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis, Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC). Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis, Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya. Museu del Ter, Passeig del Ter 2, 08560 Manlleu (Barcelona).
4 Grup d'Ecologia Aquàtica, Departament de Biociències, Facultat de Ciències i Tecnologia , Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC). C/ de la Laura 13, 08500 Vic (Barcelona).

Resumen: Las fuentes son un patrimonio hidrogeológico especial, pues combinan interés desde el punto de vista natural, cultural, arquitectónico e inmaterial. En el municipio de Sant Hilari Sacalm (macizo de Les Guilleries, Girona, Catalunya) las fuentes son un rasgo muy importante de la identidad local como elemento crucial de la economía ya desde tiempos históricos. El catálogo realizado ha inventariado y caracterizado 206 fuentes. Se han clasificado bajo criterios hidrogeológicos e hidroquímicos. Un balance hídrico estimativo en muchas de ellas pone de relieve que la mayoría se encuentran en áreas de recarga efectiva del acuífero granítico del macizo, aunque también se ven sometidas al impacto de captaciones de agua subterránea o a la intercepción de flujos por parte de plantaciones silvícolas de coníferas. El trabajo también ha identificado todos aquellos elementos patrimoniales de las fuentes y su entorno que les aportan valor, así como las amenazas e impactos que comprometen la cantidad y calidad del agua, así como el valor ambiental del entorno donde se ubican. El trabajo constituye una herramienta de soporte a la gestión, conservación y divulgación de las fuentes como patrimonio natural y cultural.

Palabras clave: Fuentes, patrimonio hidrogeológico, catalogación, valorización, macizo de Les Guilleries.

Abstract: *Springs become a particular kind of hydrogeological heritage, since they encompass natural, cultural, architectural and immaterial interest. Springs are a prominent feature of popular identity in the municipality of Sant Hilari Sacalm (Les Guilleries massif, Girona, Catalonia), because of their historical contribution to the local economy. This work summarizes the results of an updated catalog which has listed and characterized up to 206 springs. They have been classified under hydrogeological and hydro-chemical criteria. Estimative hydric balance in most of the springs reveals that they are placed in areas of the massif with effective net recharge to the granitic aquifer, although many of them are subjected to impact of groundwater extractions or percolating water interception due to forestry activities. The study has characterized all the heritage elements related to the springs and the nearby surroundings that contribute to their value. It also has identified those threats and impacts that may endanger the available water in terms of quantity and quality and the environmental value of the spring sites. This work is intended as a tool for management, conservation and divulgation of springs as natural and cultural heritage.*

Keywords: *Springs, hydrogeological heritage, catalogue, valorization, Les Guilleries massif.*

INTRODUCCIÓN

Las fuentes son elementos del patrimonio natural y cultural en todo el mundo. En muchos lugares inspiran historias, leyendas, canciones y tradiciones del legado inmaterial. Son también un reflejo de la importancia que se da al agua, expresada a través de las infraestructuras destinadas a su captación, almacenaje, distribución y aprovechamiento. Bajo un punto de vista hidrogeológico, las fuentes constituyen un patrimonio que enlaza aguas subterráneas y superficiales. A su vez, son ecotonos situados en la frontera entre diversos ecosistemas acuáticos. Allí donde el agua es un recurso abundante y de calidad que aporta valor económico, natural, social o cultural al territorio, las fuentes son un activo que, como patrimonio hidrogeológico, es aconsejable conocer, proteger y divulgar (Carcavilla *et al.*, 2007; Menció, 2017). Es el caso de Sant Hilari Sacalm (Girona), municipio situado en el macizo de Les Guilleries donde las numerosas fuentes que manan del sustrato granítico constituyen un rasgo importante de la identidad local. Desde el siglo XVIII las fuentes han sido una de las bases de la economía local, aprovechadas para las actividades tradicionales del entorno rural, por establecimientos balnearios y, más recientemente, por plantas de envasado de agua mineral (Pladevall y Serradesanferm, 1986).

Con el objetivo de valorizar y promover dicho patrimonio, la Càtedra de l'Aigua, Natura i Benestar, de la Universitat de Girona y la Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya, ha realizado una catalogación de todas las fuentes del municipio. La tarea ha consistido en un inventario de las fuentes existentes y desaparecidas, incluyendo su caracterización hidrogeológica, la identificación del estado de conservación, amenazas o impactos a los que están sujetas, así como una recopilación de elementos naturales, arquitectónicos y culturales asociados. El trabajo ha permitido disponer de una base de datos detallada y actual sobre las fuentes, su entorno y lo que les aporta valor patrimonial, enfocada como herramienta de apoyo a la gestión y promoción del municipio.

METODOLOGÍA

La realización del catálogo de fuentes se ha llevado a cabo entre enero y junio de 2018, contemplando diversas tareas: 1) recopilación de inventarios parciales previos y otras publicaciones sobre las fuentes de la zona, lo que ha permitido confeccionar un listado que se ampliaba y modificaba conforme avanzaba el proyecto; en esta etapa se han realizado entrevistas con personas conocedoras de las fuentes; 2) trabajo de campo para la geolocalización, caracterización y muestreo de las fuentes y su entorno, recopilando la información relativa a identificación, situación y accesos, descripción de la fuente e infraestructuras asociadas, recopilación de datos hidrológicos y fisicoquímicos (caudal (Q), temperatura, conductividad eléctrica (CE), pH, oxígeno disuelto), descripción hidrogeológica del entorno e identificación de los elementos de valor natural y patrimonial; 3) análisis hidro-químico de iones mayoritarios y nutrientes principales, y determinación de isótopos estables del agua; y 4) trabajo de gabinete para la adición de otra información complementaria y compilación de la base de datos.

Los criterios de clasificación de las fuentes han sido: 1) Existencia de la fuente, diferenciando: fuentes existentes visitadas y con nombre confirmado o dudoso, fuentes probablemente existentes no visitadas, fuentes inexistentes confirmadas o probables, y puntos donde no existe fuente, pero en que se propone su habilitación. 2) Precisión de la ubicación. 3) Características hidráulicas: modalidad de fuente (surgencia natural, fuente de caño, de grifo, mina, tipos compuestos u otros), origen del suministro de agua (natural, conectada a red o derivada de embotelladora), estado general de conservación de la fuente y su entorno (de excelente a malo). 4) Tipo hidrogeológico: fuentes en rocas ígneas fisuradas, meteorizadas o relacionadas con diques; relacionadas con fracturas regionales; en materiales cuaternarios o en el contacto entre materiales cuaternarios y rocas ígneas; y fuentes artificiales (derivaciones de agua superficial, minas, de pozo). 5) Facies hidro-químicas.

Se realizado una aproximación al balance hídrico de muchas de las fuentes, para valorar las relaciones que se establecen entre recarga superficial procedente de las precipitaciones y los caudales surgentes, teniendo en cuenta la influencia de la climatología y la vegetación (Manga, 2001; Menció *et al.*, 2010). Los datos obtenidos han permitido evaluar la magnitud y posible origen o destino de flujos subterráneos. Para las fuentes donde se ha podido delimitar una cuenca hidrográfica de drenaje superficial, se ha considerado el porcentaje de ocupación de las cubiertas del suelo. Los datos hidrometeorológicos se han obtenido de la estación meteorológica de Sant Hilari Sacalm (http://www.meteoguilleries.cat), mientras que la evapotranspiración potencial se ha calculado a partir de las formulaciones propuestas por Turc, 1961, y la real (ETR) según Zhang *et al.*, 2001. El periodo analizado comprende los 30 días previos a la medida del caudal.

La base de datos del catálogo se fundamenta en un formulario de entrada de la información en diferentes formatos que se almacena en tablas vinculadas. Los apartados en que se organiza son: 1) Cabecera, con código, nombre de la fuente y otras denominaciones alternativas; 2) Situación y accesos; 3) Características de la fuente; 4) Entorno de la fuente; 5) Geología e hidrogeología; 6) Hidrología e hidroquímica; 7) Vegetación y patrimonio natural; 8) Patrimonio arqueológico, arquitectónico y cultural relacionado con el agua; 9) Catastro y urbanismo; 10) Territorio y paisaje; 11) Turismo; 12) Imágenes.

RESULTADOS

Se han registrado 206 puntos de agua (fuentes y otros asimilables) en Sant Hilari Sacalm. De estos, 157 ya aparecían en trabajos previos y 49 son de nueva citación. Se han caracterizado en su emplazamiento 144 fuentes, mientras que se tiene constancia de la existencia actual de 15 más, a las que por motivos varios no se ha podido acceder. Se ha confirmado que 16 fuentes previamente conocidas han desaparecido como tales, mientras otras 25 no verificadas sobre el terreno también es probable que ya no existan. En cuanto a tipología de fuente, se han identificado 94 fuentes de caño, 16 fuentes reguladas por grifo, 20 minas de agua y 11 surgencias naturales. Otros tipos incluyen balsas de retención de agua procedente de flujos naturales subterráneos, depósitos de acumulación de agua captada artificialmente, y derivaciones directas en arroyos. Por lo que se refiere al estado de conservación, 22 se encuentran en condición excelente, 53 en buen estado, 42 en estado mediocre y 24 en mal estado. Se han hallado 119 fuentes donde el agua brota de forma permanente, mientras que en 19 fuentes se tiene constancia de que pueden manar ocasionalmente, y 21 ya no lo hacen y se consideran secas (Figura 1).

La clasificación hidrogeológica se ha establecido en 148 fuentes (Figura 1). El grupo más numeroso es el de las fuentes en granitoides meteorizados y fisurados (85), al que se pueden añadir las 6 donde se ha constatado la relación con diques. Las fuentes en materiales cuaternarios son 38, y las captaciones artificiales son 16. Hay 4 fuentes relacionadas con fracturas regionales, aunque en otras se deducen también vínculos a partir de la hidro-química y los isótopos (Vilanova *et al.*, 2008).

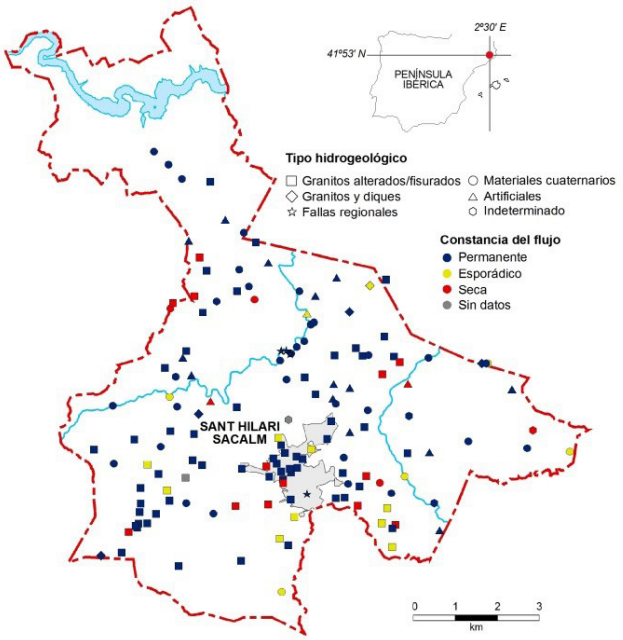


Figura 1. Municipio de Sant Hilari Sacalm, fuentes según tipo hidrogeológico (símbolos) y constancia de su flujo (colores).

Durante los seis meses del estudio se ha producido una precipitación acumulada de 551,1 mm, próxima a la media de la zona. A pesar de ello, en un 15% de las fuentes no se ha constatado surgencia del agua. La mayoría de ellas (65%) presentaron caudales de entre 1 y 10 L/h, con un máximo de 77 L/h. De la relación a nivel de cuenca hidrográfica entre caudal surgente y lluvia útil, Q/(P-ETR), se obtiene que la mayoría de fuentes (73) presentan un valor inferior a 1, lo que sugiere que, o bien se está extrayendo agua subterránea afectando al caudal de la fuente, o que las salidas de agua en dicha cuenca se dan principalmente de forma subterránea, con lo que habría una importante recarga efectiva hacia el acuífero granítico. Relaciones muy bajas se dan dentro del perímetro de captación de aguas minerales, y también en zonas con plantaciones de coníferas no autóctonas. En cambio, sólo en 6 fuentes el caudal es superior a la lluvia útil, lo que indica que presentan una cuenca hidrogeológica mayor a la meramente superficial. Sería el caso de las fuentes que reciben agua desde zonas de fractura de ámbito regional, o desde áreas elevadas de poco relieve con importantes grosores de perfiles de meteorización del granito que implicarían un drenaje subterráneo más extenso que el de su cuenca superficial.

A nivel hidro-químico, las fuentes estudiadas presentan una baja mineralización. Las CE medias son de 76,6 a 258,2 µS/cm en todos los tipos hidrogeológicos, excepto 1268,6 µS/cm en las relacionadas con fracturas regionales (con fuentes carbónicas o "picantes" y ferruginosas). La mayoría se asimilan a una facies bicarbonatada cálcica, representativa de flujos poco prolongados en materiales ígneos alterados, fisurados y con diques, en materiales cuaternarios y en relación a cursos superficiales. Se distinguen otros grupos menos frecuentes: una facies de clorurada sódica a bicarbonatada cálcica con más del 30% en cloruro que se asocia a tiempos de tránsito algo superiores; una facies bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica, en materiales ígneos intensamente meteorizados; una facies bicarbonatada cálcica-sódica en fuentes de muy baja mineralización; y finalmente el grupo de las fuentes "picantes", de facies bicarbonatada cálcica y muy alta mineralización. Sólo una fuente presenta problemas por contaminantes nitrogenados, aunque en otras el contenido conjunto, a niveles bajos, de nitrato, sulfato y cloruro sugiere cierta influencia antrópica. El fluoruro supera el valor normativo de 1,5 mg/L en las fuentes picantes y en algunas otras que no lo son, sugiriendo su relación con flujos profundos.

Los elementos patrimoniales de tipo arquitectónico relacionados con los usos del agua se agrupan en cinco categorías (ejemplos en la Figura 2): 1) Minas: 14 tienen boca construida y 4 tienen revestimiento interior; 2) Fuentes: 74 disponen de un frontal de toque rústico hecho con piedra granítica autóctona, mientras que en 14 otras el material es de obra, metal, o mixto. Hay 4 fuentes alojadas en edificaciones específicas, como las del balneario de la Font Picant, de principios del siglo XX e incluidas en el inventario de patrimonio arquitectónico de la Generalitat de Catalunya. Algunas tienen caños o grifos antiguos o curiosos, o bien presentan cavidades y estantes para recipientes de cierta relevancia; 3) Elementos exteriores de recogida y conducción de agua: presentes en 39 fuentes, se trata de picas, abrevaderos, lavaderos o balsas hechos con piedra rebajada, materiales cerámicos o de obra; 4) Mobiliario y decoración: aunque sean elementos de poco valor cultural, hacen más agradable del entorno de la fuente. Se trata de rótulos, placas o piedras con el nombre de la fuente, el año de construcción o textos literarios (84), mesas, bancos, asientos de piedra, obra o madera y zonas ajardinadas, así como indicadores y señales de recorridos senderistas, ciclistas y culturales; y 5) Edificios vinculados a los usos del agua: de época histórica hay dos hoteles-balneario así como un edificio en el núcleo urbano que antiguamente fue utilizado para la distribución de agua de bebida, y dos plantas de envasado de agua mineral actuales.

Entre los elementos naturales de interés, se destacan: vegetación del entorno de la fuente, árboles y bosques (catalogados como monumentales o de interés local y otros relevantes, 39 fuentes); otros atractivos (geología, paisaje, ríos y arroyos, 30 fuentes); o inclusión en áreas naturales protegidas (35) o en hábitats de interés comunitario (95). Por el contrario, se han identificado amenazas e impactos de origen humano y natural sobre las fuentes y sus áreas de alimentación hídrica, que comprometen tanto la cantidad y calidad del agua, como el valor patrimonial del entorno. La presencia de residuos de origen antrópico es en general baja, limitándose a moderada en fuentes situadas en el ámbito urbano, periurbano y las de fácil acceso más frecuentadas. Otros factores que afectan a la calidad ambiental incluyen el tráfico cercano a la fuente, ruidos, polvo y olores procedentes de actividades humanas. En las numerosas fuentes de áreas boscosas y rurales, los procesos naturales que causan impactos incluyen desprendimientos de tierras y piedras, proliferación de vegetación en general, así como caída de ramas o árboles tras episodios de viento o lluvia.

Localmente, los daños provocados por jabalíes pueden ser notables. Dado que muchas de estas situaciones se dan en fuentes ubicadas en lugares alejados y muy poco concurridos de fincas forestales particulares, estos problemas no suelen ser solucionados a corto plazo, lo que implica que sean la principal causa de deterioro de numerosas fuentes.



Figura 2. Ejemplos de fuentes y elementos patrimoniales de interés: a) Font del Pic, fuente urbana tradicionalmente muy popular; b) Font de la Formiga, fuente en entorno forestal; c) Construcción clásica catalogada en la Font de Sant Josep en el balneario de la Font Picant; d) Font de Santa Teresa, grifo de época histórica; e) Mina de agua dels Cortals del Mig, con revestimiento de obra de mediados del siglo XX.

Una de las actividades que se ha constatado que más influyen en el caudal y regularidad de las fuentes es la explotación silvícola en sus áreas de cabecera. Muchas parcelas forestales son objeto de aprovechamiento maderero, siendo destacable la superficie total dedicada a plantaciones de grandes coníferas exóticas, así como de abetos ornamentales. Los sistemas reticulares de estos árboles reducen considerablemente la infiltración hacia el subsuelo. Derivaciones de cursos superficiales para suministro de casas o fincas agrícolas contribuyen a esta situación. Además, el abandono progresivo de actividades tradicionales de aprovechamiento del bosque de tipo mediterráneo y mixto de la zona ha conllevado una densificación del sotobosque y una pérdida de espacios abiertos, conllevando un importante incremento de la evapotranspiración y disminución de la infiltración. En este sentido, las fuentes situadas en estos contextos se consideran las más vulnerables y sobre ellas sería preferible orientar acciones de mantenimiento y conservación vinculadas a la gestión forestal.

CONCLUSIONES

La realización del catálogo de fuentes de Sant Hilari Sacalm (macizo de Les Guilleries, Girona, Catalunya) ha permitido caracterizar 206 puntos de agua, tanto de fuentes como de surgencias asimilables. Las muchas fuentes del municipio, ubicadas en entornos urbano, periurbano, rural y forestal, han aportado históricamente abundante agua de calidad, constituyendo uno de los pilares de la economía local, y han sido asimiladas por sus habitantes como un rasgo de identidad propia. El trabajo ha incluido su geolocalización, caracterización hidrogeológica completa y la recopilación de diversa información relativa a sus características patrimoniales de tipo natural, arquitectónico y cultural, su estado de conservación, grados de protección y las amenazas e impactos existentes sobre ellas. La base de datos es punto de partida hacia medidas encaminadas a su gestión, conservación y divulgación como patrimonio hidrogeológico de alto interés cultural.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido financiado por el Consorci del Ter, Aigües Ter-Llobregat, el Ayuntamiento de Sant Hilari Sacalm, el proyecto de mejora de la productividad científica de la Universitat de Girona MOCUdG2016/61, y el Màster en Patrimoni de la Facultat de Lletres de la Universitat de Girona.

REFERENCIAS

Carcavilla, L., López, J. y Durán, J.J. (2007): *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos.* Cuadernos del Museo Geominero, 7. IGME, Madrid, 360 p.

Manga, M. (2001): Using springs to study groundwater flow and active geologic processes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29: 201-228.

Menció, A. (2017): Las fuentes de Osona (NE de Cataluña): Patrimonio natural y cultural a proteger y recuperar. En: Carcavilla, L., J. Duque-Maclas, J. Giménez, A. Hilario, M. Monge-Ganuzas, J. Vegas y A. Rodríguez (eds.), *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural*. Cuadernos del Museo Geominero, 21. IGME, Madrid, 445-451.

Menció, A., Folch, A. y Mas-Pla, J. (2010): Analyzing hydrological sustainability through water balance. *Environmental Management,* 45: 1175–1190.

Pladevall, A. y Serradesanferm, À. (1986): *Sant Hilari Sacalm, capital de les Guilleries*. Indústria Artesana FITER, Sant Hilari Sacalm, 168 p.

Turc, L. (1961): Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy,* 12 (1): 13–49.

Vilanova, E., Menció, A. y Mas-Pla, J. (2008): Determinación de sistemas de flujo regionales y locales en las depresiones tectónicas del Baix Empordà y la Selva (NE de España) en base a datos hidroquímicos e isotópicos. *Boletín Geológico y Minero*, 119(1): 51–62

Zhang, L, Dawes, W. R. y Walker, G.R. (2001): Response of mean anual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Researc*h, 37 (3): 701-708.

La experiencia de Geolodía-Alicante (2008-2020)

The experience of Geolodía-Alicante (2008-2020)

P. Alfaro[1], A. Aberasturi[2], J. Acosta[3], J.C. Aguilera[4], J.M. Andreu[1], J.F. Baeza[1], D. Benavente[1], I.F. Blanco[1], L. Campos[5], M. Cano[6], J.C. Cañaveras[1], H. Corbí[1], J. Cuevas[1], J. Delgado[1], D. Díez-Canseco[1], C. Domènech[5], C. Espinosa[4], A. Estévez[1], S. Falcés[1], M. Fernández-Mejuto[1], I. Fierro[1], M.A. García del Cura[7], E. García-Sánchez[8], A. Giannetti[1], A. González[5], J. González[5], I. González[5], P. Jaúregui[1], I. Martín-Rojas[1], I. Medina-Cascales[1], L. Oliver[4], S. Ordóñez[1], J. Parrés[4], J.R. Pascual[4], J.L. Pastor[6], J. Peral[1], F. Pérez-Valera[1], J.A. Pina[1], J. R. Pascual[1], A. Riquelme[6], J. Romero[9], S. Rosa-Cintas[10], J.L. Soler[1], J.M. Soria[1], J.E. Tent-Manclús[1], R. Tomás[6], A. Vela[4] y A. Yébenes[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Fac. Ciencias, Universidad de Alicante, 03069 San Vicente del Raspeig. pedro.alfaro@ua.es
2 Museo Paleontológico de Elche (MUPE), Plaça de Sant Joan 3, 03203 Elche.
3 Parc Natural de la Font Roja, Generalitat Valenciana.
4 IES Provincia de Alicante
5 Laboratorio IMASA LAB S.L., c/Florín 23, 03114 Alicante.
6 Dpto. Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Superior de Alicante, Universidad de Alicante, 03069 San Vicente del Raspeig.
7 Instituto de Geociencias, IGEO-CSIC, c/José Antonio Novais 12, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.
8 Dpto. Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández, 03202 Elche.
9 Área de Medio Ambiente, Diputación provincial de Alicante, Av. Orihuela 128, 03006 Alicante.
10 Dpto. Didáctica General y Didácticas Específicas, Universidad de Alicante, 03069 San Vicente del Raspeig.

Resumen: Desde el año 2008 han asistido casi 20000 personas al Geolodía de la provincia de Alicante. Para poder atender a más de 1000 personas cada año se ha diseñado una actividad con un formato que consiste en un itinerario a pie de entre 6 y 12 km, con unas 15 paradas explicativas breves, de aproximadamente 5 minutos cada una, sobre la mayor parte de las disciplinas geológicas, que se complementan con algunos aspectos biológicos e históricos-arqueológicos. La actividad ha tenido efectos muy positivos en la visibilidad de la Geología en la provincia.

Palabras clave: Alicante, divulgación, Geología, itinerarios de campo.

Abstract: *Almost 20000 people have attended Geolodía in the Alicante province since 2008. We designed an activity with an organization able to handle more than 1000 people each year. This activity consists of a walking itinerary of about 6 to 12 km long, with around 15 stops where some guides give brief talks of approximately 5 minutes each. These explanations include most of the geological disciplines, being complemented by some talks about biology, history and archaeology. This activity is causing a very positive impact on the visibility of Geology in the Alicante province.*

Keywords: *Alicante, outreach, Geology, field trips.*

INTRODUCCIÓN

El Geolodía, que comenzó en Teruel en 2005, se ha afianzado como una de las actividades más importantes de divulgación de la Geología en nuestro país (Crespo-Blanc *et al.*, 2011, 2016; Alonzo-Zarza *et al.*, 2016).

En la provincia de Alicante la respuesta del público ha sido extraordinaria desde la primera edición celebrada en 2008. La actividad ha mantenido siempre un formato parecido, aunque el número de participantes en 2008, 2013 y 2016 nos indujo a introducir cambios en la organización.

El primer Geolodía en la provincia de Alicante contó con el apoyo de José Luis Simón y de Luis Alcalá, que nos animaron a realizar esta actividad y nos facilitaron el logotipo y el formato del folleto que se utilizaba en Teruel. Esta primera edición, que se llevó a cabo en el Parc Natural de Serra Gelada, contó con dos rutas: una marítima con un paseo en catamarán por los imponentes acantilados de Serra Gelada, y otra a pie. El número de asistentes (635) superó con creces las expectativas, lo que nos animó a continuar con la actividad, incrementando el número de monitores. En 2009 se sumaron a la actividad Guadalajara, Huesca, Valencia y Zaragoza. El resto de la historia del Geolodía nacional se puede consultar en www.geolodia.es y en Crespo-Blanc *et al.* (2011, 2016).

En el caso particular de Alicante el número de asistentes fue creciendo año a año (Fig. 1), por lo que incrementamos el número de monitores incorporando en 2012 a estudiantes de los cursos más avanzados del grado de Geología. En 2013 asistieron 2500 personas al arrecife messiniense de Santa Pola, con un incremento de 1000 personas respecto al año anterior. Para poder atender con la mayor calidad posible

a los asistentes, en las ediciones de 2014 (Orihuela), 2015 (Alcoy) y 2016 (Agost) diseñamos dos itinerarios cada año: una ruta larga para público senderista y otra ruta más corta, con talleres, para público familiar. En 2016 la asistencia alcanzó 3000 personas, lo que nos hizo tomar la decisión de realizar una preinscripción con plazas limitadas y suprimir los talleres y la ruta familiar. Desde 2017 hasta la actualidad la actividad se ha centrado en una ruta de largo recorrido para público senderista y el límite de plazas ha oscilado, según las características de la ruta, entre 1100 y 1500. Un dato sorprendente es que las plazas se completan en menos de 24 horas, con amplias listas de espera.

A continuación se describen las características del Geolodía Alicante, que explican cómo se atiende a un público numeroso en una actividad de campo y, quizás, aporta algunas claves para entender la elevada demanda de la actividad.

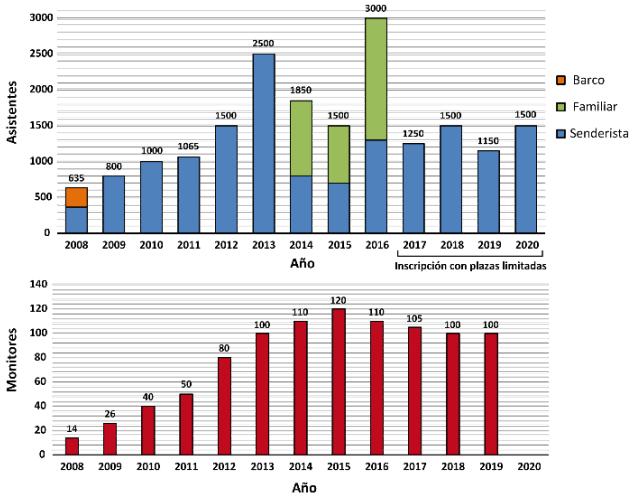


FIGURA 1. Número de participantes y de monitores en el Geolodía de Alicante desde 2008 hasta 2020. En las ediciones de 2014 a 2016 se indican los participantes en la ruta senderista y en la familiar.

CARACTERÍSTICAS DE GEOLODÍA ALICANTE

Requisitos

El itinerario elegido debe cumplir ciertos requisitos:

Ruta a pie: de medio-largo recorrido (entre 6 y 12 km es lo más aconsejable), que permita la práctica del senderismo y la distribución de los participantes en una zona amplia. El recorrido a pie facilita la logística y es un atractivo para los asistentes.

Paisaje y geología: la ruta debe resultar en sí misma atractiva desde un punto de vista paisajístico, siendo las explicaciones de los especialistas un valor añadido imprescindible. La Geología debe ser la protagonista esencial del paisaje.

Geodiversidad: a lo largo del itinerario debe haber una amplia variedad temática de elementos geológicos. En las ediciones de Alicante hemos sacrificado ahondar en temas de investigación, apostando por objetivos más generales teniendo en cuenta la diversidad del público que asiste al Geolodía. Desde la primera edición no hemos apostado por público que ya tiene conocimientos muy importantes sobre Geología, sino por público ávido de consumir un producto "cultural" y en contacto con la naturaleza. Se han evitado las rutas especializadas en una única temática (Fig. 2). Cuanto más multidisciplinar el itinerario, mejor ha sido el resultado. En ocasiones hemos incluido paradas "transversales" que podrían utilizarse en cualquier itinerario. Cuestiones elementales, como la estratificación de las rocas o la transformación de sedimento a roca, despiertan gran interés entre los asistentes.

Apoyo económico: el ayuntamiento donde se realiza la actividad debe sufragar parte de los gastos.

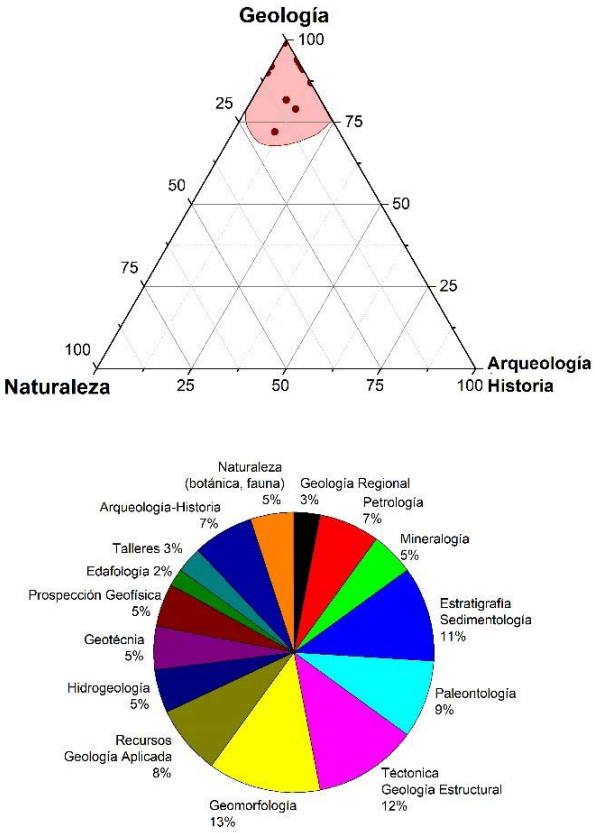


FIGURA 2. Superior: la Geología, que es la protagonista del Geolodía, se complementa con otros valores culturales de la ruta, como los biológicos, los arqueológicos o los históricos. Inferior: contenido multidisciplinar utilizado en estos doce años.

Formato y logística de la actividad

Los inscritos se agrupan en turnos de 30 minutos desde las 8 a.m. (primer turno) hasta las 11 a.m. (séptimo y último turno), respetando en la medida de lo posible el horario de inicio que han elegido cuando se han inscrito. De esta forma cada media hora se reciben entre 150 y 210 personas en el lugar de encuentro, que suele localizarse en el inicio de la ruta. Para ello es necesaria la existencia de una zona de aparcamiento amplia, con capacidad mínima de 400 vehículos. Para regular el aparcamiento se cuenta con el apoyo de la policía local. En ocasiones ha sido necesario ubicar la zona de aparcamiento a varios kilómetros del inicio de la ruta, utilizando en estos casos autobuses lanzadera.

Se recibe a los asistentes en una mesa de información donde se les hace entrega del cuaderno, una tabla del tiempo geológico y se les informa de la logística y de cómo deben iniciar la ruta. Conforme van llegando los asistentes se organizan grupos de entre 50 y 70 personas que comienzan la ruta en intervalos de diez minutos. Es importante aclarar que la ruta la hacen de forma libre, sin ningún guía, por lo que a lo largo de la mañana los componentes de los grupos varían ligeramente.

En cada parada explicativa hay una media de 4 monitores. Uno de ellos se encarga de recibir y organizar los grupos y los otros 3 monitores realizan explicaciones simultáneas a grupos de entre 15 y 25 personas, que es una cifra adecuada para explicaciones en el campo.

El tiempo de cada explicación es de 5- 6 minutos, que pensamos que es la duración ideal para una explicación de divulgación en el campo. Para ello es imprescindible seleccionar un único tema de explicación por parada. Cuando en alguna ruta hay un aspecto geológico más relevante le asignamos varias paradas repartidas a lo largo del itinerario, lo que permite un tratamiento más profundo. Por ejemplo, en 2019 los aspectos relacionados con la cueva del Canelobre fueron explicados en cinco paradas diferentes: características de la cueva, espeleo-temas, la prospección geofísica en la investigación de cavidades, origen del karst de la sierra del Cabeçó d'Or, y también se hizo referencia a la karstificación en la parada sobre hidrogeología.

Recursos didácticos

Además del apoyo gráfico habitual en explicaciones de campo, utilizamos otros recursos para que la actividad resulte más atractiva. Los talleres dirigidos a un público más familiar son de los más demandados, pero por los motivos expuestos dejamos de organizarlos desde 2017.

También es frecuente, como complemento a las explicaciones, usar instrumentación científica (lupas binoculares, microscopios petrográficos, tamices, etc.) o modelos análogos sencillos que construimos para la ocasión. En algunas ediciones la empresa GEALAND y el Museo Paleontológico de Elche (MUPE) han reproducido excavaciones paleontológicas adaptadas a alguna de las temáticas del itinerario. Por otra parte se han incorporado en el itinerario una o varias paradas donde se trata el mundo profesional de la Geología. Contamos con el apoyo de la empresa IMASALAB S.L., que lleva un camión de sondeos geotécnicos e instrumentación. También utilizamos diferentes equipos de prospección geofísica (equipos de sísmica de refracción, sismómetros, gravímetros, georadar, etc.) o instrumentación para determinar parámetros físico-químicos del agua, ya que en casi todas las ediciones se incluye alguna parada de hidrogeología.

Otra característica esencial en la actividad de Alicante es combinar la geología con otros valores naturales (botánica, biología marina, etc.) y culturales (historia, arqueología, etnología, etc.). En las actividades de divulgación realizadas en entornos naturales el público general demanda conocer los principales elementos del patrimonio, no sólo los geológicos. Utilizamos los elementos culturales más relevantes del entorno, aunque la geología siempre es la protagonista principal (Fig. 2).

Finalmente elaboramos un cuaderno de 40 páginas que incluye la interpretación del itinerario. De esta forma el Geolodía no finaliza el segundo fin de semana de mayo. Este documento es un recurso muy utilizado por los ayuntamientos, ya que parte de la información puede ser utilizada en centros de interpretación municipales o en paneles de interpretación. Así también los centros escolares disponen de un documento para las actividades de campo. Asimismo los cuadernos se pueden consultar en la web del Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante (https://dctma.ua.es/es/).

Publicidad

Para conseguir la elevada asistencia en las primeras ediciones fue clave la colaboración del profesorado de Enseñanza Secundaria de la provincia de Alicante. Hemos trabajado en red con ellos desde 1990, de manera que cuando se convocó en 2008 el primer Geolodía la publicidad que hizo el profesorado entre sus familiares, amigos y estudiantes, junto a la que hicimos entre las asociaciones de senderismo y las asociaciones culturales explica las elevadas cifras de asistentes.

En los últimos años la publicidad principal se basa en un correo electrónico que dirigimos a los participantes de ediciones anteriores. Aunque este e-mail es suficiente para completar las plazas disponibles, seguimos haciendo publicidad de la actividad, especialmente en el municipio donde se va a celebrar, para ir ampliando el número de personas interesadas.

Monitores

En el Geolodía de Alicante participa casi toda la comunidad geológica alicantina. En las últimas ediciones hemos sido unos 100 monitores, con un 60% de profesionales y un 40% de alumnado de últimos cursos del grado de Geología. Entre los profesionales suelen participar un 80% de geólogos e ingenieros geólogos y un 20% de otros colectivos (biólogos, geógrafos, historiadores, ingenieros, químicos, etc.). La Universidad de Alicante es la institución que más geólogos aporta, con el Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente además de geólogos e ingenieros geólogos de la Escuela Politécnica Superior y de la Facultad de Educación. También colaboran geólogos de la Universidad Miguel Hernández de Elche, de la Diputación Provincial de Alicante, de Medio Ambiente y de Aguas Subterráneas. Otra colaboración esencial es la de las empresas IMASALAB y GEALAND, además del MUPE. También participa profesorado de centros de Enseñanza Secundaria de la provincia. Finalmente contamos con la colaboración incondicional de los estudiantes de 3er y 4º curso del grado de Geología de la Universidad de Alicante, y en las últimas ediciones se suman estudiantes que están cursando algún máster y alumnado egresado.

IMPACTO DE LA ACTIVIDAD

La elevada participación en el Geolodía de Alicante ha generado varios impactos positivos: (1) ha aumentado la visibilidad de la Geología en varios centros de interpretación en Agost, Callosa del Segura o Busot; (2) ha facilitado la creación de paneles interpretativos geológicos en varios espacios de la provincia (arrecife fósil de Santa Pola, cala del Moraig, vía verde del Maigmó, yacimiento arqueológico de Peña Negra, Els Arcs, entre otros); (3) ha incrementado la sensibilidad de las administraciones locales, provincial y regional, como prueba la declaración de varios Monumentos Naturales por su interés geológico como (límite K-T de Agost, Cabezo de la Sal de Pinoso); (4) ha aumentado la impartición de contenidos geológicos en la Enseñanza Secundaria si comparamos, por ejemplo, las cifras de estudiantes que cursan la Geología de 2º de Bachillerato con las de provincias vecinas.

Otra evidencia del impacto positivo de la actividad es la petición de varios ayuntamientos de la provincia a la Universidad de Alicante para que organice un Geolodía en su término municipal.

CONCLUSIONES

La experiencia del equipo GeoAlicante pone de manifiesto que las actividades de divulgación de la Geología despiertan gran interés entre el público general. Además estas actividades tienen un efecto positivo entre las administraciones más próximas (local, provincial y regional), que toman conciencia de la importancia de la Geología como disciplina científica, así como del valor del patrimonio geológico.

Con la premisa de que debe primar la calidad sobre la cantidad, es posible organizar actividades de campo para un público numeroso, con un formato que reparta a los participantes en el tiempo y en el espacio. Las rutas de senderismo, con la mayor variedad temática posible y explicaciones breves en cada parada, son un cóctel que ha dado muy buen resultado en la provincia de Alicante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración a la SGE y la AEPECT, así como el patrocinio de la FECYT. También a la Universidad de Alicante, a la Generalitat Valenciana (Medio Ambiente), a la Diputación de Alicante y a los ayuntamientos de Alicante, Benitatxell, Pinoso, Santa Pola, Orihuela, Alcoy, Agost, Crevillent, Busot y Calpe, y al Parc Natural de Serra Gelada. Y muy especialmente queremos agradecer la ayuda y colaboración de nuestros estudiantes del grado de Geología de la Universidad de Alicante, sin los cuales no hubiese sido posible realizar la actividad con este formato.

REFERENCIAS

Alonso-Zarza, A.M., Aurell, M., Carcavilla, L., Corral, I. y Crespo-Blanc, A. (2016): Geolodía. *Geoscientist*, mayo: 16-19.

Crespo-Blanc, A., Alcalá, L., Carcavilla, L. y Simón, J.L. (2011): Geolodía: origen, presente y futuro. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.1: 95-103.

Crespo-Blanc, A., Alfaro, P., Alonso-Zarza, A.M., Aurell, M., Calonge, A., Carcavilla, L. y Corral, I. (2016): Geolodía para un público numeroso: claves para su organización. *Geogaceta*, 59: 79-82.

Las texturas de las rocas. Visión microscópica del substrato geológico de Cataluña

Rock textures. Microscopic view of the Catalonian geological substrate

G. Alías[1], M. Aulinas[1], I. Cantarero[1] y M. Vilà[2]

1 Dpt. Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Fac. Ciències de la Terra, Univ. Barcelona, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. galias@ub.edu; meritxellaulinas@ub.edu; i_cantarero@ub.edu
2 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona. MiquelVila@icgc.cat

Palabras clave: divulgación, geología, rocas, texturas, Cataluña.

Resumen

La observación de las texturas de las rocas es fundamental para entender las condiciones de enfriamiento o de sedimentación, la fuente de calor o el orden de crecimiento de los minerales. Los minerales, en cambio, nos hablan de la composición química de la roca, de las condiciones de presión y/o temperatura a las que se han formado, de la presencia de agua u oxígeno disponible, o del pH. El relato de las texturas es pues muy potente. Si bien toda esta información se desarrolla en el ámbito de la petrología, a menudo estas interpretaciones son desconocidas para otras ramas de la geología y en especial para la sociedad en general. Es en este contexto que el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya ha impulsado y financiado un proyecto que incluye una exposición itinerante de 30 muestras rocosas que han elaborado petrólogas, miembros del Grupo de Innovación Docente "Geoquímica i Roques Ígnies, Metamòrfiques i Sedimentàries" (GRIMS; GINDOC-UB/137) de la Universidad de Barcelona. La exposición[1] es una visión microscópica de diez rocas ígneas, diez rocas sedimentarias y diez rocas metamórficas del substrato geológico de Cataluña que, más allá de su belleza, pretende acercar las rocas a profesionales de las Ciencias de la Tierra, estudiantes de educación Primaria y Secundaria y a la sociedad en general. Al margen de la exposición, los contenidos elaborados en el proyecto son el material base para otras acciones relacionadas con la divulgación del conocimiento de las texturas de las rocas y la geología en general a través de distintos formatos, como son una monografía[2] o una web de consulta[3].

Abstract

The observation of rock textures is essential to understand the conditions of cooling or sedimentation, the source of heat, or the mineral growth sequence. On the other hand, minerals tell us about the chemical composition of the rock, the conditions of pressure and/or temperature at which they have been formed, the presence of available water or oxygen, or the pH. The story of textures is therefore very powerful. While all this information is developed in the field of petrology, these interpretations are often unknown by other branches of geology and especially by society in general. It is in this context that the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) has promoted and financed a project that includes an itinerant exhibition of 30 rock samples prepared by petrologists, members of the Teaching Innovation Group "Geoquímica i Roques Ígnies, Metamòrfiques i Sedimentàries" (GRIMS; GINDOC-UB/137) of the University of Barcelona. The exhibition[1] is a microscopic view of ten igneous rocks, ten sedimentary rocks and ten metamorphic rocks of the geological substrate of Catalonia that, beyond its beauty, intends to bring the rocks closer to Earth Science professionals, Primary and Secondary School students and society in general. In addition to the exhibition, the contents elaborated in this project are the base material for other actions related to the dissemination of knowledge on rock textures and geology through different formats, such as a monograph[2] and a consultation website[3].

1 https://app1.icgc.cat/pub/icgc_expo_texturesroques_2020.pdf
2 https://www.icgc.cat/Ciutada/Informa-t/Llibres-i-fons-documentals/Llibres-en-PDF/Llibres-tecnics
3 https://www.icgc.cat/ca/L-ICGC/Sobre-l-ICGC/Recursos-didactics/Textures-de-les-roques-Recurs-didactic

Un catálogo completo de habilidades para el sector de las materias primas y estructura de la educación del sector en el mundo

A comprehensive skills catalogue for the raw materials sector and the structure of raw materials education worldwide

A. Alonso-Jiménez[1,7], P. Hartlieb[2], V. Correia[3], M. Regueiro[4], S. Solar[5] y A. Cseko[6]

1 Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. a.alonso@igme.es
2 Montanuniversitaet Leoben, Leoben, Austria. philipp.hartlieb@unileoben.ac.at
3 European Federation of Geologists, R. Jenner 13, 1000 Bruselas, Bélgica. vcorreia@apgeologos.pt
4 Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. m.regueiro@igme.es
5 EuroGeoSurveys, Rue Joseph II 36-38, 1000 Bruselas, Bélgica. slavko.solar@eurogeosurveys.org
6 La Palma Research Centre for Future Studies SL, 38787 Garafía, Canarias. director@lapalmacentre.eu
7 Universidad Politécnica de Madrid, c/Ríos Rosas 21, 28003 Madrid. a.alonso@igme.es

Palabras clave: educación, materias primas, habilidades de enseñanza, formación en minería.

Resumen

La educación del sector de las materias primas está sufriendo cambios estructurales significativos. De un lado las habilidades que se necesitan en las tecnologías emergentes y los depósitos minerales son un reto cada vez mayor y están cambiando más rápido de lo que la fuerza laboral actual puede actualizarlos. De otro el sector educativo se centra en la educación "clásica" de temas relacionados con materias primas (que van desde la geología hasta la minería y el procesamiento de minerales). Hay una gran necesidad de que ambas partes comprendan las necesidades y limitaciones y se pongan de acuerdo teniendo en cuenta lo regulado. Esta ponencia tiene como objetivo generar una base de conocimiento para el análisis futuro de la educación en materias primas, identificando las habilidades enseñadas actualmente y la estructura de la educación superior en el sector. Para ello se presenta una definición de habilidades, conocimientos y áreas de enseñanza, lo que lleva a un completo "catálogo de habilidades". Este catálogo constituye la base para un inventario de la educación de materias primas en todo el mundo. Se puede demostrar que este sector educativo se centra en Europa y que la lengua inglesa y española son los idiomas de enseñanza más abundantes. Incluso en países donde estos idiomas no son la lengua materna. Casi todas las instituciones enseñan temas relacionados con la geología básica o la minería, mientras que la participación de las nuevas tecnologías, y especialmente las habilidades blandas, como la comunicación y la gestión, están poco representadas.

Abstract

Education in the raw materials sector is having significant structural changes. On the one hand, the skills needed in emerging technologies and mineral deposits are a growing challenge, and they are changing faster than the current workforce can update them. However, the education sector focuses on the "classical" education of issues related to raw materials (ranging from geology to mining and mineral processing). There is a great need for both parties to understand the needs and limitations of the other respective partner in this business. This paper aims to generate a knowledge base for the future analysis of education in raw materials, identifying the skills currently taught and the structure of higher education in the sector. For doing that, a definition of skills, knowledge and teaching areas is presented, which leads to a complete "catalogue of skills". This catalogue forms the basis for an inventory of raw material education worldwide. It can be shown that this educational sector focuses on Europe and that English and Spanish are the most abundant teaching languages. Even in countries where these languages are not the mother tongue. Almost all institutions teach topics related to basic geology or mining, while the participation of new technologies, and especially soft skills, such as communication and management, are poorly represented.

EIT Raw Materials: 3D BRIEFCASE, maletín de aplicaciones minerales

EIT Raw Materials: 3D BRIEFCASE of mineral applications

A. Alonso-Jiménez[1,2] y M. Regueiro[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (CSIC), c/Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. a.alonso@igme.es ; m.regueiro@igme.es
2 Universidad Politécnica de Madrid, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid, antonio.alonsoj@alumnos.upm.es

Palabras clave: educación materias primas, habilidades de enseñanza, formación en minería, economía circular.

Resumen

El proyecto 3D BRIEFCASE busca acercar las materias primas minerales y la minería al conjunto de la sociedad. Su objetivo es que los estudiantes conozcan y comprendan de dónde provienen los productos minerales que utilizan en la vida diaria, qué minerales se pueden encontrar en su entorno, para qué se explotan y cómo afectan nuestras compras diarias. Muestra que no es posible vivir sin minerales y sin minas pero, a través del ejemplo y un enfoque amigable, que la minería es una actividad moderna y que su impacto social y ambiental puede mitigarse, por ejemplo, mediante la implementación de la minería de residuos cero como parte de la economía circular, asegurando una extracción mineral sostenible. El maletín es un producto innovador que ha sido utilizado con éxito por el Museo Geominero en Madrid. Durante la primera parte del proyecto (2019) se desarrollaron nuevos maletines físicos que cubren aspectos sensibles de las actividades mineras y se enfocan a los alumnos de Primaria (6-12 años) y a sus profesores. El proyecto ha generado contenidos prácticos y teóricos para los maletines físicos que abarcan los siguientes minerales: cobalto, col-tan (Columbo-Tantalita), diamante, germanio, oro, litio y estaño, y está desarrollando la compilación del material virtual (https://www.thebriefcasegame.eu/) de todos estos materiales para ofrecer una herramienta interactiva que los alumnos puedan utilizar por sí mismos. En la segunda fase del proyecto 3D BRIEFCASE (2020-2021), se propone convertir la herramienta virtual en una aplicación de realidad aumentada para atraer a estudiantes de hasta 18 años, adaptar la herramienta para una aplicación 3D y jugar con gafas 3D.

Abstract

The 3D BRIEFCASE project seeks to bring mineral raw materials and mining closer to society as a whole. Its ultimate goal is that students get to know and understand from where the mineral products they use in daily life come from, what minerals can be found in their environment, for what are being exploited, and how our daily purchasing decisions affect the social environment of the people who live in countries with mineral resources exploitation. It shows that it is not possible to live without minerals and without mines but, through examples and a friendly approach, it also shows that mining is a modern activity and its societal and environment impact can be mitigated by, for example, the implementation of zero waste mining as part of circular economy, ensuring sustainable mineral extraction. The briefcase is an innovative product that has been used successfully by the Geo-Mining Museum, part of the Spanish Geological Survey (Madrid). During the first part of the project (2019) we developed new briefcases covering sensitive aspects of the mining activities and focusing on Primary School students (6-12 years old) and their teachers. The project has generated practical and theoretical contents for the physical briefcases that cover the following minerals: cobalt, col-tan (Columbo-Tantalite), diamond, germanium, gold, lithium, and tin, and it is developing the virtual material (https://www.thebriefcasegame.eu/) compiling all these materials to offer an interactive tool that can be self-used by pupils. Some workshops will be offered in the partner's locations during the end of the current year, to teach teachers how to use this tool. Now, in the second part of the project 3D BRIEFCASE (2020-2021), we propose to improve the virtual tool into an augmented reality application to attract students up to 18 years old and to adapt the tool for a 3D-application to play with 3D-glasses.

Introducción a la Petrología Sedimentaria. Curso abierto (OCW) de la Universidad de Oviedo

Introduction to Sedimentary Petrology. Open course (OCW) of the University of Oviedo

F. J. Alonso Rodríguez[1] y V. G. Ruiz de Argandoña[1]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. fjalonso@uniovi.es vgargand@uniovi.es

Palabras clave: Petrología. Rocas sedimentarias. Clasificación y nomenclatura.

Resumen

Introducción a la Petrología Sedimentaria es un curso de libre acceso de la Universidad de Oviedo donde se recogen los conocimientos de la materia tal como se ha impartido y actualmente se imparte en primer curso del grado en Geología de la Universidad de Oviedo. Atiende sobre todo a los aspectos petrográficos básicos y prácticos de los distintos tipos de rocas sedimentarias (composición, textura, clasificación y diagénesis), a los procedimientos para su estudio y en menor medida a sus aspectos genéticos y aplicados. El curso incluye el *material de clase* constituido por las presentaciones con el contenido teórico de la materia, organizada en diez temas (conceptos generales; ciclo exógeno; características y técnicas de estudio; ruditas; areniscas; lutitas; volcanoclásticas; carbonatadas; silíceas, fosfatadas y ferruginosas; evaporitas y orgánicas) y *actividades prácticas* donde se proponen distintos ejercicios (definiciones, léxico petrográfico, clasificaciones, técnicas de estudio e imágenes petrográficas microscópicas para su identificación) y se indica el resultado. Además, se aporta como *material de estudio* documentos complementarias sobre algunos temas, y dentro del apartado *otros recursos* informaciones relevantes de libre acceso en la red (libros, páginas web, presentaciones y documentos). Finalmente se facilita una *evaluación* de los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos mediante la realización de distintos tipos de ejercicios tipo test y se indica las respuestas.

Abstract

Introduction to Sedimentary Petrology is a free access course from the University of Oviedo where knowledge of the subject is collected as it has been taught and is currently taught in the first course of the degree in Geology at the University of Oviedo. It mainly addresses the basic and practical petrographic aspects of the different types of sedimentary rocks (composition, texture, classification and diagenesis), the procedures for their study and, to a lesser extent, their genetic and applied aspects. The course includes the class material constituted by the presentations with the theoretical content of the subject, organized in ten topics (general concepts; exogenous cycle; characteristics and study techniques; rudites; sandstones; mudrocks: volcanoclastic; carbonated; siliceous, phosphate and ferruginous; evaporites and organic) and practical activities where different exercises are proposed (definitions, petrographic lexicon, classifications, study techniques and microscopic petrographic images for identification) and later the result is indicated. In addition, complementary documents on some topics are provided as study material, and within the section other resources relevant information freely available on the web (books, web pages, presentations and documents). Finally, it provides an evaluation of the theoretical and practical knowledge acquired through the performance of different types of test exercises and indicates the answers.

Referencias

Alonso F.J. y Ruíz de Argandoña V.G. (2019). Introducción a la Petrología Sedimentaria. Open Curse Ware, Universidad de Oviedo. http://ocw.uniovi.es/course/view.php?id=198

La tarta geológica: la tabla del tiempo geológico en tus manos

The geological cake: the geologic time scale in your hands

A.M. Alonso-Zarza[1,2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. IGME, Calle Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.
2 Dpto. Mineralogía y Petrología, Fac. CC. Geológicas, Instituto de Geociencias, CSIC. Universidad Complutense. 28040 Madrid.
alonsoza@ucm.es

Palabras clave: capas de barro, fósiles, río, cuchillo, tiempo geológico.

Resumen

Si hay algo que diferencia a los profesionales de la Geología de otros científicos es nuestra percepción del tiempo. Si pensamos en un público general o en estudiantes de Primaria o ESO, no es fácil acercarlos a la larga historia de nuestro planeta, pues está marcada por tiempos muy largos, que poco tienen que ver con los rangos temporales que están acostumbrados a manejar. Además esa historia está escrita en un lenguaje no siempre comprensible, el lenguaje de las rocas. Este es el objetivo del taller "La tarta geológica", acercar al público general al lenguaje y al tiempo marcado en las rocas. Para el taller se requieren los siguientes materiales: láminas de distintos colores de arcilla, plastilina o cualquier material similar, réplicas de fósiles, una bandeja y un cuchillo. En la bandeja se irán disponiendo una encima de otra las distintas capas de arcilla en las que se pueden insertar los fósiles correspondientes a distintos tiempos geológicos (s.l.). Así se irá explicando cómo se sedimentan unas capas sobre otras y el enterramiento de los fósiles. Se pueden elegir distintos rangos de tiempo geológicos o aprovechar para explicar las grandes extinciones. Es fácil visualizar que al igual que una tarta las capas de más abajo son las más antiguas y las de arriba las más modernas. Una vez colocadas todas las capas se puede cubrir todo con arcilla o plastilina de color verde (vegetación), para indicar que esas capas muchas veces no son visibles. Una vez terminada la tarta es el momento de cortarla e indicar que el papel que hace el cuchillo es el papel que hacen los ríos y la erosión, que así nos dejan ver los estratos y sus fósiles. Se pueden extraer distintos trozos de la tarta y distribuir para que localicen los distintos fósiles y el orden en que aparecen. Con esta experiencia es fácil trasladarlos a la tabla cronoestratigráfica y hacerles ver que, aunque de una forma muy simple, la han tenido en sus manos. Este taller puede considerarse el más básico; pueden diseñarse otros con plegamientos, fallas, discordancias, etc. Por otra parte, y en el caso de la arcilla, se puede dejar secar y explicar también el proceso de litificación.

Abstract

The understanding of geological time is easy for geologists, but not for a general audience or Primary or Secondary School students, who are not used to the long times of our planet's history. In addition, this history is written in a language they don't commonly understand, the language of rocks. The aim of this workshop is to bring geological time and rocks contained in it closer to students or to a general audience. The workshop requires the following material: colored clay or other plastic material, models of fossils, a tray, and a knife. The sedimentation of different sedimentary beds would be explained as the laminae of clay placed one over the other on the tray, in which models of different fossils can be inserted to explain the burial of fossils. It is possible to choose different ranges of geological time and also to explain extinctions. It is easy to visualize how similarly than in a cake the lower beds (laminae) are the oldest and the upper ones the youngest. Once all the beds/laminae are placed, all the cake will be coated by green clay (vegetation) showing that beds many times are not visible. Once the cake is finished it is the time to cut it and indicate that the knife is like a river, which allows us to see the strata. Pieces of the cake can be taken out and be handled to the audience/students, so they can see the strata and fossils, and reconstruct the order they were deposited. With this experience we pretend they can easily understand the chronostratigraphic timetable that, in a way, they have had in their hands in a simplified version. This workshop is the most basic one, but different ones with folds, faults or unconformities can be designed. In addition, in the case of the clay they can let it dry and then understand the lithification process.

Explorando Marte a través de la mirada de los niños (Proyecto STIM)

Exploring Mars through children´s eyes (STIM Project)

A. Anglisano[1, 5], D. Brusi[2, 5], A. Calonge[3, 5] y X. Juan[4, 5]

1 Dpto. Geología, Universidad Autónoma de Barcelona. anna.ar.93@gmail.com
2 Dpt. Ciències Ambientals, GEOCAMB, Fac. Ciències, Universitat de Girona. david.brusi@udg.edu
3 Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid). a.calonge@uah.es
4 European Geociences Union, Spanish Field Officer for Education. xjuan03@gmail.com
5 Asociación Española Para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT).

Resumen: STIM (Schools Tune into Mars) es un proyecto de la Unión Europea subvencionado por el Programa Erasmus+ cuyo principal objetivo es proporcionar materiales didácticos sobre contenidos curriculares relacionados con las Ciencias de la Tierra y del Espacio en general. Esta comunicación presenta los primeros resultados del proyecto y da a conocer aquellos objetivos que puedan interesar a la comunidad educativa. En primer lugar se describen los resultados obtenidos del proyecto hasta el momento: recursos educativos para profesores de ciencias, tales como un recopilatorio amplio de actividades prácticas, algunas de ellas basadas en datos registrados en Marte, o un conjunto de webinars. Finalmente se avanzan las próximas actividades que surgirán del proyecto, tales como una guía pedagógica y un Curso Masivo Abierto Online (MOOC) que lleva por título “Traer las misiones de Marte al aula”.

Palabras clave: misión InSight; sismología; Erasmus+; Marte; planetología.

Abstract: *STIM (Schools Tune into Mars) is an Erasmus+ Project funded by the European Union. Its main objective is to provide teaching materials related to Earth and Space Sciences. This paper introduces those objectives, which could be of interest for the teaching community, and presents its first results. First, we describe the results of the project so far: teaching resources for science teachers under the form of a wide range of practical activities, some of them based on data registered on Mars, plus a set of webinars for teachers. Finally, we present the next activities that will arise from the project, like a pedagogical guide and a Massive Open Online Course (MOOC) called “Bringing the Mars missions into the classroom”.*

Keywords: *InSight mission; seismology; Erasmus+; Mars; planetology.*

INTRODUCCIÓN

El proyecto Schools Tune Into Mars (STIM por sus iniciales en inglés, Fig. 1) forma parte del programa Erasmus+ de la Unión Europea (UE) y está financiado por ésta. Se trata de un proyecto KA2 (Acción Clave 2) de “Cooperación para la Innovación y el Intercambio de Buenas Prácticas”. Este proyecto tendrá una duración de tres cursos académicos completos, desde el 1 de septiembre de 2019 hasta el 31 de agosto de 2022. Las entidades participantes, de cuatro países europeos, son:

– Lycée International de Valbonne, Francia, vinculado al grupo de trabajo de sismología de la Université Côte d’Azur. Este centro coordina el proyecto y es el enlace con el Programa Erasmus+.

– Institutul National de Cercetare-Dezvoltare Pentru Fizica Pamantului (Instituto Nacional de Investigación-Desarrollo para la Física de la Tierra) de Bucarest, Rumanía.

– European Schoolnet-EUN Partnership AISBL de Bruselas, Bélgica.

– Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT), a la cual pertenecen los cuatro autores de este artículo.



FIGURA 1. Logotipo del proyecto.

INSIGHT Y LOS CENTROS DE SECUNDARIA

La sonda InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) de la NASA se lanzó hacia Marte el 5 de mayo de 2018 y “amartizó” el 26 de noviembre de ese año.

Entre los aparatos que equipan esta sonda nos interesamos especialmente por el sismómetro, desplegado en los meses siguientes a su amartizaje, que fue desarrollado y construido por la Universidad de Côte d’Azur, estrechamente relacionada con el centro coordinador del proyecto. Por primera vez, a través de STIM profesores de enseñanza

secundaria pueden analizar simultáneamente con los científicos los datos sísmicos procedentes de Marte.

El desarrollo del proyecto se articulará en torno a una serie de reuniones de coordinación, conferencias y encuentros de formación periódicos que incluyen la participación de profesores con los trabajos realizados con alumnos.

ANÁLISIS DE LOS PRIMEROS RESULTADOS

Los principales resultados que se espera alcanzar al final del proyecto son:

– Página web actualmente en construcción (https://insight.oca.eu/fr/stim-resources) desde la que se podrán consultar todos los materiales elaborados por el proyecto.

– Actividades STEM y prácticas para profesores (en la web). Un total de 23 actividades clasificadas en cinco categorías diferentes: características de los planetas rocosos, el medio ambiente de los planetas rocosos, misión espacial a Marte, geología externa de Marte vs. la Tierra y Geología interna de Marte vs. la Tierra.

– Webinars (seminarios web) para profesores, de acceso libre en la web junto con edu-Teasers (https://insight.oca.eu/fr/insight-resources#webinars), que proporcionan una formación inicial en temas relacionados con la misión InSight y el proyecto STIM.

– Guía pedagógica del proyecto en formato digital (con posibilidad de impresión) que recogerá todos los contenidos educativos de aquellas actividades STEM más complejas.

– Curso Masivo Abierto On-Line (MOOC) para que los profesores que lo deseen puedan beneficiarse del proyecto.

Estrategias de desarrollo: centros piloto

Para el desarrollo del proyecto STIM las entidades asociadas cuentan con la inestimable colaboración tanto de centros de Educación Secundaria de los países involucrados como de los profesores de ciencias de estos centros, que son los principales destinatarios del proyecto. De este modo se pretende encontrar una manera eficaz de hacer participar a los estudiantes y profesores de geociencias en nuevas fórmulas de llevar a cabo el proceso enseñanza - aprendizaje.

Para ello, en una primera fase, se decidió realizar una encuesta en tres países (España, Francia y Rumanía) entre centros interesados en ser centros piloto del proyecto (Fig. 2). De los 69 centros que respondieron positivamente a la llamada en España, se tuvieron que seleccionar cinco centros piloto. Del mismo modo se seleccionaron cinco centros piloto en Francia y otros cinco en Rumanía. En España AEPECT seleccionó los cinco centros por sorteo en streaming abierto de una plaza por cada una de las cinco zonas en que se dividió el territorio nacional con un número parecido de centros. Los cinco centros seleccionados fueron:

– IES Antonio Navarro Santafé, Valencia.

– IES San Blas, Huelva.

– IES Santa Coloma de Farners, Girona.

– Colegio CEU San Pablo Montepríncipe, Madrid.

– IES Nueve Valles, Cantabria.

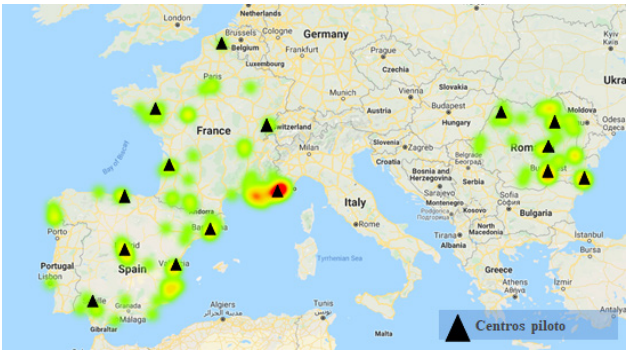


FIGURA 2. Centros piloto del proyecto STIM.

Comunicación entre asociados y los centros piloto

Desde los inicios del proyecto se decidió que, además de aprovechar los encuentros transnacionales previstos por el contrato Erasmus+, se intentaría reforzar el contacto directo entre las entidades asociadas y los centros piloto a través de la asistencia a conferencias, congresos y simposios en los que pudieran coincidir sus intereses. También se ha hecho un uso regular de los medios de comunicación y compartición on-line. Estos incluyen emails, WhatsApp, videoconferencias por Skype, Scientix meeting, Dropbox, Google Drive, etc.

Web del proyecto: ejemplos de actividades didácticas

En la web del proyecto se pueden encontrar y descargar una serie de actividades didácticas diseñadas y desarrolladas por las diferentes entidades asociadas (https://insight.oca.eu/fr/stim-resources). Las 23 actividades disponibles, agrupadas en 5 ámbitos, son:

Características de los planetas rocosos:

– Modelo de enfriamiento para planetas rocosos.

– Medición del flujo de calor.

– Campo magnético.

– Movimiento de convección en el manto.

– ¿Qué tan grande es nuestro sistema solar?

El medio ambiente de los planetas rocosos:

– Ruido sísmico atmosférico.

– Instrumentos para medir la velocidad del viento marciano.

– Aerosoles primarios e impacto climático en la Tierra.

– Aerosol primario e impacto climático en Marte.

– SEIS, un sismómetro bien empaquetado.

– Variaciones diarias de temperatura en Marte.

Misión espacial a Marte:

– Misión espacial a Marte: Caída de huevos.

– Ir a Marte.

– La energía solar, una fuente de energía sostenible.

Geología externa de Marte vs. la Tierra:

– El agua salada – la fuente de los barrancos en Marte: ¿información o engaño?

– Paisajes formados por tornados de polvo.

– Los volcanes comparados ¿Por qué un planeta más pequeño tiene un volcán más grande?

Geología interna de Marte vs. la Tierra:

– Cómo estimar la ubicación del epicentro con una sola estación sísmica en la Tierra.

– Determinar la ubicación de un terremoto marciano desde un solo sismómetro.

– Bolas de plastilina ¿Cómo podemos explorar dentro de Marte?

– Bolas de plastilina: comparando planetas.

– El sismograma: una señal compleja.

– Parámetros atmosféricos e impacto en los registros sísmicos.

Webinars del proyecto

Desde noviembre de 2019 a enero de 2020 tuvieron lugar seis webinars impartidos por especialistas y a los que pudieron asistir todos los docentes relacionados con el proyecto, así como aquellas personas interesadas en él. Sus títulos son:

– Sismología y estructura de los planetas telúricos.

– La estructura interna de los planetas rocosos: una mirada a la Tierra.

– Profundizando en la exploración.

– ¿Qué nos enseña Marte de la Tierra?

– Crea tu propio escenario de aprendizaje.

Estos webinars se encuentran disponibles (solo en inglés) en la página https://insight.oca.eu/fr/insight-resources#webinars.

Guía pedagógica

A modo de resumen del proyecto STIM, el grupo de investigación está diseñando una Guía Pedagógica en la que proporcionar las recomendaciones de uso de los recursos STEM sobre la misión a Marte que se han generado en el proyecto. Algunas de las actividades no solo pertenecen al ámbito de las Ciencias de la Tierra o la Geología, sino que engloban en gran parte la Física, las Matemáticas o la Tecnología. Con el objetivo de que las actividades más complejas puedan desarrollarse por más profesores y en más centros se desarrolla una guía para poderlas llevar a cabo con menos dificultad.

Durante un encuentro entre todas las partes del proyecto que tuvo lugar en octubre de 2019 en Barcelona (Fig. 3), se seleccionaron aquellas actividades que necesitaban ser desarrolladas en detalle para facilitar su uso a los profesores interesados. Se espera que a finales de abril/mayo este documento se pueda publicar.



FIGURA 3: Participantes en la reunión de trabajo celebrada en Barcelona en octubre de 2019.

MOOC del proyecto

Desde mediados de 2019 el equipo del proyecto está produciendo un MOOC. Este curso constará de cuatro módulos y pondrá a disposición del público general y de los profesores de Educación Secundaria en particular los principales contenidos del proyecto. El curso tiene una duración de 5-6 semanas y se estructura en 4 módulos:

– Módulo 1: Ciencia – Misión espacial a Marte.

– Módulo 2: Educación – La misión a Marte en clase.

– Módulo 3: Prácticas – Enseñando con la misión a Marte.

– Módulo 4: Intercambio – Crea tu propio escenario de aprendizaje.

El MOOC se desarrollará desde la plataforma de European Schoolnet Academy y será en inglés. Se prevé que cada participación dedique unas 17 horas en total (2-3 horas por semana). En el curso habrá espacios para nuevas conferencias y para compartir experiencias con otros profesores, como también para descubrir nuevos métodos de aprendizaje.

CONCLUSIONES

El proyecto STIM pretende mejorar los conocimientos geocientíficos de los estudiantes de Enseñanza Secundaria (Fig. 4), así como proporcionar herramientas para el profesorado. La Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Terra (AEPECT) participa por primera vez en un proyecto promovido y financiado por la UE. Se trata de un reto importante para nuestra asociación, puesto que los proyectos Erasmus+ están diseñados para centros de



FIGURA 4. Estudiantes de uno de los centros pilotos trabajando modelos de convección.

enseñanza o institutos de investigación que cuentan con infraestructura y dotación de personal. A la vista de los resultados parciales obtenidos, confiamos en que nuestra aportación será innovadora y que, a través de AEPECT, podrán beneficiarse de estos materiales didácticos no solo nuestros asociados, sino también todo el profesorado de Biología y Geología de secundaria de nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al proyecto internacional Erasmus+ de la UE STIM incluido en KA2 de "Cooperación para la Innovación y el Intercambio de Buenas Prácticas". También agradecemos a los profesores de los centros piloto que han llevado a cabo algunas de las actividades propuestas.

Diálogos entre la montaña y la geóloga: divulgando la geología del Pirineo en el entorno del Posets con un minidocumental

The Mountain and the Geologist: a mini-documentary about Pyrenean geology around Posets peak

B. Antolín-Tomás[1, 2], A. Casas[1], B. Oliva-Urcia[3], T. Román-Berdiel[1], R. Soto[4], P. Clariana[4], E. Izquierdo Llavall[5]

1 Universidad de Zaragoza, Dpto. Ciencias de la Tierra, Pza. San Francisco s/n, 50009 Zaragoza. borja.antolin.tomas@gmail.com
2 IES Ramón Pignatelli, Zaragoza.
3 Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. Geología y Geoquímica, c/ Tomás y Valiente s/n, 28049 Madrid.
4 Instituto Geológico y Minero de España (Universidad de Zaragoza), c/ Manuel Lasala 44, 9B, Zaragoza.
5 Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs, Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, TOTAL, Pau, France.

Palabras clave: didáctica, orogenias, geología, tiempo geológico.

Resumen

La elaboración de un video corto de unos 8 minutos de duración ha permitido por un lado transmitir información, y por otro mostrar su utilidad didáctica para mostrar la geología del Pirineo en el entorno del Posets. La Tuca Posets o Punta Lardana, con 3369 m, es el segundo pico más alto de los Pirineos. Se encuentra en el Parque Natural Posets-Maladeta en la provincia de Huesca, entre los valles de Chistau y Benasque. Es una montaña con gran variedad de tipos y edades de rocas, que cuentan una historia de 400 millones de años, además de presentar afloramientos espectaculares de pliegues y fallas de 2000 m en la vertical. El Posets y su entorno permiten entender procesos sedimentarios, metamórficos, ígneos, tasas de erosión y procesos tectónicos. Debido a esta importancia científica forma parte del Geoparque UNESCO de Sobrarbe Pirineos. El vídeo se complementa con la realización de un poster tamaño A0 y otro tamaño A4, elaborados gracias a las Ayudas a la Investigación del Geoparque de Sobrarbe. La elaboración del guion del vídeo se ha basado en el diálogo desarrollado en el entorno natural entre la montaña Posets (Lardana) y una geóloga que toma muestras para el estudio de su deformación. Se incluyen además los conceptos de tiempo geológico, al introducir la tabla cronoestratigráfica e imágenes de localizaciones y reconstrucciones paleogeográficas (Scotese, 2020) que van desde hace 400 millones de años hasta la actualidad. El apoyo visual y narrativo permite contar de manera resumida la evolución geológica pirenaica, desde la orogenia Varisca, pasando por la Alpina, hasta la actualidad. El vídeo puede utilizarse como herramienta didáctica para explicar la geología del Pirineo a niveles educativos desde 4º ESO y Bachillerato hasta primer año del Grado en Geología o equivalentes. Gracias al poster y sus infografías el/la educador/a puede contestar posibles dudas que surjan entre los estudiantes y completar las explicaciones del vídeo.

Abstract

A short video (8 min) allows, on the one hand, to spread information and on the other hand to determine its educational purpose of the Pyrenean geology. The script is based on a dialogue between the Posets Mountain and a geologist who is sampling for studying its deformation. Concepts about geological time and paleogeographic reconstructions (Scotese, 2020) are included. The video can be used in Secondary School (4th ESO), High School and first undergraduate year. Supporting material as a poster and infographics complement the explanations of the video

Referencias

Scotese, C.R. (2020): Plate Tectonics, Paleogeography & Ice Ages (dual hemisphere/northern bias/v1), PALEOMAP Project, Evanston, IL, YouTube.

Exposición de minerales inestables en museos

Exhibition of unstable minerals in museums

E. Baeza[1], M.J. Torres[1] y X. Moreno[1]

1 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. e.baeza@igme.es; mj.torres@igme.es; x.moreno@igme.es

Palabras clave: mineral, inestable, réplica, museo, patente.

Resumen

Un porcentaje importante de las especies minerales expuestas en un museo son inestables, transformándose de forma evidente para los visitantes (Howie, 1993). Los principales factores de alteración son los cambios en humedad relativa, temperatura, luz y contaminantes ambientales. En algunas especies la alteración comienza con uno de estos factores, interviniendo más adelante otros de forma sinérgica. En este trabajo exponemos la transformación de varios minerales como consecuencia de las diferentes condiciones ambientales a las que están expuestos en un museo. Como ejemplo de alteración por la humedad relativa se han elegido: calcantita, mirabilita, laumontita, melanterita y bórax. Para ilustrar la alteración por la luz: cinabrio y vanadinita, y para la alteración producida por múltiples factores: rejalgar, pirargirita y vivianita. El desarrollo de los procesos de alteración se explicarán utilizando exclusivamente réplicas, realizadas a partir de un original, de modo que la misma morfología sirva para comparar la evolución de la especie mineral, antes y después de la alteración, utilizando la patente de invención nº 2273577 del Instituto Geológico y Minero de España. Una muestra de este trabajo puede contemplarse en una de las vitrinas de la planta baja del Museo Geominero (Baeza y Lozano, 2011) en Madrid.

Abstract

A significant percentage of the mineral species on display in a museum are unstable, and that transformation is evident to visitors (Howie, 1993). The main factors of alteration are changes in relative humidity, temperature, light and environmental pollutants. The alteration begins with one of these factors in some mineral species, other factors influence later in a synergistic manner. In this work we show the transformation of several minerals as a consequence of the different environmental conditions to which they are exposed in a museum. The examples of relative humidity alteration are: calcite, mirabilite, laumontite, melanterite and borax. The alteration caused by light is shown by cinnabar and vanadinite; and the alteration produced by multiple factors is exemplified by realgar, pyrargyrite and vivianite. The development of alteration processes will be explained using replicas, made from an original mineral, so that the same morphology serves to compare the evolution of the mineral species, before and after the alteration, using the invention patent nº 2273577 of the Spanish Geological Survey. An example of this work can be seen in one of the showcases on the ground floor of the Geominero Museum (Baeza y Lozano, 2011) in Madrid.

Referencias

Baeza, E. y Lozano, R.P. (2011). *Paleontologia I Evolució, Memòria especial* 4: 11-26.

Howie, F.M. (1993). *The Care and Conservation of Geological Material. Minerals, Rocks, Meteorites and Lunar finds.* Buetterworth-Heinemannn ed. London, 138 p.

Columnas estratigráficas con rocas reales como herramientas para la divulgación geológica

Stratigraphic columns with real rocks as tools for geological dissemination

E. Baeza-Chico[1], L. Carcavilla-Urquí[2] y M.J. Torres[1]

1 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. e.baeza@igme.es; mj.torres@igme.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. l.carcavilla@igme.es

Resumen: La creación de columnas estratigráficas con rocas reales puede ser un recurso divulgativo interesante para su instalación en centros de visitantes, museos y centros de interpretación. Permiten al visitante familiarizarse con las litologías aflorantes en la zona, a la vez que son buenas herramientas para relacionar el contexto geográfico, geológico y temporal, permitiendo la asociación visual de litologías, paisajes, ambientes de formación, edad y regiones geográficas. En el presente trabajo se desarrollan estas oportunidades y se describen dos casos como ejemplos ilustrativos.

Palabras clave: divulgación, columna estratigráfica, litología, didáctica.

Abstract: *Stratigraphic columns with real rocks can be an interesting educational resource for installation in visitor centres, museums and interpretation centres. They allow visitors to familiarize themselves with local lithologies and they are good tools to relate the geographical, geological and temporal context. They also allow the visual association of lithologies, landscapes, environments, age and geographical regions. In this paper, these opportunities are developed and two cases are described as illustrative examples.*

Keywords: *dissemination, stratigraphic column, lithology, didactic activities.*

INTRODUCCIÓN

La divulgación de la geología ha experimentado un notable impulso en los últimos años. Cada vez son más las publicaciones divulgativas orientadas a que el público general se familiarice con conceptos geológicos y entienda las características geológicas de diversos lugares. La creación de monografías, guías didácticas y geo-rutas, entre otras, contribuyen a que la geología se entienda con más facilidad. Los geoparques mundiales de la UNESCO son buenos representantes de la diversidad de ofertas divulgativas que han surgido en relación con la geología en los últimos años. También lo es la celebración del Geolodía por parte de la Sociedad Geológica de España y la colaboración de más de 200 instituciones en cada edición, con la participación de cerca de 10000 personas distribuidas en más de 50 excursiones por todo el territorio peninsular el segundo fin de semana de mayo (Crespo-Blanc *et al.*, 2016).

Estas iniciativas de divulgación de la geología parten del problema que supone el importante desconocimiento de la sociedad de las Ciencias de la Tierra. Las mayores dificultades que se plantean al neófito en Geología y que la diferencian de la divulgación de otras disciplinas son (Carcavilla *et al.*, 2010):

I) las magnitudes físicas manejadas en determinados procesos geológicos adquieren órdenes de magnitud que están fuera de la experiencia sensorial de las personas.

II) el abismo del tiempo geológico, tan inabarcable para la imaginación de la mayoría de las personas que a menudo abruma. En muchos casos sólo ofrece un dato numérico, porque el público por lo general no sabe asignar eventos a edades concretas y relacionar sucesos.

III) el ámbito geográfico a menudo también es desmesurado y puede ocurrir que para explicar un proceso sea necesario mencionar lugares muy alejados. Además muchas veces se refiere a geografías diferentes a las actuales (continentes en otra posición, etc.) y con nombres distintos, lo que dificulta el entendimiento.

IV) a veces la Geología es muy espectacular o posee algo que despierta la curiosidad del visitante, pero en otras ocasiones se trata de afloramientos que, a los ojos de un no entendido, no poseen ningún interés.

En general la comprensión de ciertos procesos geológicos exige una capacidad de abstracción que no posee gran parte de la población, puesto que no lo ha trabajado específicamente en su formación académica. La dificultad para construir la tercera dimensión a partir de un plano o un corte son algunos ejemplos concretos.

Además las escalas espacio-temporales son las que suponen una mayor dificultad para el aprendizaje geológico (Carrillo y Gisbert, 1992; Reguant, 1993; Sequeiros *et al.*, 1996). Por ello en la divulgación geológica adquiere especial relevancia contextualizar en el espacio y en el tiempo y asumir que éste último aspecto puede ser muy complejo para la mayoría de las personas. Por ello la mejor manera de divulgar la geología es mediante excursiones guiadas, en las que el discurso divulgativo se hilvana visitando aflo-

ramientos que permiten contar una historia basada en las evidencias geológicas (Steward y Nield, 2013), como se hace en Geolodía y que es una de las claves de su éxito. Eso no significa que otras actividades divulgativas no sean eficaces, solamente que en las no guiadas será especialmente importante situar al público en un marco geográfico, geológico y temporal comprensible a la vez que asumible para sus conocimientos previos, lo que no es fácil. Para facilitar esa contextualización espacio-temporal se propone crear columnas estratigráficas con rocas reales como herramientas que pueden ayudar al público a comprender mejor la geología de una región.

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS CON ROCAS REALES

Un tipo de iniciativa de divulgación geológica orientada a situar al público en ese complejo marco geográfico, geológico y temporal son las columnas estratigráficas de rocas reales, cuya instalación es ideal en centros de interpretación, centros de visitantes y museos. En cierto modo estas columnas estratigráficas con rocas reales comparten aspectos con los monolitos de suelos y cortes de suelos que también se exponen en algunos museos y centros de interpretación desde hace años (Barahona e Iriarte, 1999).

La idea de las columnas estratigráficas con rocas reales es mostrar, de manera vertical, la secuencia de rocas que afloran en un determinado territorio. No se trata por tanto de una columna estratigráfica al uso, sino de una representación de rocas reales apiladas siguiendo un orden cronológico de muro a techo, con un espesor determinado atendiendo a la potencia media de la formación en la región y con una anchura proporcional a la dureza, tal y como se hace con las columnas estratigráficas gráficas. La columna debe ir acompañada de una serie de paneles, fotografías, mapas, rótulos e infografías que permitan situarla mejor en su contexto geográfico, geológico y temporal. Así pues no se trata de esculturas o elementos con objetivo estético, sino de instalaciones con un claro fin divulgativo aprovechando rocas reales.

Si bien estas columnas pueden tener las dimensiones que se considere oportuno, lo ideal es que no superen los dos metros de altura, porque una de las ideas principales es que el visitante pueda tocar las rocas y familiarizarse con su aspecto y textura. Existen diversos ejemplos de columnas estratigráficas con rocas reales en centros de interpretación y museos. Algunas son la del Centro de Educación Ambiental de la Comunidad de Madrid en el Parque Polvoranca, la del Centro de Interpretación del Parque Natural del Barranco del río Dulce en Mandayona (Guadalajara) o la del Centro de Visitantes del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en Torla (Huesca). Un caso particular es la del Centro Paleontológico Fonelas P1 (Granada), al tratarse de una columna estratigráfica sobre el propio afloramiento de roca. A continuación se describen otros dos ejemplos y se explica cómo se solucionaron las cuestiones técnicas relacionadas con su construcción y con el equipamiento divulgativo que las acompaña.

LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CON ROCAS REALES DE SIERRA MORENA ORIENTAL (CIUDAD REAL)

La columna representa el conjunto estratigráfico de la parte norte de Sierra Morena oriental, entre las hojas 837 (Viso del Marqués) y 862 (Santa Elena). Se centra en el entorno del término municipal de Viso del Marqués (Ciudad Real) y se ubica en el Museo local AVAN de Ciencias Naturales, que cuenta con extensas y variadas colecciones. La representación gráfica de la columna está formada por tres paneles a fin de hacer más comprensible un área relativamente monótona de pizarras y areniscas, con cuarcitas de distintas edades que coronan las sierras y diversas elevaciones menores.

El panel principal recoge un mapa geológico de la serie Magna II (hoja 837) ampliado al doble de tamaño del original. Este panel, de 275 x 150 cm, consta de: información referida a la escala temporal (era, sistemas, pisos), columna de rocas, nombre de formaciones y mapa geológico ampliado (Fig. 1).

El segundo panel muestra los distintos ambientes sedimentarios marinos (Matas *et al.*, 2009) de formación de cada unidad y la fauna más representativa de cada formación, dibujadas a Rotring con la frecuencia de aparición. El panel tiene unas dimensiones de 245 x 150 cm y consta de información referida a la escala temporal (era, sistemas, pisos), columna fotográfica, nombre de formaciones, ambientes sedimentarios y fauna.

En el tercer panel se incluyen los nombres de las rocas, fotos del paisaje interpretando las formaciones y fotos de las rocas en lámina delgada (nícoles paralelos y cruzados) con indicación del nombre de los minerales principales. Este panel tiene unas dimensiones de 325 x 150 cm e incluye información de: escala temporal (era, sistemas, pisos), columna fotográfica, formaciones, ambientes sedimentarios marinos, rocas, fotos del paisaje y de rocas en lámina delgada.

LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CON ROCAS REALES DEL PARQUE NATURAL DEL ALTO TAJO (GUADALAJARA)

El Parque Natural del Alto Tajo se sitúa en el extremo suroriental de la provincia de Guadalajara e incluye un pequeño sector de la provincia de Cuenca. Fue declarado en el año 2000 y tiene una extensión de 176.000 has. En 2006 se puso en marcha en el Parque una iniciativa de divulgación de la geología consistente en preparar nueve itinerarios geológicos autoguiados, denominados Geo-rutas. Con ellas se pretende sacar partido a una poco habitual combinación de variedad y singularidad geológica en un espacio natural que, además, posee unos espectaculares paisajes que hacen atractiva la visita para cualquier tipo de público. En el año 2014 el Parque Natural se integró en el Geoparque Mundial de la UNESCO de Molina-Alto Tajo.

El Parque Natural del Alto Tajo se sitúa en el sector central de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. El basamento lo forman afloramientos paleozoicos, generalmente

en el núcleo de estructuras alpinas arrasadas por la erosión. En su mayoría se trata de pizarras y cuarcitas ordovícicas y silúricas, que constituyen los relieves más elevados del parque. Sobre ellos se disponen discordantemente los sedimentos que marcan el inicio del ciclo alpino. La sucesión del Triásico viene dada por la presencia de los tres grandes conjuntos del Trías germánico. Los afloramientos del Jurásico y Cretácico ocupan gran parte de la superficie del parque. Sobre ellos se disponen discordantemente algunos afloramientos miocenos poco extensos y las formaciones superficiales cuaternarias. El resultado de esta configuración es una notable geodiversidad, en la que destacan importantes series estratigráficas del Silúrico, Ordovícico, Triásico, Jurásico y Cretácico superior. Asimismo la diversidad litológica es excepcional, con potentes afloramientos de pizarras y cuarcitas, conglomerados, areniscas, calizas, dolomías, arenas y rocas volcánicas (dacitas). Pero sobre todo es la variedad de elementos geomorfológicos lo que dota a este espacio protegido de un excepcional interés de cara a la divulgación-interpretación (Carcavilla *et al.*, 2008).

La columna estratigráfica con rocas reales fue construida en la planta inferior del Centro de Visitantes de Corduente, aprovechando un espacio abierto al exterior y de acceso libre. Tiene una altura de 2 metros y una anchura de 5 metros. El objetivo era mostrar la increíble diversidad litológica y cronoestratigráfica de la zona que, precisamente por su amplitud y variación, dificultaba la comprensión por parte del público general. Por el contrario, una de las grandes ventajas de la divulgación geológica del Alto Tajo es que, aunque sea muy diverso, se pueden asociar de manera muy clara determinadas litologías a edades concretas, ambientes de formación, paisajes y regiones geográficas en las que aflora. Así, por ejemplo, las cuarcitas afloran

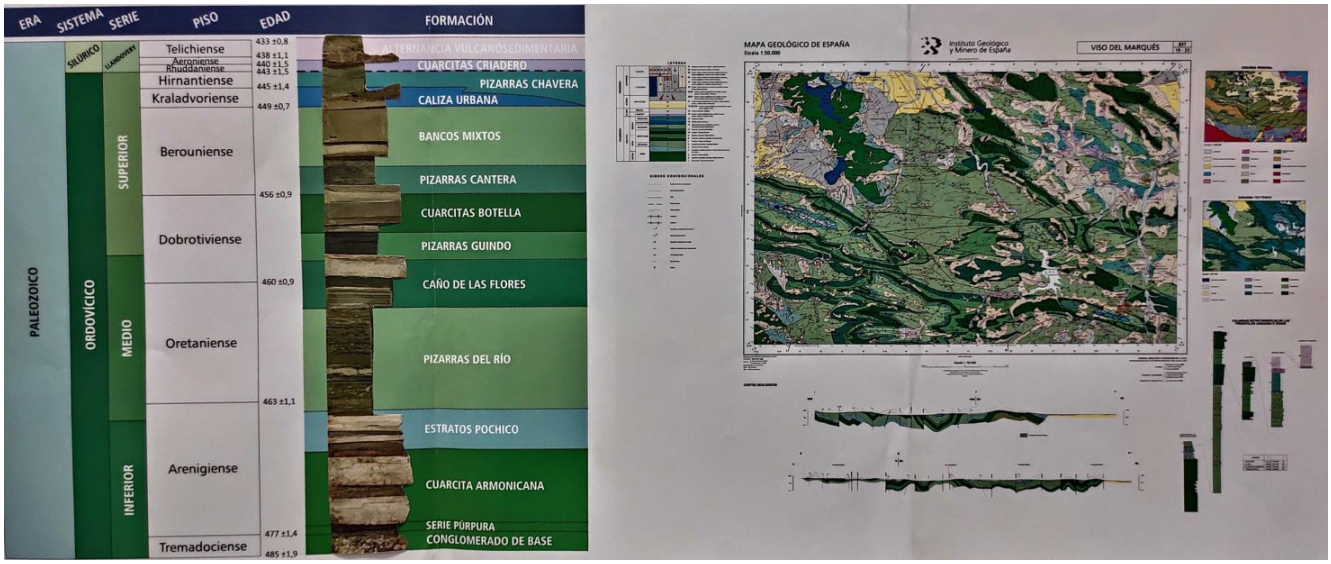


FIGURA 1. Columna estratigráfica con rocas reales de Sierra Morena Oriental en el Museo AVAN (Viso del Marqués, Ciudad Real).



FIGURA 2. Columna estratigráfica con rocas reales del Alto Tajo en el Centro de Interpretación de Corduente (Guadalajara).

en el sector suroriental del parque (dominando la sierra), son de edad ordovícica y/o silúrica, dan lugar a crestones y resaltes en la sierra y están intensamente plegadas por la orogenia Varisca. Para poder asociar esas ideas la columna estratigráfica con rocas reales era ideal, porque a ambos lados de la columna se podían incorporar paneles que permitieran hacer dicha asociación (Fig. 2).

Tras un análisis de las litologías presentes en la zona se seleccionaron diez como las más representativas: pizarras, cuarcitas, riolitas conglomerados, areniscas, yesos, calizas, arenas, calizas masivas y tobas calcáreas. Se buscaron fragmentos de todas ellas y se cortaron para que sus dimensiones reflejaran la potencia media y su resistencia. Solo fue necesario consolidar las arenas (de la Formación Arenas de Utrillas). Además se decidió pegar las rocas al fondo del panel, para que en caso de que la consolidación no funcionase bien el conjunto no se desmoronara. A los lados de la columna se instalaron paneles informativos: a la izquierda la escala temporal y a la derecha 1) litología; 2) origen o paleoambiente; y 3) paisajes característicos y ubicación geográfica.

EJECUCIÓN Y METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICA CON ROCA REALES

Las fases para la realización de las columnas son: 1) Documentación previa: estudio bibliográfico y estudio de las formaciones en la hoja Magna; 2) Selección de las litologías representativas en función de su extensión y reflejo en el paisaje; 3) Cálculo de las potencias medias representativas y reducción a escala. 4) Acopio de materiales en campo obteniendo los correspondientes permisos para ello (en especial en áreas protegidas). 5) Desbastado y cortado de rocas, pulido en algún caso en que sea recomendable para observar mejor la textura; en ocasiones también puede ser necesaria la consolidación de litologías (por ejemplo, arenas). 6) Adhesión a un soporte rígido (DM) con espuma de polietileno, cola termofusible y escayola dental hebodur, primal y agua, para conseguir dureza y elasticidad; es importante que la columna de roca sea estable y soporte que el público la toque, de manera que no sea algo frágil. 7) Barrera lateral de foam a la izquierda para una terminación homogénea de las rocas. 8) Fijación definitiva con epoxy fetadit 55/63 y celulosa en polvo para reducir peso y ganar seguridad y estabilidad. 9) Máscara de los extremos de estratos con látex para evitar que se manchen. 10) Reintegración con escayola dental con primal y pigmentos inorgánicos en polvo en las uniones entre materiales y en ambos extremos de los mismos; eliminación de la máscara de látex. 11) Anclaje de la columna a la plancha de DM en la pared y base para la sujeción del conjunto de la columna si fuera necesario. 12) Diseño e instalación de paneles complementarios (datos de fósiles, densidades, fotos de paisaje, etc.).

CONCLUSIONES

Las columnas estratigráficas con rocas reales son una buena herramienta para divulgar la geología, pero para que sean realmente útiles y cumplan su objetivo deben ir acompañadas de paneles informativos que permitan relacionar las litologías con su edad, ubicación en el territorio y paisajes que originan. Así la pila de rocas no se considera un elemento aislado ni un fin en sí mismo, sino una parte de la instalación divulgativa. Además es de gran interés que el público pueda tocar las rocas para que se familiarice con su textura y aspecto.

REFERENCIAS

Barahona, E. e Iriarte, A. (1999). A method for the collection of soil monoliths from stony and gravelly soils. *Geoderma*, 87: 305-310

Carcavilla, L. (2008): Las Geo-rutas del Parque Natural del Alto Tajo (Guadalajara): una iniciativa para la divulgación del patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10: 1295-1298.

Carcavilla, L., Berrio, M.P., Belmonte, A., Durán, J.J. y López-Martínez, J. (2010). La divulgación de la geología al gran público: principios y técnicas para el diseño de material escrito. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural,* 104 (1-4): 93-110. Sección Geológica.

Carrillo, L. y Gisbert, P. (1992). Enseñar y aprender Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 0: 5-7.

Crespo-Blanc, A., Alfaro, P., Alonso-Zarza, A.M., Aurell, M., Calonge, A., Carcavilla, L. y Corral, I. (2016). Geolodía para un público numeroso: claves para su organización. *Geogaceta*, 59: 91-94.

Matas, J., Leyva, F. y Cabra, P. (2009). M*apa Geológico de España. E 1: 50.000*. 2ª Serie MAGNA. Hoja nº 864 (Venta de los Santos). IGME.

Reguant, S. (1993). Consideraciones sobre los objetivos de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(3): 144-147.

Sequeiros, L., Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra,* 4 (2): 113-119.

Steward, I. y Nield, T. (2013). Earth Stories: context and narrative in the communication of popular geoscience. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4): 699-712.

Interactive Dichotomous Key for identifying rocks: a proposal to use with high school students

Clave dicotómica interactiva para la identificación de rocas: una propuesta de aplicación en la educación secundaria en Portugal

A. Batista[1], R. Dias[1,2,3], V. Silva[1], E. Pereira[1], A. Gomes[1], A. Paiva[1], A. Soares[1], F. Nascimento[1], I. L. Machado[1] y M. Silva[1]

1 Centro Ciência Viva de Estremoz, Polo de Estremoz, Universidade de Évora, Convento das Maltezas, 7100-513, Estremoz, Portugal. abatista@estremoz.cienciaviva.pt
2 Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo da Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal.
3 Dep. Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Univ. Évora, Col. Luís António Verney, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal.

Abstract: *The Estremoz Science Center has as main objective the dissemination and scientific literacy of population, with special emphasis on Earth Sciences. Recently, it has developed an unprecedented tool for identifying rocks: a dichotomous key called "What rock is this?" This key is the result of an extensive reflection and conceptualization that had as main goal the application of the concept of dichotomous key to Earth Sciences, which is remarkably rare, namely to the identification of common lithotypes. This dichotomous key is innovative, once the beginning is totally random and the user can choose its own path. This tool is extremely powerful because, depending on the sample to be identified, the user can select the most visible and distinctive features to begin, contrary to traditional dichotomous keys that imply a fixed and watertight path. In addition, this key is identical for any type of rock, not starting from a previous knowledge of its nature (i.e., sedimentary, igneous or metamorphic) to classify the sample. The use of this dichotomous key must be understood as a supporting tool for the identification and classification of rocks, which can be fundamental for the Earth Sciences teaching, whether in a formal or non-formal environment.*

Keywords: *Dichotomous key, Identification, Rocks, Earth Sciences, Teaching.*

Resumen: El Centro de Ciencias de Estremoz tiene como principal objetivo la difusión y alfabetización científica de la población, con especial énfasis en las Ciencias de la Tierra. Recientemente desarrolló una herramienta sin precedentes para identificar rocas: una clave dicotómica llamada "¿Qué roca es esta?". Esta clave es el resultado de un extenso trabajo de reflexión y conceptualización cuyo principal objetivo fue aplicar el concepto de clave dicotómica a las Ciencias de la Tierra, algo inusual, en particular a la identificación de los litotipos comunes. Esta clave es innovadora, ya que el inicio es aleatorio y a elección del usuario. Esta herramienta es muy potente ya que, según la muestra a identificar, el usuario puede seleccionar las características más visibles y distintivas, al contrario que en las claves dicotómicas tradicionales, que implican un recorrido fijo y estanco. Además esta clave es idéntica para cualquier tipo de roca, sin partir de un conocimiento previo de su naturaleza (es decir, si es una roca sedimentaria, ígnea o metamórfica) para clasificar la muestra. El uso de esta clave dicotómica debe entenderse como una herramienta de apoyo para identificar y clasificar rocas, algo fundamental para la enseñanza formal o no formal de las Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: clave dicotómica, identificación, rocas, Ciencias de la Tierra, docencia.

INTRODUÇÃO

O Centro Ciência Viva de Estremoz integra a rede nacional de Centros Ciência Viva em Portugal. Este centro de divulgação científica tem como objetivo principal a divulgação e literacia científica, com especial destaque para as Ciências da Terra, e por isso tem vindo a desenvolver uma abordagem dinâmica, procurando inovar nas atividades não formais propostas para o público escolar (e.g. Amaral et al., 2014; Pacheco et al., 2015; Dias et al., 2020).

O ensino das Ciências da Terra é fundamental e indispensável porque possibilita uma perspetiva temporal apropriada sobre as alterações que influenciaram e influenciam o nosso planeta, relacionam as principais interações entre a ação antrópica e a Terra e podem indicar resoluções para muitos problemas da sociedade atual (Morgado & Bonito, 2014). Neste sentido, a literacia científica na área das Ciências da Terra tem desde logo um objetivo principal: conhecer o meio envolvente, as características do território e a diversidade geológica e litológica. Tal facto permitirá a criação de uma sociedade com capacidade de crítica e permitindo a tomada de decisões baseada na ciência.

Assim, o Centro Ciência Viva de Estremoz procura desenvolver recursos didáticos para colmatar algumas lacunas

no ensino das Ciências da Terra nos mais diversos ciclos de escolaridade e, recentemente, elaborou uma ferramenta inédita para identificação de rochas: uma chave dicotómica denominada "Que rocha é esta?". Esta ferramenta didática, passível de aplicação quer em ambiente de sala de aula (ensino formal) quer em museus e centros de interpretação ambiental (ensino não-formal), está especialmente vocacionada para os alunos que frequentam o Ensino Secundário Português, equivalente ao Bachillerato Espanhol (15-18 anos).



FIGURA 1. Aspeto geral da carta com identificação das categorias.

CHAVES DICOTÓMICAS: UM ENQUADRAMENTO

Uma chave dicotómica consiste num modelo ou esquema que permite a determinação de diferentes elementos, através das suas características. Elas permitem desenvolver habilidades de diferenciação, classificação e identificação de conceitos (Lopéz, 2014), embora apenas raramente as mesmas sejam aplicadas às Ciências da Terra.

A primeira chave dicotómica baseada em texto foi publicada na Flora Française (1778) por Jean Baptiste Lamarck, a quem normalmente é dada a prioridade para o desenvolvimento da chave dicotómica, publicou em três volumes, chaves dicotómicas aplicadas à botânica muito mais fáceis de usar do que a maioria dos métodos de identificação da época. Contudo, a concetualização das chaves dicotómicas ocorreu muito antes com Peter Ramus (1515-1572) e posteriormente com Waller (1650?-1714) que apresentou uma chave baseada em imagens (Griffing, 2011).

As chaves dicotómicas, normalmente apresentam uma sequência fixa de alternativas que deve ser rigidamente seguida, com várias etapas que incluem uma ou mais características e que apresenta duas (por vezes mais) alternativas mutuamente exclusivas, em que apenas uma única série de escolhas culmina numa identificação correta (Dallwitz et al., 1992; Aurélio, 2009). Porém existem chaves dicotómicas de múltiplas entradas onde a sequência de características utilizadas para a diferenciação dos objetos em estudo não é fixa e é selecionada pelo próprio utilizador (e.g., chaves interativas, tipicamente computorizadas), o que permite que a identificação se inicie a partir de qualquer característica diferenciadora do elemento observado (Dallwitz et al., 1992).

A NOSSA CHAVE DICOTÓMICA: "QUE ROCHA É ESTA?"

"Que rocha é esta?" (Figura 1) resulta de um trabalho de reflexão e conceptualização extenso que tinha como principal objetivo a aplicação do conceito de chave dicotómica às Ciências da Terra, nomeadamente à identificação dos litótipos mais comuns.

CONCETUALIZAÇÃO

Esta chave dicotómica pode ser considerada uma chave dicotómica de múltiplas entradas analógica, com semelhanças concetuais às chaves interativas, embora aqui sem recurso a meios computacionais (Dallwitz et al., 1992). O utilizador seleciona de forma aleatória as características, sem uma sequência de características definida e estanque como geralmente acontece nas chaves dicotómicas clássicas. Assim, o utilizador poderá focalizar-se nas características distintivas da amostra que está a identificar e por múltiplas interações chegar ao nome do litótipo. A chave vai eliminando sucessivamente as rochas que não correspondem à rocha que se está a identificar, e este processo continua, por múltiplas interações, até que apenas permaneça apenas uma rocha. A chave tem uma classificação abrangente para a generalidade das rochas independente do tipo de rocha (i.e., sedimentar, ígnea ou metamórfica).

Para elaboração desta chave, foram selecionados 22 litótipos comuns na superfície terrestre (incluindo rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas; Tabela 1).

Rochas Magmáticas	*Rochas Sedimentares*	*Rochas Metamórficas*
Granito	*Arenito*	*Ardósia*
Basalto	*Siltito*	*Filito*
Riólito	*Argilito*	*Xisto*
Andesito	*Conglomerado/ Brecha*	*Gnaisse*
Diorito	*Calcário*	*Mármore*
Gabro	*Areia*	*Quartzito*
Pedra-Pomes	*Argila*	
Obsidiana	*Silte*	

TABELA I. Lista dos 22 litótipos utilizados para a elaboração da chave dicotómica

Para cada um dos litótipos foram definidas um conjunto de características distintivas, o que permitiu perceber quais as categorias diferenciadoras entre este conjunto de amostras. Assim, a cada um dos litótipos corresponde uma carta única (22 cartas no total), com duas faces. A face dianteira, que é igual em todas as rochas, apresenta um conjunto de características gerais (Figura 1). E na parte de trás o nome de uma rocha, a sua mineralogia e tipo de rocha (Figura 2). Este conjunto de 22 rochas foi

selecionado tendo em conta os conteúdos programáticos lecionados na disciplina de Biologia e Geologia no Ensino Secundário em Portugal. Todas as características apresentam descrições ou ilustrações para melhor interpretação do utilizador (Figura 1).



FIGURA 2. Uma carta da chave dicotómica, nomeadamento do granito, com a face dianteira (a) com as categorias que identificam a rocha com o furo fechado e categorias não identificativas a aberto e com a face de trás (b), com a identificação da rocha e a sua mineralogia

CATEGORIZAÇÃO

Todas as 22 cartas exibem a face da frente semelhante, apresentando 7 grandes categorias diferenciadoras, nomeadamente: cor, forma dos grãos, grãos predominantes, coesão, constituição, foliação e outras características (Figura 1). Cada um destes grupos categóricos é subdividido em características específicas:

i. Cor: clara; intermédia; escura; exótica;

ii. Forma dos grãos: irregular; alguns são regulares; arredondado;

iii. Grãos predominantes: maior que 2mm; menor que 2mm;

iv. Constituição: vários constituintes; observam-se fósseis; observam-se cavidades e vesiculas; aspeto vítreo;

v. Foliação: bandas claras e escuras; "massa folhada";

vi. Outras características: faz efervescência com ácido, cheira a barro, sabor a sal.

A categoria "cor" é importante para identificação de um conjunto substancial de rochas, nomeadamente para as rochas magmáticas. A categoria "forma do grão" é uma outra característica diferenciadora, uma vez que através desta é possível diferenciar o tipo de rocha presente: tipicamente as rochas magmáticas apresentam alguns grãos regulares com vértices e arestas bem definidos (na verdade cristais euédricos, contudo é utilizado o termo grão numa perspetiva genérica e integradora) contrariamente às rochas sedimentares (com exceção da brecha) que apresenta elementos comummente arredondados ou irregulares (claro está dependendo da proximidade à fonte). A categoria "grãos predominantes" é uma categoria granulométrica e auxilia na identificação, essencialmente, de rochas sedimentares, nomeadamente os arenitos (granulometria menor que 2mm) e conglomerados (granulometria maior que 2mm). Já a categoria "constituição" distingue particularidades composicionais das rochas com características específicas como "são observados vários constituintes" (essencial nas rochas plutónicas como o granito ou o diorito), "são observados fósseis" (essencial em calcários conquíferos), presença de cavidades e vesiculas (essencial em rochas vulcânicas como a pedra-pomes ou o basalto) ou "aspeto vítreo" (essencial na obsidiana). A categoria "foliação" está focada na identificação de rochas metamórficas, distinguindo rochas como os gnaisses, xistos, as ardósias ou os filitos. Por fim, a categoria "outras características" pode auxiliar na identificação de algumas rochas que tem características diferenciais como cheirar a barro (e.g., argilito), fazer efervescência com ácido (calcário) ou sabor a sal (e.g., salgema).

FUNCIONAMENTO

Para cada característica específica existe sempre dois campos, o "Sim" e "Não". Quando uma característica é válida, o campo apresenta um furo fechado, enquanto, se a característica não válida, o campo tem o furo aberto. Se a característica não é aplicável, ambos os furos estão abertos. Na Figura 2, encontra-se uma carta tipo (granito), onde é percetível os campos com furos fechados (característica do granito) e furos abertos (não são características do granito).

Cada utilizador (ou grupo de utilizadores), para a aplicação desta chave dicotómica, necessita apenas das 22 cartas (correspondentes aos 22 litótipos), um suporte de seleção e o material necessário para testar e observar as características específicas das rochas (e.g., ácido clorídrico, lupa de mão). Após ter sido dado o material de base a cada utilizador (ou grupo de utilizadores), é-lhes fornecido um conjunto de amostras para que possa ser feita sua identificação, tendo em conta as características específicas.

Para iniciar o uso da chave dicotómica é necessário escolher um dos litótipos para a sua identificação (de entre as rochas presentes na lista mencionada; Tabela 1).

Posteriormente, o utilizador escolhe de forma livre e dinâmica a primeira característica que identifica nessa amostra e insere as 22 cartas no suporte de seleção (Figura 3), na característica válida da amostra que está a ser identificada. As cartas dos litótipos que não apresentem essa característica caem, uma vez que o campo desta característica específica estava aberto, sendo desde logo eliminadas; as restantes permanecem no suporte de seleção. A passagem por sucessivas interações nas diferentes características da amostra selecionada resulta na eliminação de mais cartas, até que apenas permaneça uma carta única no suporte de seleção, que deverá corresponder ao nome da amostra selecionada para identificação.



FIGURA 3. Modo de funcionamento do Suporte de Seleção

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente chave dicotómica tem como público-alvo os professores e alunos do ensino secundário e pode ser realizada em regime de ensino formal e não formal. A utilização desta ferramenta interativa para identificação de rochas pelos alunos do ensino secundário é autónoma, mas poderá ser supervisionada e guiada pelo docente.

A utilização desta chave dicotómica deve ser compreendida como um meio auxiliar de identificação e classificação de rochas, permitindo assim aos alunos apreender através do ensino prático e supervisionado grandes quantidades de informação, podendo desta forma organizar, analisar, contrastar e comparar o conhecimento teórico obtido no ensino formal das ciências através da prática desse mesmo conhecimento. Na verdade, as atividades experimentais práticas em regime não formal, como esta atividade idealizada pelo Centro Ciência Viva de Estremoz, promovem ações de seleção, organização e interpretação, permitindo que o aluno se motive e interaja em situações reais, confrontando a teoria e a prática, ou seja, que aplique e consolide os conhecimentos obtidos no espaço escolar, em regime de aprendizagem formal (Bianconi & Caruso, 2005). Estas atividades possibilitam despertar a curiosidade, estimular a participação ativa na obtenção de conhecimentos, o que é proveitoso no desenvolvimento cognitivo e na autonomia dos intervenientes.

É necessário salientar que as chaves dicotómicas são utilizadas, comumente, no ramo da Biologia-Ecologia para identificação de seres vivos (Watson & Miller, 2009), mas poucas ou raras vezes são usadas nas Ciências da Terra. Contudo, o uso e o domínio desta chave dicotómica fornece uma orientação na identificação das rochas mais comuns da superfície terrestre, provando que esta ferramenta pode ser fundamental para o ensino das Ciências da Terra.

AGRADECIMIENTOS

Rui Dias acknowledges the funding provided by the Institute of Earth Sciences (ICT), under contract with FCT (the Portuguese Science and Technology Foundation; UID/GEO/04683/2013).

REFERENCIAS

Amaral, F., Dias, R., Leal Machado, I., Moreira, N., Pacheco, C., Pereira, I., Silva, V., Soares, A., Vinhas, A. (2014): Centro Ciência Viva de Estremoz; uma abordagem integrada das Geociências em regime não-formal. *Comunicações Geológica*s, 101, Vol. Esp. III, 1201-1204.

Aurélio, J., (2009): *Chaves dicotómicas ilustradas: sua aplicação à reserva botânica de Tróia*, Tese de Mestrado, Univ. Aveiro, 108p.

Bianconi, M.L. & Caruso, F. (2005): Educação não-formal. *Cienc. Cult*., 57 (4), 20p.

Dallwitz, M.J., Paine, T.A. & Zurcher, E.J. (2002): Interactive identification using the Internet. *delta-intkey.com*

Dias, R., Nascimento, F., Machado, I.L., Pereira, E., Paiva, A., Batista, A., Silva, V., Gomes, A., Silva, M., Soares, A. & Garcia, K. (2020): Da Tectónica de Placas à Teoria da Evolução; dos supercontinentes à dispersão dos seres vivos. *Comunicações Geológicas* 107 (Especial I), 175-177.

Griffing, L.R. (2011): Who invented the dichotomous key? Richard Waller's watercolors of the herbs of Britain. *American J. of Botany,* 98(12), 1911–1923.

López, A., (2014): C*laves dicotómicas en educación infantil*, Trabalho de fim de curso, Fac. Ciencias Humanas y de la Educación, Univ. Zaragoza.

Morgado, M. & Bonito, J. (2014): A literacia em Ciências da Terra no ensino básico em Portugal, *Comun. Geológicas*, 101, Vol. Esp. III, 1321-1324.

Pacheco, C., Moreira, N., Pereira, I., Campos, S., Amaral, F., Silva, V., Soares, A., Vinhas, A., Viana Antunes, M., Machado, I. & Dias, R. (2015): A Sala de Aula transfere-se para o espaço exterior e instala-se em Laboratórios ao Ar Livre. *Interacções*, 11(39), 754-776.

Watson, S. & Miller, T. (2009): Classification and the Dichotomous Key: Tools for teaching identification, *The Science Teacher*, 76(3), 50-54.

Afloramientos virtuales y trabajo de campo durante confinamiento usando Drones.

Virtual outcrops and field work on lockdown conditions using Drones.

F. Borràs[1], J. Hopfenblatt[1,2], M. Aulinas[2] y A. Geyer[3]

1 Drones for Geology, Barcelona, España (fernando@drones4geology).
2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Martí Franques s/n, 08028 Barcelona, España.
3 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España

Palabras clave: Drones4Geology, Confinamiento, Drones.

Resumen

El año 2020 estuvo lleno de desafíos en muchos aspectos, y no fue una excepción para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. El trabajo de campo, que es la herramienta más eficaz para desarrollar la capacidad de visualización espacial de los estudiantes de Geología, estuvo restringido durante largos periodos de tiempo. Las condiciones de cuarentena pusieron de manifiesto la necesidad inmediata de técnicas que "pudieran" llevar el campo a nuestras aulas y hogares a través de dispositivos electrónicos.

El uso de drones, con fines geológicos, está aumentando año tras año en diferentes campos de la geología. Los drones permiten obtener, de una forma más segura, fotografías aéreas actualizadas desde cualquier perspectiva resultando en un trabajo de campo más eficiente. Proponemos el uso de esta tecnología para crear afloramientos virtuales en 3D con fines de investigación o docencia. En efecto, en aquellos casos en los que no es posible la enseñanza presencial o el afloramiento se encuentra en zonas de difícil acceso o peligrosas. Además, acerca los afloramientos geológicos a personas con discapacidad física o con movilidad reducida promoviendo un entorno más inclusivo. Los afloramientos virtuales ofrecen a los científicos, estudiantes y público en general la oportunidad de visitar, explorar y estudiar lugares remotos de todo el mundo gracias a catálogos virtuales de afloramientos con importancia en las Ciencias de la Tierra.

Desde la segunda mitad del año 2020, la cooperativa "Drones4Geology", en colaboración con universidades y centros de investigación, está construyendo una colección de afloramientos virtuales 3D de alta calidad y ortomosaicos de diferentes lugares de Cataluña considerados de interés geológico, (p. ej. cuenca de antepaís Sur-Pirenaica, las rocas intrusivas hercínicas de la Costa Brava) con el objetivo de poner estas herramientas 2D y 3D a disposición de estudiantes e investigadores.

Abstract

The year 2020 was full of challenges in many aspects, and it was not an exception for Earth Science education. Field work, which is the most effective tool for developing the capacity of spatial visualization of Geology students, was restricted, during long time periods. The lockdown conditions highlighted the immediate need of techniques that "could" bring the field to our classrooms and homes through electronic devices.

The use of drones, for geological purposes is increasing year after year involving different fields of geology. Drones allow obtaining, under safe conditions, updated aerial photography from any perspective resulting in a more efficient fieldwork. We propose the use of this technology to create 3D virtual outcrops with research or teaching purposes. Indeed, in those cases in which face-to-face teaching is not possible or the outcrop is located in a hard-to-reach or hazardous areas. Moreover, it approaches geological outcrops to people with physical disability or with reduced mobility promoting a more inclusive environment. Virtual outcrops offer scientists, students and the general public the opportunity to visit, explore and study remote places all over the world thanks to virtual catalogs of outcrops with importance in Earth Sciences.

Since the second half of year 2020, "Drones4Geology" cooperative, in collaboration with universities and research centers, is building a collection of high-quality 3D virtual outcrops and orthomosaics of different sites of Catalonia considered of geological interest, (e.g., Southern Pyrenean foreland basin, Hercynian intrusive rocks of la "Costa Brava") aiming to put these 2D and 3D tools at the disposal of students and researchers.

Educación en riesgos naturales y autoprotección en Andorra

Education on Natural Hazards and Self-protection in Andorra

M. Brugulat[1], A. Margalef[2], A. Echeverria[2] y N. Gallego[2]

1 Institut d'Estudis Andorrans (IEA), Av. Rocafort 21-23, 3ª Planta, Sant Julià de Lòria (Andorra). mbrugulat@iea.ad
2 Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA – IEA). Av. Rocafort 21-23, 3ª planta; Sant Julià de Lòria (Andorra). amargalef@iea.ad; aecheverria@iea.ad; ngallego@iea.ad

Palabras clave: educación, riesgos naturales, autoprotección, Andorra.

Resumen

El Instituto de Estudios Andorranos (IEA) es un centro de investigación que también trabaja en la divulgación y creación de recursos para las escuelas del Principado de Andorra. En el año 2012 se puso en marcha un proyecto conjunto con el departamento de Protección Civil y Gestión de Emergencias del Gobierno de Andorra, la Cruz Roja Andorrana, el cuerpo de Bomberos de Andorra y el Servicio Meteorológico Nacional. Algunos objetivos son dar a conocer los riesgos naturales existentes en Andorra y motivar la reflexión y sensibilización frente a estos. Se trata además de dar cumplimiento a algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, así como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres de la Organización de las Naciones Unidas. El proyecto, que se ha consolidado como un curso sobre *Capacitación básica en protección civil*, se imparte desde 5º de Primaria hasta 4º de Secundaria. Los alumnos de 5º curso (9-10 años) reciben formación sobre los riesgos naturales existentes en Andorra y algunos episodios ocurridos. En Secundaria los alumnos de 4º curso (15-16 años) reciben una ampliación de la formación recibida en Primaria, así como las acciones de autoprotección frente a estos sucesos. En los cursos intermedios los alumnos reciben formación con los otros actores implicados en el proyecto, como por ejemplo, primeros auxilios. Durante los cursos 2018-19, 2019-20 y 2020-21, alrededor de 2450 alumnos y más de 40 maestros y profesores han sido formados por parte del IEA en conocimientos sobre riesgos naturales. El resultado es un trabajo conjunto y transversal de investigación y pedagogía. Se materializa como una formación a nivel de país con intervenciones en diferentes etapas educativas y diferentes actores implicados dentro del proyecto.

Abstract

The Andorran Research Institute (IEA) is a research centre that also works on the dissemination and creation of resources for the schools in the Principality of Andorra. In 2012 a joint project was launched with the department of Citizen Protection and Emergency Situations, the Andorran Red Cross, the Andorran Fire Dpt. and the National Meteorological Service. Some of the goals are making aware of the existence of natural hazards in Andorra reflecting on these risks. It is also a matter of complying with some of the Sustainable Development Goals (SDG) of the 2030 Agenda, as well as the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction of the United Nations. The project, which has been consolidated as a course on Basic Training in Citizen Protection, is taught from 5th grade of Primary School to 4th grade of Secondary School. Students in the 5th grade (ages 9-10) receive training on the natural hazards that exist in Andorra and some of the episodes that have occurred. In Secondary School, students in the 4th grade (ages 15-16) receive an extension of the training received in Primary School, as well as actions to self-protection against these events. In the intermediate grades pupils receive training with the other actors involved in the project, such as first aid. During 2018-19, 2019-20 and 2020-21 school years, around 2450 students and more than 40 teachers have been trained in knowledge of natural hazards in Andorra by the IEA. The result is a joint and transversal research and pedagogical work. In global terms, it is materialized as a training at country level with interventions in different educational stages and different actors involved within the project.

El nuevo GEOCAMP. Una plataforma para editar, compartir y divulgar guías geológicas

The new GEOCAMP. A platform to edit, share and disseminate geological guides

D. Brusi[1], J. Bach[2], O. Oms[2], E. Vicens[2], R. Estrada[2], A. Obrador[2], E. Maestro[3] y J. Biosca[4]

1 Dpt. Ciències Ambientals/GEOCAMB, Fac. Ciències, Universitat de Girona (UdG), Campus de Montilivi, 17071 Girona. david.brusi@udg.edu
2 Dpt. Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
3 IES de Vacarisses, Vacarisses (Barcelona).
4 Museu de Geologia "Valentí Masachs", EPSEM, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Manresa (Barcelona).

Resumen: GEOCAMP es un portal informático de apoyo a las actividades de campo en Geología. Fue creado en 2002 como un proyecto de innovación docente surgido de la iniciativa de un grupo de investigadores de tres universidades (UAB, UdG y UPC). Desde entonces ha ido incrementando sus prestaciones en sucesivas etapas. GEOCAMP es un espacio hipermedia de libre acceso que contiene materiales didácticos de producción propia y numerosos enlaces a todo tipo de informaciones relacionadas con las prácticas de campo de Ciencias de la Tierra. La plataforma incorpora una herramienta de autoedición que permite introducir textos y figuras que conforman la descripción de puntos de interés, itinerarios, museos o recorridos urbanos de contenido geológico. A partir de la información proporcionada, se genera un documento que puede ser consultado y utilizado como guía de campo. La aplicación está disponible en castellano, catalán e inglés. Las últimas mejoras introducidas en 2020 pretenden convertirlo en una plataforma abierta a la comunidad científica desde la cual publicar, compartir y difundir guías geológicas.

Palabras clave: GEOCAMP, geología, salidas de campo, sitio web, guías geológicas.

Abstract: *GEOCAMP is a web portal to support field activities in Geology. It was created in 2002 as a teaching innovation project emerged from the initiative of a group of researchers from three universities (UAB, UdG and UPC). Since then its performance has been increasing in successive stages. GEOCAMP is an open access hypermedia resource containing self-produced teaching materials and numerous links to all kinds of information related to Earth Sciences fieldwork. The platform includes a desktop publishing tool designed to load text and figures that build up the description of points of interest, routes, museums or urban walks of geological content. From the information provided, the publishing tool generates a document that can be viewed and used as a field guide. The application is available in Spanish, Catalan and English. Latest improvements in 2020 aim to transform the website in an open platform for the scientific community from which publishing, sharing and disseminating geological guides.*

Keywords: *GEOCAMP, geology, field excursion, website, geological guides*

EL PORTAL GEOCAMP

En el año 2002 un grupo de profesores de Geología de la Universitat Autònoma de Barcelona, la Universitat de Girona y la Universidad Politécnica de Catalunya emprendió un proyecto de innovación docente centrado en prácticas de campo de geología. Sucesivas mejoras han permitido incorporar nuevas herramientas y funcionalidades hasta llegar a 2020 con la versión actual de GEOCAMP, el portal de las actividades de campo en geología (Fig. 1). La página web es accesible en http://www.geo-camp.net.

GEOCAMP es un portal que aglutina numerosos recursos y enlaces reunidos específicamente para reforzar el aprendizaje en las actividades de campo de geología. Se trata de un sitio web de libre acceso puesto al servicio de docentes y estudiantes, tanto de niveles universitarios como de secundaria, que realicen actividades de campo como parte de su aprendizaje. También puede resultar interesante para aficionados a las Ciencias de la Tierra que deseen realizar actividades de reconocimiento de la geología regional.



FIGURA 1. Página principal de la web GEOCAMP.

GEOCAMP es además una experiencia práctica que ha sido utilizada ampliamente por estudiantes de las universidades en las que el equipo imparte docencia. Su potencial y libre disposición ha permitido que su uso se extienda a otros centros y niveles educativos, tanto en el resto del Estado como en el extranjero.

El portal está disponible en catalán, castellano e inglés. Incorpora un aplicativo específico que permite la edición automatizada de itinerarios geológicos de campo para cualquier geóloga/o de todo el mundo. De este modo GEOCAMP aspira a convertirse en una wiki colaborativa desde la cual difundir el patrimonio geológico en forma de guías de campo elaboradas por especialistas, docentes o instituciones.

GEOCAMP se estructura en cuatro apartados:

– **Preparamos la excursión:** incluye informaciones y enlaces sobre los diferentes aspectos a considerar al preparar una actividad de campo (elección del lugar, medios de transporte, previsión meteorológica, material necesario, etc.). También incluye materiales didácticos sobre mapas topográficos, mapas geológicos o webs relacionadas con temáticas geológicas.

– **El trabajo de campo:** aborda los aspectos metodológicos que facilitan el trabajo en un afloramiento. Proporciona las pautas de observación, descripción e interpretación de la realidad geológica propias de los profesionales de la geología y que se pueden usar para sacar mejor rendimiento de las prácticas de campo. Se completa con recomendaciones de seguridad para minimizar los riesgos de las personas que realizan actividades en el campo.

– **Itinerarios:** reúne ejemplos regionales de rutas geológicas. En un primer bloque se presentan algunos itinerarios propios, especialmente diseñados para el portal. En este apartado se encuentra el enlace a una herramienta de búsqueda de todos los itinerarios publicados desde el aplicativo de edición. También desde aquí se puede acceder al editor de GEOCAMP.

– **Después de la salida:** ofrece varias propuestas de realización de un informe final de una salida de campo.

Pensamos que el elemento didáctico más innovador que aporta radica en su utilidad en el momento de plantear las actividades de preparación de las salidas de campo. Sobre la base de la fundamentación teórica, desarrollada en trabajos de algunos miembros del equipo promotor (Bach *et al.*, 1988; Brusi, 1992), el portal incluye las pautas metodológicas que facilitan el trabajo en los afloramientos (Fig. 2) y sugiere algunas ideas respecto a las actividades de síntesis. Por ello creemos que puede representar una herramienta muy versátil para utilizarse en las actividades de pre-salida, salida y post-salida.

Para dar a conocer sus prestaciones la experiencia ha sido difundida en jornadas, simposios y congresos autonómicos, estatales e internacionales, especialmente en foros relacionados con la puesta en común de actividades de innovación docente o la didáctica de las Ciencias de la Tierra (Obrador *et al.*, 2004; Oms *et al.*, 2006; Brusi *et al.*, 2011, 2012). En 2010 GEOCAMP obtuvo, a título de proyecto colectivo, la distinción "Jaume Vicens Vives" a la innovación docente de la Generalitat de Catalunya "por la originalidad de la experiencia desarrollada, su fundamentación teórica y calidad técnica" (Fig. 3).



FIGURA 2. El planteamiento del trabajo de campo define una metodología a modo de "zoom" (Bach *et al.*, 1988; e ilustrado en Brusi, 1992, con dibujos de Jesús García-Gil).



FIGURA 3. Placa acreditativa de la distinción 'Jaume Vicens Vives' de la Generalitat de Catalunya recibida por GEOCAMP en 2010.

EL EDITOR GEOCAMP

Los cambios más profundos de GEOCAMP en su versión de 2020 se han hecho para incorporar a la herramienta inicial las múltiples prestaciones que la tecnología actual permite. Al editor automatizado de lugares o itinerarios de interés geológico se accede desde la página de inicio o el apartado Itinerarios. Su uso es libre y gratuito para cualquier usuario dado de alta en el aplicativo.

Su manejo es muy intuitivo mediante un menú de edición en el que se deben rellenar distintos campos de una plantilla:

– Ficha de datos generales: título del punto de interés o itinerario, autores, filiación, tipo de interés preferente, zona geográfica, etc.

– Generalidades: para ofrecer un conocimiento previo suficiente de la zona antes de entrar en las descripciones de los lugares de interés geológico.

– Recorrido principal: estructurado en paradas (puntos de observación) para el caso de los itinerarios.

– Otros puntos de interés: breve descripción de otros espacios que complementen el recorrido principal.

– Actividades o sugerencias didácticas: para facilitar recursos a los docentes que lleven a cabo el recorrido con sus alumnos.

– Referencias bibliográficas o enlaces de Internet: para proporcionar mayor información sobre la zona o temática descrita.

– Agradecimientos: para quien desee hacer constar el reconocimiento por apoyos institucionales o personales.

La aplicación permite incluir sucesivos módulos de texto en cualquier idioma, imágenes (gráficos, tablas, fotos) y pies de figura. En todos los apartados se proporcionan instrucciones para facilitar la resolución de dudas. Como cualquier otra herramienta de edición, el editor permite guardar los cambios y abandonar temporalmente la sesión.

El objetivo final del equipo promotor de GEOCAMP es convertir este editor de itinerarios en una publicación electrónica, libre, gratuita y abierta a la comunidad científica. Por ello el software procesa toda la información introducida en cada itinerario para presentarla en un formato que puede consultarse directamente. En cualquier momento los autores pueden acceder, a través del menú, a una vista previa que permite visualizar el documento maquetado que ha generado el aplicativo combinando sus textos y figuras (Fig. 4). A partir del momento en que el autor o autores deciden dar por terminada la entrada de información, pueden abandonar el modo de edición y publicar su punto de interés o itinerario. En ese instante el aplicativo alimentará automáticamente una base de datos y su geologuía será visible para cualquier persona desde el portal GEOCAMP.

Un motor de búsqueda facilita la localización de los itinerarios publicados, ya sea por nombre de cualquiera de sus autores, por zona geográfica o por tipo de interés geológico.

Admitiendo la necesidad de evaluar los itinerarios publicados, pero asumiendo la imposibilidad de disponer de un equipo de revisores que pueda abordar el previsible volumen y diversidad de contenidos, los impulsores de GEOCAMP decidimos dejar en manos de los usuarios el procedimiento de valoración. De este modo GEOCAMP incorpora un cuestionario que permite puntuar diversos aspectos: rigor científico, originalidad, interés geológico, calidad gráfica y utilidad didáctica. El número de valoraciones y la puntuación media otorgada por los usuarios pueden verse en todo momento en la ficha de cada geologuía. Las opiniones y críticas sobre cada guía son enviadas automáticamente al primer autor y al editor responsable del aplicativo.

AGRADECIMIENTOS

El portal GEOCAMP fue beneficiario de tres ayudas de las convocatorias MQD (2002, 2005 y 2008) de la AGAUR de la Generalitat de Catalunya. También ha recibido el apoyo económico del ICGC para desarrollar ejemplos piloto de itinerarios de campo.

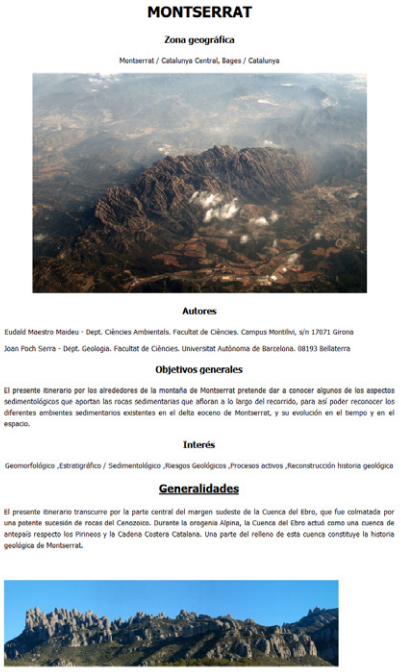


FIGURA 4. Ejemplo de itinerario en GEOCAMP.

REFERENCIAS

Bach, J., Brusi, D., Domingo, M. y Obrador, A. (1988): Propuesta de una metodología y jerarquización de las observaciones del trabajo de campo en geología. *Revista de Geología*, 2: 319-325.

Brusi, D. (1992): Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas al campo en Geología (I): Aspectos funcionales. (II): Aspectos metodológicos. *Actas del VII Simposio Nacional sobre Enseñanza de la Geología*: 363-407. Santiago de Compostela.

Brusi, D., Bach, J., Estrada, M.R., Oms, O.,Vicens, E., Obrador, A., Maestro, E. y Biosca. J. (2011): El GEOCAMP: un sitio web y una herramienta de edición para las actividades de campo en Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19.1: 58-167.

Brusi, D., Bach, J., Estrada, M.R., Oms, O. y Vicens, E. (2012): Geocamp: the online publishing platform of geological guides. *7th EUropean congress on Regional GEOscientific cartography and Information systems*. Bolonia.

Obrador, A., Brusi, D., Biosca, J., Bach, J., Estrada, M.R., Maestro, E., Oms, O. y Vicens, E. (2004): Geocamp: el portal de las actividades de campo en Geología. *Documentos del XIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*: 240-248. Alicante.

Oms, O., Brusi, D., Bach, J., Vicens, E., Estrada, M.R., Maestro, E., Obrador, A., Biosca, J., Vehí, M., Riera, V., Mata, J.M. y Osorio, R. (2006): Plataforma virtual para la difusión de itinerarios de campo en Ciencias de la Tierra. *Actas del XIV Simposio Ibérico sobre Enseñanza de la Geología*: 361-364. Aveiro.

Olimpiada Española de Geología: principal cantera de geólogos

Spanish Geology Olympiad: main source for new geoscientists

A. Calonge[1], A. Anglisano[2], O. Fesharaki[3], X. Juan[4] y M.D. López Carrillo[1]

1 Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente. Univ. de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid). a.calonge@uah.es; mariadolores.lopez@uah.es
2 Dpto. Geología. Universidad Autónoma de Barcelona. anna.ar.93@gmail.com
3 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. omidfesh@ucm.es
4 European Geosciences Union. Spanish Field Officer for Education. xjuan03@gmail.com

Resumen: Este trabajo quisiera determinar si la Olimpiada Española de Geología fomenta que los participantes amplíen su formación comenzando estudios universitarios en Geología. Para ello se analizan los datos de los ganadores en las diez ediciones celebradas hasta el momento (2010 al 2019). Aunque el porcentaje de estudiantes interesados en realizar una carrera en Ciencias Geológicas no suele ser muy alto al comienzo de cada olimpiada, la realidad es que hay una cantidad significativa de estudiantes que han estudiado o están estudiando Geológicas, especialmente entre los ganadores de las Olimpiadas Nacionales, que a su vez han participado en la Fase Internacional. Otro resultado destacable es que casi todos los participantes manifiestan haber descubierto otra "cara" de la geología durante las olimpiadas, disfrutan aprendiendo más sobre esta ciencia y están interesados en el conocimiento de la Geología.

Palabras clave: Olimpiadas geológicas, Educación Secundaria, vocación geocientífica.

Abstract: *This paper deals with the Spanish Geology Olympiads. Its aim is to investigate if it promotes the increase of the number of students who get involved in a Geoscience career at university. In this way, data of the national winners in the ten editions carried out so far (2010 to 2019) are analysed. Although the percentage of students interested in studying Geology at the beginning of each Olympiad is not usually very high, the truth is that a significant number of students have finally studied Geology, especially among those who have participated in both the Spanish and the International Earth Science Olympiad (IESO). Another fact that arises from our survey is that almost all participants declare having discovered another "face" of Geology through their Olympic experience, having enjoyed learning more about this discipline, and having increased their interest in Geology.*

Keywords: *Geology Olympiads, Secondary School, Geoscience vocation.*

INTRODUCCIÓN

Desde 1959, cuando se celebró la primera Olimpiada Internacional de Matemáticas para estudiantes no universitarios, otras olimpiadas científicas se han sumado a esta iniciativa. La idea de crear una Olimpiada Internacional de Ciencias de la Tierra surge en el seno de la Organización Internacional de Educación en Geociencias (IGEO) (http://www.geoscied.org/), que está adscrita a la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS). En esta línea, y supervisada por la IGEO, se organiza anualmente desde 2007 la Olimpiada Internacional de Ciencias de la Tierra (International Earth Science Olympiad, IESO). España se incorporó a esta iniciativa en el año 2009 y desde entonces se han organizado ininterrumpidamente.

A nivel nacional hay varios concursos (olimpiadas) para estudiantes de Enseñanza Secundaria centrados en diferentes disciplinas: matemáticas, física, química, biología, economía y geología. La Olimpiada Española de Geología es la más joven junto con la de Economía y se ha convertido en una iniciativa fundamental para que los estudiantes conozcan de cerca la Geología y se interesen por esta ciencia.

La Olimpiada Española de Geología consiste en una competición anual para estudiantes de bachillerato (y excepcionalmente de 4º de ESO) seleccionados por las respectivas Olimpiadas Territoriales. Es una de las principales actividades de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencia de la Tierra (AEPECT), que cuenta con el apoyo de la Sociedad Geológica de España (SGE) y otras instituciones vinculadas con la Geología.

Los principales objetivos de estas olimpiadas son: (1) interesar a los estudiantes en el conocimiento de la Geología; (2) resaltar su importancia en el mundo actual, promoviendo su progreso y divulgación; y (3) animar a que los participantes comiencen carreras universitarias vinculadas con esta disciplina (Calonge y López-Carrillo, 2017).

La gran barrera que a veces existe entre el mundo universitario y científico y el de Enseñanza Secundaria está siendo superada por esta actividad, que no ha dejado de crecer (desde 600 participantes en la primera edición de 2010 hasta casi 4000 en la décima edición de 2019).

La Olimpiada de Geología consta de 3 fases: territorial, nacional e internacional (Calonge y Greco, 2011). Las

Olimpiadas Territoriales son competiciones independientes que se celebran anualmente, organizadas por una provincia, grupo de provincias o comunidad autónoma. La Fase Nacional se celebra cada año en una sede distinta y consta de una primera prueba individual con preguntas tipo test y una segunda parte grupal en la que los participantes demuestran sus conocimientos respondiendo a preguntas planteadas en una gymkhana que suele realizarse al aire libre. De esta forma se abordan temas de actualidad en geología y atractivos didácticamente, que motiven a los estudiantes y permitan desarrollar procedimientos y competencias propias de la Geología. Asimismo el contenido de las pruebas permite progresar en el método científico partiendo de la identificación de problemas, la formulación de hipótesis, la comprobación de las mismas, el análisis de los datos recolectados y su discusión en relación con el problema inicial.

Por último a la Fase Internacional acuden los ganadores de las Olimpiadas Nacionales. Cada país participante envía su propia delegación, constituida por 4 estudiantes y 2 profesores acompañantes (Calonge y Greco, 2011). La estructura de las pruebas en esta fase consta de una prueba teórica que contiene cuestiones sobre Ciencias de la Tierra y una prueba práctica que incluye cuestiones experimentales y/o actividades de campo. En ambas pruebas se limita el tiempo para su resolución. Algunas de las tareas experimentales o de campo están diseñadas para ser resueltas en equipo. Estos equipos se forman con cuatro o más miembros de diferentes países, de tal forma que trabajan juntos y se clasifican en grupo. Por otro lado existen también tareas experimentales que se realizan de forma individual.

Durante el desarrollo de las olimpiadas, en cualquiera de sus fases, se favorece el contacto entre los profesores de Enseñanza Secundaria y los profesores universitarios y científicos, potenciando entre otros aspectos la competencia científica de este profesorado.

Durante las Olimpiadas Españolas, simultáneamente a las pruebas, se organizan talleres para el profesorado acompañante con el objeto de contribuir a mejorar la calidad docente de los contenidos curriculares de Geología. El diseño de los talleres tiene en cuenta las necesidades de formación del profesorado y se incluyen en el Plan de Formación que AEPECT presenta al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte como parte del vigente Convenio de Colaboración, firmado entre ambas instituciones en el marco de la O. M. de 26.12.92 (B.O.E. 10 de diciembre) sobre formación permanente del profesorado y prorrogado hasta la fecha. A los profesores participantes se les reconocen créditos de formación en virtud del anterior convenio y se les obsequia con las guías didácticas de estos talleres y, en algunos casos, con materiales (muestras de microfósiles, láminas delgadas, fotografías aéreas interpretadas, etc.).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las Olimpiadas abordan conjuntamente las competencias geocientíficas del saber, saber hacer y saber ser, al tiempo que favorecen la cooperación y diversión, y son una herramienta de éxito para aumentar el interés por la Geología de estudiantes pre-universitarios, profesores y público en general, y despertar así auténticas vocaciones geocientíficas.

A continuación se valoran los resultados aportados por las diez ediciones celebradas (Calonge, 2019) a nivel de profesorado acompañante y de estudiantes ganadores de las Fases Nacionales.

Profesores acompañantes

En demasiadas ocasiones se oyen voces autorizadas lamentando que no haya una comunicación y colaboración más intensa entre los docentes universitarios y los de Enseñanza Secundaria. Las Olimpiadas de Geología han contribuido a poner en contacto el profesorado de ambos mundos; los profesores universitarios conocen el día a día de los profesores de secundaria y, a partir de este conocimiento, intentan colaborar con ellos de diferentes formas: organizando jornadas de formación, talleres, conferencias y preparando maletas de materiales que puedan servir para preparar pruebas de las olimpiadas y para uso cotidiano en clase. Por su parte los profesores de secundaria retoman el contacto con las instituciones universitarias, muchas veces perdido, e intentan formar a sus alumnos de acuerdo no sólo con el currículo oficial, sino también con las demandas y orientaciones del mundo universitario.

Es obvio que una educación geológica básica resulta imprescindible en el mundo actual, tal y como está regulado en el marco legal de la LOMCE. Sin embargo, la realidad es que estos contenidos curriculares vinculados con la Geología no se llegan a impartir por diversos motivos (Calonge *et al.*, 2018). Así las horas lectivas dedicadas a la Geología son insuficientes en relación con otras ciencias. Por otro lado la formación de la mayoría de profesores de secundaria es biológica y los contenidos geológicos que deben impartir se plantean desde un marco exclusivamente teórico (hay muy pocas actividades fuera del aula o desdobles para hacer actividades de laboratorio). Todo ello ha desencadenado una disminución notable en el número de estudiantes que eligen Geología como primera opción tras aprobar la Evaluación de Bachillerato para el Acceso a la Universidad (EBAU).

Por eso son tan importantes las actividades que se llevan a cabo con el profesorado, ya que contribuyen a mejorar su formación geológica, propician su actualización científica y didáctica, y posibilitan el intercambio de experiencias e investigaciones. Conviene recordar que los profesores de Educación Secundaria juegan un papel importante a la hora de ayudar a los estudiantes a elegir el tipo de estudios universitarios (en base a las competencias de cada estudiante) que se adapte a sus intereses, objetivos y métodos de aprendizaje.

Estudiantes ganadores de las Fases Nacionales

Aunque resulte obvio que la Geología es una ciencia, tal y como hemos comentado anteriormente muchos estudiantes desconocen qué es y para qué sirve, e incluso que se puede

estudiar en la universidad. Así la experiencia desarrollada en años anteriores ha coincidido con un incremento significativo de los estudiantes de nuevo ingreso en las facultades en las que se imparte el grado de Geología, claramente atribuible a la participación de estudiantes de bachillerato en las Olimpiadas de Geología.

En la Tabla I se detallan los resultados de los equipos españoles que han participado en las diferentes ediciones internacionales. Se evidencian los excelentes resultados obtenidos, que se traducen en varias medallas de oro, plata y bronce, así como diversos diplomas por nuestra participación en las pruebas de la ITFI (International Team Field Investigation) y en el Earth System Project.

Del total de 40 estudiantes ganadores de la Fase Nacional (4 ganadores cada año en las diez ediciones celebradas), 11 han estudiado o están estudiando el Grado de Geológicas en alguna universidad del ámbito nacional. ¡Estamos hablando del 30%! Muchos de ellos, antes de participar en las olimpiadas, no se habían planteado estudiar Geológicas.

Según los primeros resultados de un estudio, actualmente en desarrollo, sobre el grado de satisfacción de los participantes en los cursos de formación tras las olimpiadas nacionales y sobre sus percepciones ante diversos aspectos de su participación en las Fases Internacionales, queda patente que el principal problema por el que en muchos casos no tienen el Grado en Geología entre sus opciones de carrera universitaria es la poca Geología que ven en Educación Secundaria y lo poco práctica y motivadora que es ésta. Los casos en los que deciden cursar esta carrera relacionan su decisión con los buenos profesores de Geología que tuvieron en Bachillerato, su participación en las Olimpiadas de Geología y, en algunos casos, su participación en actividades de divulgación como la Semana de la Ciencia.

Carecemos de datos sobre este tema en relación con los participantes en las Fases Territoriales, pero nos gustaría comentar el caso de Anna Anglisano Roca (una de las autoras de esta comunicación), que participó en la 3ª Olimpiada Española de Geología (2012). Anna participó como representante de la provincia de Girona en la Fase Nacional. Reconoce su participación como una de las mejores experiencias de su vida, sobre todo durante su época de estudiante. Gracias a esta experiencia y a la motivación que recibió por parte de su profesora de Ciencias de la Tierra, decidió estudiar Geológicas en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Su participación en las Olimpíadas fue tan satisfactoria que nunca se desvinculó de ellas y se involucró como voluntaria en la Fase Territorial desde 2012 y en la Nacional ocasionalmente. Al finalizar el Grado de Geológicas en la UAB se matriculó en el Máster de Formación de Profesorado con el objetivo de convertirse en una gran profesora, como la que ella tuvo de referente. Actualmente está realizando un doctorado en la especialidad de Mineralogía cuya tesis está adscrita al Departamento de Geología de la UAB, participa en distintos proyectos de divulgación científica, coordina la Fase Territorial de las Olimpíadas de Cataluña desde este año y ha participado los últimos dos años como mentora en el equipo internacional, momento en que pasó a formar parte de la Comisión que organiza las Olimpíadas de Geología en España. Su implicación es solo un ejemplo del cambio y la relevancia que puede llegar a tener para un estudiante participar en un evento científico como son las olimpiadas.

CONCLUSIONES

El principal objetivo de las Olimpiadas de Geología es fomentar el interés entre los estudiantes de Secundaria y

AÑO	MEDALLAS DE ORO	MEDALLAS DE PLATA	MEDALLAS DE BRONCE	DIPLOMAS	MATRICULADOS EN GEOLÓGICAS
2010					1 (UGR)
2011		1	1	Capacidad de Cooperación en equipo.	1 (UNIZAR)
2012			2	Mejor conclusión al trabajo de campo.	1 (UCM)
2013			2		1 (USAL)
2014		1	2	Mejor investigación científica. Mejor presentación del trabajo.	0
2015			2	International Team Field Investigation Earth System Project	0
2016	1	1	1	International Team Field Investigation Earth System Project	1 (UB)
2017	1	1	2	International Team Field Investigation	3 (UB y UA)
2018	1	3		International Team Field Investigation Earth System Project	2 (UCM y UNIZAR)
2019		1	2	Earth System Project	1 (UCM)

TABLA I. Resultados de los equipos españoles que han participado en las diferentes ediciones internacionales y relación de ellos que han estudiado o están estudiando el Grado de Geológicas. UGR (Universidad de Granada); UNIZAR (Universidad de Zaragoza); UCM (Universidad Complutense de Madrid); USAL (Universidad de Salamanca); UB (Universidad de Barcelona); UA (Universidad de Alicante).

Bachillerato por la Geología y otras ciencias que estudian la dinámica de la Tierra y los planetas. Paralelamente estas Olimpiadas son un punto focal de información y motivación al público en general, para llamar la atención sobre la importancia de estas disciplinas en el mundo actual y brindar a los profesores de las diferentes sedes la oportunidad de compartir buenas prácticas.

Como conclusión queremos destacar que las Olimpiadas de Geología cumplen un papel educativo fundamental entre alumnado y profesorado de Secundaria, fomentando el interés por esta ciencia. Además la experiencia de estos años ha coincidido con un incremento significativo de los estudiantes de nuevo ingreso en las facultades en las que se imparte el grado de Geología, atribuible en parte a la participación de estudiantes de bachillerato en las propias Olimpiadas de Geología.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo han participado activamente varios miembros del Grupo de Investigación “Enseñanza de las Ciencias de la Tierra”, registrado en la UAH con la referencia CCEE2017/R02.

REFERENCIAS

Calonge, A. (2019): Olimpiadas de Geología: ¡cumplimos 10 años! *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(1): 125-127.

Calonge, A. y Greco, R. (2011): Olimpiada Internacional de Ciencias de la Tierra (IESO): Una oportunidad a la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(2): 130-140.

Calonge, A. y López-Carrillo, M.D. (2017): The Spanish Earth Science Olympiads. En: *X International Conference and Summer School abstracts book “Geology in school and university: Earth Science and Civilization”*. St. Petersburg (Russia), 398-401.

Calonge, A., Brusi, D. y Juan, X. (2018): Current state of Geology Teaching in Spain. En: *Earth Science Education: Global Perspectives,* R. Greco y L. Almberg (eds.), IFSULDEMINAS, 289-304.

Web AEPECT Olimpiadas de Geología: http://www.aepect.org/actividades-geologicas/olimpiada-geologia/

La letra con música entra: canciones geológicas para disfrutar al estudiar

Spare the rod, educate the child: geology songs for studying and having a good time

A. Casas[1] y J.J. Villalaín[2]

1 Geotransfer (IUCA), Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. de Zaragoza, c/Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. acasas@unizar.es
2 Dpto. Física, Escuela Politécnica Superior, Univ. de Burgos, Av. Cantabria s/n, 09006 Burgos. villa@ubu.es

Palabras clave: pedagogía, geología, música, canción, tradición oral.

Resumen

La música ha sido tradicionalmente un soporte para comunicar emociones, pero también noticias, sucesos, etc., y una manera de preservarlos en la memoria de la comunidad. Ejemplos de estas funciones son los cantares de gesta, las coplas de ciego, los cuplés o los romances. Es bien conocido que la música ayuda a recordar el texto con más facilidad, por eso se usó con frecuencia en la educación tradicional. Sin embargo, desde que la música se convirtió en un elemento de consumo la cadena de la tradición oral en la música se ha roto y la gente ha dejado de cantar. Creemos que en las aulas es posible recuperar esta herramienta que motiva, favorece el recuerdo y liga el conocimiento con las emociones. Proponemos como actividad didáctica y de divulgación componer letras de temática geológica para melodías populares como el cuplé, una de cuyas variantes se usa en el carnaval de Cádiz. Éste es un ejercicio útil para quien lo escucha y quien compone. Las mayores dificultades son: 1) la timidez al pensar en la incapacidad para componer e interpretar, 2) encontrar melodías adecuadas y pegadizas, 3) encontrar rimas, que en ciencia se agrava con los términos esdrújulos, acrónimos y palabras en inglés. Proponemos ejemplos con distintos tipos de canción que solventan estos problemas. La métrica usada es el octosílabo con rima sencilla xaxaxbxb, que da bastante libertad para componer y puede adaptarse fácilmente a melodías populares, como las coplas o el romance. El tema puede ser muy variado. En principio se usó como recurso didáctico para salidas de campo, pero el contenido debe ajustarse al público. Aún más ambicioso es expresar asignaturas completas en rima, que pueden hacerse largas. Encontrar un buen estribillo que recalque puntos básicos es también un reto interesante. Esta iniciativa transversal pretende ayudar a la enseñanza de la geología y de las ciencias en general, añadiendo motivación extra, facilitando la memorización y recuperando la música popular, tan eficaz y rica en transmitir la tradición oral en el pasado.

Abstract

Music has traditionally been a frame for communicating and preserving emotions, news and events. There are many examples of this kind in mediaeval chronicles, ballads and couplets. It is well known that music helps to remember texts more easily and with this purpose has been used in traditional education. However, since music became a consumers' good, the role of traditional music has been broken and people stopped singing. We think it is possible to recover this role of music as a learning tool in the classroom to motivate and facilitate remembering and linking knowledge and emotions. We propose as a learning and dissemination activity composing lyrics with geological background using popular melodies, such as the couplet (commonly used in the carnival of Cadiz). This is a useful exercise both for the receiver and the composer. Most difficulties come from: 1) shyness and self-restraining, 2) finding adequate and easy-to-repeat tunes, 3) finding rhymes for scientific terms. Here we propose examples that overcome these drawbacks. The structure of the sections is eight-syllable verses that can be adapted to ballads or couplets. Lyrics can cover a wide range of issues, from field trips to specific subjects (where songs can be very long). To find a good refrain is always a major challenge. This transversal initiative aims to help the teaching of science, adding additional motivation, facilitating memorization and, above all, recovering the folk music, so efficient and rich in the transmission of oral tradition in the past.

Perspectiva científico-social del cambio climático en el marco de la docencia universitaria

Scientific and social perspective of climate change at University

P. Castiñeiras[1], B. Fernández[2], I. Aranaz[3], M.J. Pérez del Pozo[4], E. García-Burgos[5], F.J. García-Tartera[6] y P. Sánchez-Millas[7]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid. castigar@ucm.es
2 Dpto. Ética Aplicada, Facultad de Filosofía, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
3 Dpto. Físico-química, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
4 Dpto. Relaciones Internacionales, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
5 Dpto. Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
6 Dpto. Educación, Facultad de Educación, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
7 Dpto. Historia contemporánea, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

Palabras clave: cambio climático, ética, sociedad, sostenibilidad, Erasmus+.

Resumen

A pesar del escepticismo de una parte de la sociedad, existe un consenso científico sobre los efectos a corto plazo que tiene la acción humana en el clima. Sin embargo, para poder afrontar la crisis climática que estamos atravesando necesitamos que las nuevas generaciones sean conscientes de todos los efectos sociales que estarán asociados a la intensificación de los eventos climáticos extremos. Por esta razón un grupo de profesores de la Universidad Complutense de Madrid de distintas facultades, tanto de ciencias como de humanidades, decidimos solicitar un proyecto Erasmus+ de la modalidad KA2-Asociaciones Estratégicas para desarrollar una asignatura multidisciplinar sobre cambio climático que incluyera no solamente aspectos científicos, sino también la parte social y ética del problema. Además hemos contado con otras universidades y organismos del entorno mediterráneo: el Instituto Politécnico de Bragança (Portugal), la Universidad de Basilicata (Italia), la Universidad de Akdeniz (Turquía) y el Instituto de Formación y Educación Industrial y de Negocio (IVEPE-SEV, Grecia) ya que, según todas las previsiones, el arco mediterráneo será uno de los lugares más afectados en Europa por el cambio climático.

Abstract

In spite of the skepticism from a portion of society, there is a scientific consensus on the short-term effects that human action has on climate. However, to tackle the ongoing climatic crisis we need that the new generations become conscious of all the social effects that will be associated to the abundance of extreme climate events. For that reason, a group of professors of the Complutense University in Madrid from a variety of faculties (from Arts and Science) have applied for an Erasmus+ project (KA2-Strategic Associations) with the objective of developing a multidisciplinary subject on climate change that will cover not only the scientific aspects, but also the social and ethical part of the problem. Furthermore, we have included other Universities and Organisms from the Mediterranean realm, such as the Polytechnic Institute from Bragança (Portugal), the Basilicata University (Italy), the Akdeniz University (Turkey), and the Industrial and Business Education and Training Institute (IVEPE-SEV, Greece), because according to the estimations, the Mediterranean arch will be one of the most affected places in Europe by climate change.

Movimientos oculares aplicados a la enseñanza de la geología

Eye-tracking applied to teaching in geology

P. Castiñeiras[1], E.M. Pérez-Moreno[2], M.L. García-Lorenzo[1], M.I. Benito[3], E. García-Romero[1], E. Crespo[1] y D. Orejana[1]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, UCM, 28040 Madrid. castigar@ucm.es
2 Dpto. Psicobiología y Metodología en Ciencias del Comportamiento, Facultad de Psicología, UCM, 35017 Madrid. elisaperez@psi.ucm.es
3 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, UCM. IGEO (CSIC-UCM). 28040 Madrid.

Resumen: Hemos caracterizado los movimientos oculares en estudiantes de Geología de primer y último curso, utilizando un sistema de rastreo ocular, con el fin de estudiar la manera en la que observan un paisaje desde un punto de vista geológico. Al contrario de lo que cabría esperar, los resultados obtenidos han sido parecidos en ambos grupos, pero han permitido concluir que los movimientos oculares pueden ser utilizados para controlar el grado de aprendizaje de los estudiantes a lo largo de la carrera. La información obtenida con esta metodología nos podría permitir conocer los mecanismos más eficientes para observar una escena geológica y, aplicados a la enseñanza de la geología, se podrían utilizar para mejorar ésta de manera sustancial.

Palabras clave: movimientos oculares, evaluación, competencias, enseñanza.

Abstract: *We have characterized eye movement in students of first and last Geology degree course when observing a landscape from a geological point of view, by using an eye-tracking technology. Contrarily to the expected outcome, results were similar in both groups, yet they have allowed us to conclude that eye-tracking can be used to assess the learning process of students through the degree. Information obtained with this methodology could be used to ascertain the most efficient way to observe a geological scene and to improve geology teaching.*

Keywords: *eye-tracking, evaluation, competencies, teaching.*

INTRODUCCIÓN

La geología es una disciplina muy visual a diferentes escalas de observación, desde las representaciones de estructuras atómicas de los minerales, la disposición textural de éstos en lámina delgada, la estructura de la roca en muestra de mano, las relaciones entre rocas en un afloramiento, la configuración de un paisaje o, a escala regional, mediante fotos aéreas o imágenes de satélite. La distribución de estructuras y texturas nos da idea de los procesos que las han originado y nos ayuda a comprender la historia geológica de lo que estamos observando.

Sin embargo, el sistema visual humano condiciona nuestro modo de observar e interpretar el mundo. En la parte anterior del interior del globo ocular, la retina, se hallan los bastones y los conos, células responsables de la recepción de la luz. Los primeros no detectan colores, pero son buenos detectando el movimiento y permiten la visibilidad en condiciones de poca luz, mientras que los segundos son sensibles a diferentes longitudes de onda, equivalentes a los colores rojo, verde y azul, y se hallan en una pequeña región de la retina llamada fóvea, donde apenas hay bastones y la visión es de alta resolución.

El tamaño de la fóvea provoca que, para poder ver la totalidad de una escena estática, los ojos deban recorrerla mediante movimientos oculares, llamados sacádicos o sacadas, combinados con una serie de paradas cortas, denominadas fijaciones (Rayner y Pollatsek, 1992). De esta manera nuestra visión resulta de la interacción entre los movimientos del ojo y la interpretación de estas imágenes en el cerebro, por lo que ambos construyen la representación del mundo que nos rodea.

Los estudios sobre movimientos oculares, realizados en el campo de la psicología cognitiva (*e.g.*, Liversedge *et al.*, 2011), se centran en tres tareas principales: lectura, percepción de una escena estática y búsqueda visual. Algunos autores relacionan la duración de las fijaciones y la amplitud de las sacadas con la atención con que se procesa una escena, que puede ser local o global (*e.g.*, Wedel *et al.*, 2008; Henderson, 2013). También existen diferencias en la apreciación de una escena, ya se trate de visión libre o condicionada por diversos objetivos como búsqueda, memorización y evaluación.

Con este estudio preliminar queremos comprobar el potencial de este campo para mejorar la enseñanza y la evaluación de los mencionados elementos visuales de la geología. Para ello hemos estudiado los movimientos oculares en geólogos expertos y en estudiantes de primer curso para comparar sus patrones de reconocimiento visual en escenas geológicas.

METODOLOGÍA

Se eligieron 19 participantes: 10 alumnos de primer curso del grado en Geología y 9 considerados expertos, entre los que había un geólogo profesional y 8 estudiantes

de cuarto curso. Todos ellos con visión normal o visión normal corregida.

Se utilizó un sistema de rastreo ocular *Eye Tracking Tobii Pro Glasses 2*, cuyos componentes son: 1) gafas de registro ocular, 2) unidad de grabación, controlada por un programa a través de un ordenador conectado al sistema a través de un cable HDMI y 3) programa *Tobii Pro Lab* para analizar los datos oculares y extraer los mapas de calor. Las gafas llevan incorporadas una cámara para registrar la escena que está frente al estudiante, de tal modo que el programa devuelve una imagen del campo de visión del sujeto y su mirada superpuesta mediante un cursor en tiempo real. La precisión del sistema es inferior a 0.1º de ángulo visual. El programa de presentación y registro de las respuestas conductuales (DmDX) fue diseñado por Forster y Forster (2003).

Las sesiones experimentales fueron llevadas a cabo en una cabina Faraday (Facultad de Psicología, UCM). Cada estudiante se sentó frente a una pantalla donde se proyectaron once fotografías que debía observar con atención para poder realizar la tarea asignada en cada una. Las imágenes iban precedidas de una pregunta. A continuación aparecía la fotografía y, por último, una pantalla en la que los estudiantes debían emitir una respuesta a través de un teclado. El formato de respuesta fue de elección múltiple con tres alternativas. Se instruyó a los estudiantes para que observaran las fotografías el menor tiempo posible y para que contestaran a la tarea tan rápido como pudieran. La duración máxima del tiempo de observación por imagen fue 10 segundos, a excepción de la fotografía 10 (mapa y corte geológicos) cuya duración máxima fue 20 segundos. La duración máxima de emisión de la respuesta a la tarea planteada fue de 20 segundos. El orden de presentación de las tareas fue aleatorio para cada estudiante.

Antes de comenzar el experimento se calibró la mirada de cada participante mediante un punto de calibración. Los datos oculares fueron grabados a 50 Hz. Las variables oculares consideradas en cada área de interés preestablecida fueron: a) duración de la primera fijación ocular sobre un área de interés; b) número de fijaciones oculares sobre las áreas de interés; c) duración media de las fijaciones sobre las áreas de interés; y d) duración total de las fijaciones sobre las áreas de interés. En la Fig. 1 se muestran las áreas de interés consideradas para dos de las imágenes seleccionadas.

RESULTADOS

Para cada variable ocular y para el tiempo de inspección de las imágenes se realizó una prueba no paramétrica para dos muestras independientes (grupos de experiencia), la prueba *U de Mann-Whitney*. Esta prueba es una de las alternativas a la prueba *t* de *Student* cuando no se cumplen los supuestos que esta última requiere, por ejemplo cuando los tamaños muestrales son pequeños. Para los aciertos a las tareas propuestas con las imágenes se llevó a cabo una prueba de asociación chi-cuadrado y se calculó el valor del estadístico C de contingencia. La Tabla I muestra las medias y desviaciones típicas totales (entre paréntesis) para cada tarea en cada grupo para las variables dependientes analizadas.

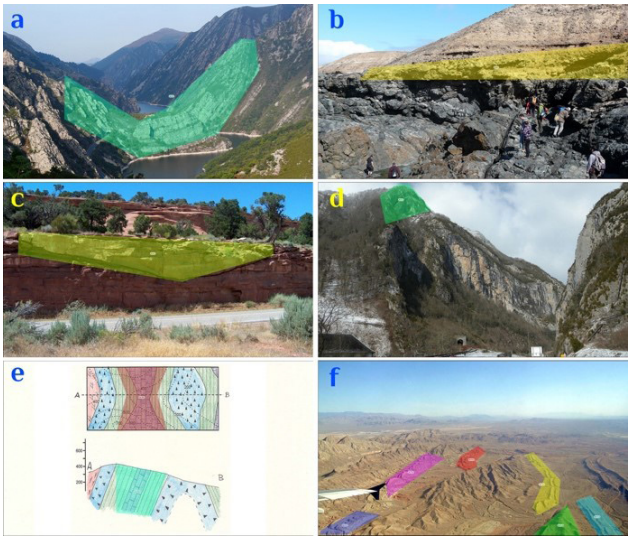


FIGURA 1. Áreas de interés definidas para las imágenes 2 (a), 4 (b), 6 (c), 7 (d), 10 (e) y 11 (f). Para las imágenes 2 y 7 la tarea consistía en reconocer el tipo de pliegue. Para la imagen 4 la tarea era reconocer los materiales sedimentarios justo encima de las rocas ígneas. En la imagen 6 los sujetos tenían que localizar la estructura sedimentaria más llamativa. En la imagen 10 debían localizar el error en el corte geológico y en la 11 determinar hacia dónde buzaban las rocas.

Teniendo en cuenta las medias totales para las variables oculares en la muestra estudiada, estos valores son los esperados; es decir, los expertos obtienen en promedio una duración mayor de la primera fijación en áreas de interés, un número mayor de fijaciones en estas áreas y una duración media y total de las fijaciones mayor en estas regiones preestablecidas. Sin embargo, las diferencias no fueron tan significativas como se esperaba antes de realizar los ensayos.

Según los resultados de las pruebas no paramétricas, sólo existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos para las variables «Número medio de fijaciones en las áreas de interés» (NF en Tabla I) y «Duración media de las fijaciones en las áreas de interés» (DMF en Tabla I). En concreto, al realizar la tarea propuesta con las fotografías 4 (*U de Mann-Whitney* = 10, p = 0.04), 10 (*U de Mann-Whitney* = 17, p = 0.02) y 11 (*U de Mann-Whitney* = 23.5, p = 0.07) los expertos dirigen más fijaciones a las áreas de interés por término medio que los inexpertos. Además para la tarea con la fotografía 6 la duración media de las fijaciones en las áreas de interés fue mayor que la de los inexpertos (*U de Mann-Whitney* = 16, p = 0.01). En cuanto a la variable «Tiempo medio de inspección a cada fotografía» (Tiempo en Tabla I), no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las tareas propuestas entre los dos grupos de experiencia.

Más llamativo aún es el hecho de que tan solo para las tareas de las fotografías 1, 4 y 6 se encuentran diferencias por grupo en el acierto. Según los resultados, para estas tareas los inexpertos tienden a fallar y los expertos a acertar. Para las tres tareas se encuentra una relación de intensidad media entre el grupo de pertenencia y el acierto a la tarea, con valores χ^2 = 4.1, p = 0.04, C = 0.41 para la tarea

1, $\chi^2 = 3.1$, $p = 0.07$, C = 0.37 para la tarea 4 y $\chi^2 = 3.43$, $p = 0.06$, C = 0.38 para la tarea 6.

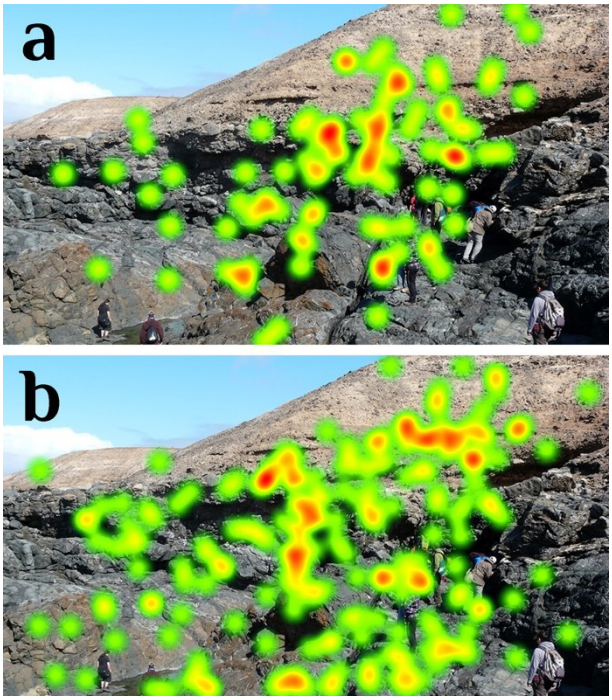


FIGURA 2. Mapas de calor obtenidos en la imagen 4 para los participantes en función de la variable de rendimiento de su eficacia (tasa de aciertos a la tarea) mayor (a) o menor (b). En el grupo con menor eficacia (menor tasa de aciertos) la dispersión de la mirada lejos del área de interés definida es mucho mayor.

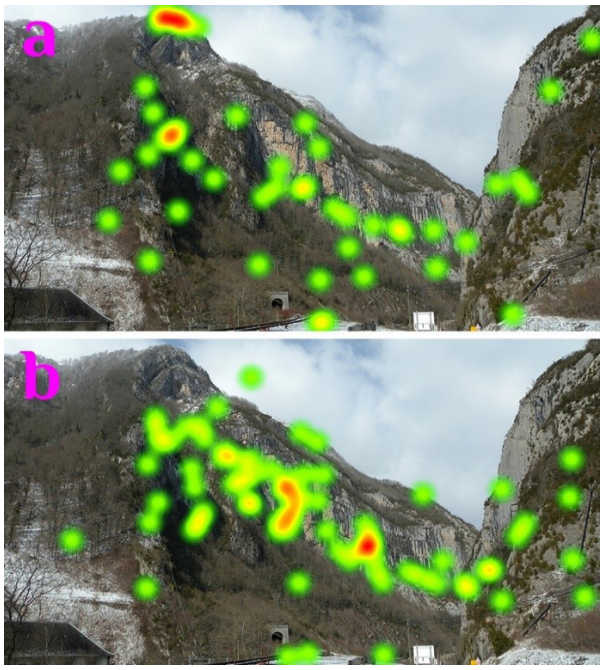


FIGURA 3. Mapas de calor obtenidos en la imagen 7 para los participantes en función de la variable de rendimiento de su eficiencia (tiempo de inspección de la fotografía de los que acertaron la tarea) mayor (a) o menor (b). El grupo que menor eficiencia ha mostrado (que ha mirado la imagen durante más tiempo) no ha visto el pliegue.

Estos resultados justifican la decisión tomada *a posteriori* de considerar la tasa de aciertos a la tarea (eficacia) y el tiempo de inspección de las fotografías de los que resolvieron la tarea correctamente (eficiencia) como variables de rendimiento. Se han analizado dichas variables oculares y se han generado los mapas de calor correspondientes a ambos grupos, y en ellos se observa cómo los que presentan mejor eficacia (Fig. 2) y eficiencia (Fig. 3) obtienen una duración mayor de la primera fijación en áreas de interés, un número mayor de fijaciones en estas áreas y una duración media y total de las fijaciones mayor en estas regiones preestablecidas.

CONCLUSIONES

Gracias a este estudio hemos comprobado que existen diferencias en el patrón de movimiento ocular entre estudiantes noveles y expertos, por lo que el patrón ocular y los mapas de calor pueden ser utilizados como complemento en la evaluación de asignaturas de los grados en Geología e Ingeniería Geológica.

Además estos resultados pueden tener aplicaciones en diversos aspectos educativos, como el desarrollo de estrategias didácticas para el aprendizaje autónomo del alumno, guiándolo en su modo de observar y sabiendo cómo ir incrementando el grado de dificultad.

Por otro lado, al caracterizar la dinámica de observación de geólogos profesionales y de alumnos al ser expuestos ante diversas estructuras geológicas, podremos comparar los patrones obtenidos en cada caso. De esta manera seremos capaces de comprender las diferencias que existen en la adquisición de información visual de esas estructuras geológicas entre un experto y un alumno.

Con estos datos se pueden desarrollar nuevas formas de docencia que hagan mayor énfasis en la mejor manera de observar un afloramiento o una estructura para obtener la mayor cantidad de información posible y minimizar el tiempo de adquisición de habilidades descriptivas y cognitivas. Otros análisis posibles incluyen estudiar las diferencias de movimientos oculares al aumentar la complejidad de las escenas expuestas o caracterizar los patrones de reconocimiento en visión libre y en visión condicionada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto de innovación y mejora de la calidad docente (PIMCD) Innova-Gestión calidad número 196 titulado «Análisis de la evolución en la adquisición de competencias específicas y transversales en los grados de Geología e Ingeniería Geológica», concedido por la UCM en 2018. Agradecemos la colaboración de los participantes en este estudio y del personal del CAI de Técnicas de Análisis del Comportamiento de la Facultad de Psicología de la UCM.

		DPF (ms)	NF	DMF (ms)	DTF (ms)	Tiempo (ms)	PA
Tarea 1	Inexpertos	276 (139)	4.4 (2.12)	332 (120)	1548 (865)	7695 (2394)	0.45
	Expertos	400 (267)	5.89 (2.42)	450 (208)	2918 (2301)	7211 (2568)	0.89
Tarea 2	Inexpertos	394 (254)	7.4 (2.76)	411 (88)	3052 (1314)	5760 (2385)	0.73
	Expertos	329 (236)	7.33 (4.18)	434 (116)	3140 (1749)	6729 (2363)	0.89
Tarea 3	Inexpertos	379 (248)	2.27 (0.66)	421 (186)	940 (460)	7316 (2262)	0.36
	Expertos	398 (200)	2.76 (1.18)	378 (110)	1024 (443)	9110 (1659)	0.22
Tarea 4	Inexpertos	502 (326)	2.89 (2.47)	493 (239)	1307 (1247)	6823 (2503)	0.27
	Expertos	327 (84)	5.5 (1.87)	341 (67)	1893 (870)	6813 (2432)	0.67
Tarea 5	Inexpertos	419 (152)	2.65 (1.45)	439 (98)	1119 (601)	6885 (2637)	0.54
	Expertos	388 (250)	2.57 (1.81)	417 (233)	1003 (556)	7245 (2945)	0.44
Tarea 6	Inexpertos	402 (184)	6.5 (3.34)	332 (95)	2094 (1021)	7272 (2200)	0.36
	Expertos	509 (286)	5.89 (3.41)	495 (170)	2529 (1296)	6963 (2100)	0.78
Tarea 7	Inexpertos	-	0	-	-	7907 (2523)	0.54
	Expertos	565 (440)	3 (2.83)	535 (438)	1005 (502)	8138 (2254)	0.22
Tarea 8	Inexpertos	535 (449)	3.75 (2.31)	446 (273)	1485 (977)	8226 (2062)	0.09
	Expertos	480 (381)	3.75 (1.91)	512 (303)	2050 (1629)	8705 (2043)	0.22
Tarea 9	Inexpertos	368 (253)	7.3 (3.89)	417 (160)	2952 (1606)	6535 (2637)	0.91
	Expertos	458 (220)	8.44 (6.54)	380 (124)	3309 (1936)	7085 (2967)	0.89
Tarea 10	Inexpertos	421 (213)	4.85 (1.9)	556 (134)	2701 (687)	15721 (4395)	0.45
	Expertos	528 (211)	6.5 (1)	527 (140)	3473 (1163)	16946 (3192)	0.44
Tarea 11	Inexpertos	474 (170)	1.84 (1.15)	529 (239)	957 (681)	8309 (2225)	0.54
	Expertos	622 (326)	2.07 (0.55)	641 (345)	1201 (659)	9412 (1190)	0.67

TABLA I. Valores medios y desviaciones típicas totales (entre paréntesis) para cada tarea en cada grupo para las variables dependientes analizadas. DPF: Duración media de la primera fijación en un área de interés (ms); NF: Número medio de fijaciones en las áreas de interés; DMF: Duración media de las fijaciones en las áreas de interés (ms); DTF: Duración media total de las fijaciones en las áreas de interés (ms); Tiempo: Tiempo medio de inspección a la fotografía (ms); PA: Proporción de aciertos a la tarea.

REFERENCIAS

Forster, K.I. y Forster, J.C. (2003): DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers,* 35: 116-124.

Henderson, J.M. (2013): E*ye movements. En: The Oxford Handbook of Cognitive Psychology* (D. Reisberg, ed.). Oxford University Press, Oxford, 69-82.

Liversedge, S., Gilchrist, I. y Everling, S. (2011): *The Oxford Handbook of Eye Movements*. Oxford University Press, Oxford, 1048 p.

Rayner, K., y Pollatsek, A. (1992): Eye movements and scene perception. *Canadian Journal of Psychology,* 46(3): 342.

Wedel, M., Pieters, R., y Liechty, J. (2008): Attention switching during scene perception: how goals influence the time course of eye movements across advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(2): 129.

La Geología en la formación del profesorado sobre el Cambio Climático y su educación: un ejemplo en el diseño de un MOOC

Geology in teacher training on Climate Change Education: an example in a MOOC design

D. Corrochano[1], S. Andrés-Sánchez[1], A. M. Ballegeer[1], L. Delgado-Martín[1], M. A. Fuertes[1], P. Herrero-Teijón[1], E. Rainiero[1] y C. Ruiz[1]

1 Dpto. Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales, Univ. de Salamanca, Fac. de Educación, Pº Canalejas 169, 3700 Salamanca. dcf@usal.es; santiandres@usal.es; amballegeer@usal.es; laura@usal.es; fuertes@usal.es; pabloherrero@usal.es; enzoferrari@usal.es, camilo@usal.es

Palabras clave: geología, Ciencias de la Tierra, cambio climático, formación docente, MOOC.

Resumen

El Cambio Climático (CC) constituye uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad (IPCC, 2014). La educación debe jugar un papel fundamental para comprender la magnitud del problema y poder articular una respuesta justa, coherente y coordinada. Desde un punto de vista científico, la Geología tiene mucho que aportar para entender las causas y consecuencias del CC actual, así como para poder predecir el futuro del sistema climático y de nuestro planeta. A pesar de esto, y desde una perspectiva educativa, en la formación continua del profesorado se suelen encontrar escasos contenidos geológicos que ayuden a comprender de manera adecuada el papel de la actividad humana en el aumento de la temperatura global. Esta comunicación se centra en describir los principios de diseño y contenidos de un MOOC (*Massive Online Open Course*) de formación docente sobre la ciencia del CC, haciendo especial hincapié en el primer módulo, donde se realiza una contextualización del problema desde un punto de vista geológico. El curso, ofertado en MiriadaX y en varios centros de formación del profesorado, está basado en el consenso científico, presenta un enfoque positivo y emplea un lenguaje sencillo pero riguroso.

Abstract

Climate Change (CC) is one of the most important challenges that humanity faces today (IPCC, 2014). Education must play a fundamental role in understanding the magnitude of the problem and in articulating a fair, coherent and coordinated response. From a scientific point of view, Geology has much to contribute to understand the causes and consequences of the current CC, as well as to be able to predict the future of the climatic system and our planet. Despite this and from an educational perspective, teacher training usually contemplates sparse geological contents that are needed to adequately understand the role of human activity on global warming. This communication focuses on describing the design principles and contents of a MOOC (Massive Online Open Course) for teacher training on the science of CC, with special emphasis in the first module, where a geological contextualization of the problem is carried out. The course, offered at MiriadaX and in some teacher training centres, is based on scientific consensus, presents a positive approach and uses simple but rigorous language.

Referencias

IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 155 p.

Concepciones de futuros maestros sobre el tiempo geológico: resultados preliminares

Pre-service Primary teachers' conceptions about geological time: preliminary results

D. Corrochano[1], A. Gómez-Gonçalves[2], M.A. Fuertes[1], A.M. Ballegeer[1], S. Pampín[3] y J. Chamoso[1]

1 Dpto. Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales, Universidad de Salamanca, Fac. Educación, Pº Canalejas 169, 3700 Salamanca. dcf@usal.es, fuertes@usal.es, amballegeer@usal.es, jchamoso@usal.es

2 Dpto. Geografía, Universidad de Salamanca, Fac. Geografía e Historia, C/Cervantes s/n. 37002 Salamanca. algomez@usal.es

3 I.E.S. Emilio Ferrari, C/Sementera s/n, 47009 Valladolid. spampin@educa.jcyl.es

Resumen: En este trabajo se describen las concepciones de un grupo de 45 estudiantes del Grado de Maestro en Educación Primaria sobre el tiempo geológico. Se utilizó como instrumento de análisis un cuestionario formado por una línea temporal en la que los estudiantes tenían que secuenciar siete eventos clave de la historia de la Tierra y de la vida, y dos preguntas relacionadas con las edades absolutas de la formación de nuestro planeta, los eventos y su duración. Los resultados indican que los alumnos presentaron serias dificultades para trabajar con escalas y edades absolutas, y se observan contradicciones entre los valores que proporcionaron en las líneas y los valores absolutos que otorgaron a cada evento. Los eventos que resultaron más problemáticos a la hora de situar en las líneas temporales fueron aquellos más modernos y que involucran lapsos de tiempo más reducidos. Por último se sugieren algunas implicaciones didácticas para trabajar el tiempo geológico en el aula.

Palabras clave: aprendizaje del tiempo geológico, enseñanza de las Ciencias de la Tierra, tiempo profundo, concepciones alternativas.

Abstract: *This paper describes the conceptions held by a group of 45 students of the Degree in Primary Education about geological time. These conceptions were elucidated by means of a questionnaire consisting of a timeline task, where students had to sequence seven key events in the history of Earth and life, and two questions related to the absolute age of the formation of our planet, the events and their duration. Results indicate that students presented serious difficulties working with scales and absolute ages, being common to observe contradictions between the values proposed in the timelines and the absolute ages given to each event. Most problematic events when placing them on the timelines were the most modern ones, which also involved the shortest periods of time. Finally, some implications are proposed to work the geological time in the classroom.*

Keywords: *geologic time learning, Earth Sciences Education, deep time, alternative conceptions.*

INTRODUCCIÓN

La educación científica básica prepara a los alumnos para vivir en un mundo con múltiples desafíos sociales, ambientales y científicos, como por ejemplo el cambio climático, la destrucción de ecosistemas, el agotamiento progresivo de recursos naturales o el fin de la era de los combustibles fósiles. Para comprender esta compleja realidad y poder actuar responsablemente, es necesario conocer la escala temporal en la que se producen estos procesos. El concepto de tiempo geológico cobra una importancia fundamental para entender cómo funciona la Tierra, su historia y los eventos biológicos que se han sucedido en el tiempo. Según Sequeiros *et al.* (1996), el tiempo como magnitud es una abstracción, "no tiene cosas dentro", pero el tiempo geológico implica procesos, acontecimientos, sucesiones e historia.

Educativamente resulta fundamental reforzar este concepto, ya que al trabajar con concepciones complejas los alumnos tienden a simplificar la realidad, algo que motiva el surgimiento de errores conceptuales durante el aprendizaje (Bonito *et al.*, 2011). Por este motivo es necesario prestar especial atención a las concepciones que tienen los estudiantes y futuros docentes sobre el tiempo geológico, ya que influyen en cómo entienden el funcionamiento y la evolución de nuestro planeta y de la vida. El tiempo geológico es uno de los conocimientos necesarios para comprender adecuadamente teorías paradigmáticas como la Evolución (Catley y Novick, 2009) o la Tectónica de Placas (Gobert, 2005). Este modelo dinámico de cambio geológico a lo largo de una línea temporal continua está de manera transversal en todas las ideas clave para la alfabetización en Ciencias de la Tierra (Pedrinaci *et al.*, 2013).

Desde una mirada constructivista la mayor parte de los profesores contempla, desde su práctica docente, la necesidad de conocer las ideas previas de sus estudiantes antes de iniciar el estudio de cualquier fenómeno científico con el fin de: 1) poder seleccionar, organizar y secuenciar mejor los contenidos; 2) proponer una metodología de enseñanza adecuada; 3) anticiparse a los diferentes problemas que puedan surgir durante la enseñanza y aprendizaje; y 4) facilitar el

cambio conceptual en la estructura cognitiva del alumno. En un intento de comprender cómo mejorar la percepción y el proceso de enseñanza y aprendizaje del tiempo geológico, muchos trabajos publicados se han centrado en detectar las concepciones alternativas que presentan estudiantes en diferentes contextos (ver por ejemplo Libarkin *et al.*, 2007; Catley y Novick, 2009). De estos trabajos se desprenden dos aspectos en sentidos diferentes: a) algunos alumnos ordenan e identifican erróneamente los eventos clave ocurridos a lo largo de la historia geológica y biológica (*e.g.*, aparición de la vida, aparición de los dinosaurios y aparición del hombre), y combinan y solapan algunos de ellos; y b) algunos alumnos no suelen relacionar el tiempo geológico transcurrido con órdenes de magnitud adecuados. Además de estos aspectos y de las dificultades intrínsecas del concepto de tiempo como entidad abstracta y relativa, la construcción del modelo de tiempo geológico presenta otras dos dificultades fundamentales. La primera se relaciona con su enorme magnitud, tan inmensa que se escapa a nuestra comprensión y que, desde luego, no puede medirse con nuestros relojes o calendarios habituales. En este sentido parece que algunos alumnos carecen del conocimiento necesario para comprender el propio significado de números cardinales tan elevados (Cheek, 2013), por lo que resulta tremendamente complicado que además entiendan esa cantidad relacionada con magnitudes de tiempo. Como los estudiantes no suelen poseer esas habilidades, no comprenden las relaciones proporcionales entre grandes cantidades, como son un millón de años o mil millones de años, algo que evidentemente influye en la enseñanza de muchos procesos geológicos o evolutivos. La segunda dificultad está relacionada con la capacidad de poder concebir procesos que ocurren tan lentamente que requieren periodos de observación muy largos y que, por lo tanto, exceden cualquier experiencia en la vida humana. Teniendo en cuenta esto Cheek (2013) sostiene que para comprender el tiempo geológico es más importante una adecuada percepción de la duración de los procesos que la propia sucesión temporal.

A pesar de la investigación realizada en las últimas décadas, los alumnos siguen presentando numerosas concepciones alternativas cuando llegan a las aulas. Por lo tanto sigue siendo necesario ampliar nuestro conocimiento sobre cómo y cuándo aprenden conceptos relacionados con el tiempo relativo y absoluto. El objetivo de este trabajo es analizar las concepciones que tiene un grupo de estudiantes universitarios sobre el tiempo geológico al realizar una línea temporal de la historia de la Tierra. Ello permitirá valorar las dificultades que tienen para comprender las edades absolutas involucradas y analizar sus causas, claves para proponer de manera fundamentada propuestas de enseñanza que favorezcan su aprendizaje. Además en este trabajo conocer estas concepciones es de especial interés, ya que se trata de estudiantes del grado de Maestro en Educación Primaria; es decir, serán ellos quienes enseñen las primeras nociones sobre este tema a los más pequeños, lo cual puede producir un aprendizaje equívoco o incompleto. La adecuada formación de los docentes en este campo cobra especial relevancia, ya que la Geología, o las Ciencias de la Tierra en general, tienen escasa presencia en el currículum actual de Primaria, con contenidos escasos y fragmentados, por lo que es necesario mejorar su formación para que puedan afrontar apropiadamente su futura labor profesional.

METODOLOGÍA

Los datos preliminares presentados forman parte de un estudio mucho más amplio que se está desarrollando en diferentes contextos educativos. En este trabajo han participado de manera anónima y voluntaria 45 estudiantes del Grado de Maestro en Educación Primaria de una universidad pública española. El muestreo ha sido de tipo no probabilístico por conveniencia. La edad media de los alumnos era de 19,4 años, el 69% eran mujeres y el 31% hombres. Se encontraban cursando una asignatura de carácter obligatorio relacionada con Ciencias de la Naturaleza y su didáctica impartida en 2º curso. A la hora de realizar este estudio los alumnos no habían estudiado durante su formación universitaria previa ningún tipo de contenido relacionado con las Ciencias de la Naturaleza.

El instrumento de recogida de información consistió en un cuestionario formado por: a) una línea temporal de la historia de la Tierra, en la que había que colocar siete eventos clave desde la formación del planeta hasta el presente; y b) dos preguntas relacionadas con las edades absolutas de la formación de nuestro planeta, los acontecimientos y su duración. Los eventos elegidos son acontecimientos importantes en la evolución geológica y biológica del planeta y eran (en el orden en el que se presentaron a los alumnos): a) roca más antigua; b) inicio de la última glaciación; c) aparición del hombre; d) aparición de los dinosaurios; e) final de la última glaciación; f) extinción de los dinosaurios; y g) origen de la vida. Respecto a las preguntas del cuestionario, una era abierta y preguntaba sobre la edad aproximada de nuestro planeta, y la otra era cerrada y pedía a los estudiantes que adjudicaran un rango de valor de tiempo absoluto, fijado previamente por los investigadores, a cada uno de los eventos de la línea temporal. Los rangos de valores dados eran nueve y aumentaban de forma logarítmica, oscilando entre menos de 100 años y la opción de entre 1.000 y 10.000 m.a. Es decir, los alumnos contaron en todo momento con un marco temporal adecuado para abordar toda la tarea. Debido a la propia naturaleza de los eventos elegidos, además de trabajar la edad cronológica de los acontecimientos se analizó la duración de dos de ellos (la existencia de los dinosaurios y el desarrollo de la última glaciación). Se pidió a los alumnos que añadiesen las explicaciones que creyeran oportunas para interpretar correctamente las representaciones. Los cuestionarios se realizaron en el horario lectivo habitual sin límite de tiempo establecido.

Los datos que se manejan en esta investigación son por tanto edades absolutas, posicionamiento relativo de eventos y explicaciones de las respuestas por parte de los alumnos. Siguiendo la metodología de Libarkin *et al.* (2007), las líneas temporales se transformaron a escalas ordinales donde “el origen de la Tierra”=0 y la “actualidad”=100. Respecto al tratamiento de los datos de edad absoluta,

se definieron tres categorías referidas a las concepciones conceptuales de los alumnos sobre la edad de la Tierra: a) elevada (edad entre 4.000-5.000 m.a.), b) moderada (entre 1.000-3.999 m.a. y 5.001-10.000 m.a.) y c) baja (cualquier otra respuesta).

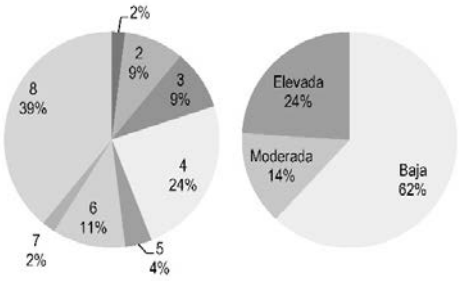


FIGURA 1. Edades absolutas otorgadas por los estudiantes para la formación de la Tierra. 1: < 1 m.a. (millón de años); 2: 1-999 m.a.; 3: 1.000-3.999 m.a.; 4: 4.000-5.000 m.a.; 5: 5.001-10.000 m.a.; 6: 10.001-100.000 m.a.; 7: >100.000 m.a.; 8: cualquier otra respuesta o sin respuesta. La categoría baja engloba los resultados 1, 2, 6, 7 y 8; la moderada los 3 y 5, y la elevada el 4.

RESULTADOS

Las líneas temporales elaboradas por los estudiantes en los cuestionarios muestran, en términos generales, una ordenación de eventos clave en la historia de la Tierra y de la vida relativamente coherente con el modelo científico. A pesar de esto, en la mayoría de los casos, los alumnos colocaron los eventos y sus respectivas edades absolutas sin tener en cuenta la escala de la representación de la línea.

La Figura 1 ilustra los resultados obtenidos de las concepciones que tienen los estudiantes sobre la edad absoluta de nuestro planeta. La mayoría indicó que nuestro planeta es muy antiguo (solo un estudiante le asignó una cifra inferior a un millón de años). El 24% (n= 11) indicó que la Tierra tiene una edad comprendida entre 4.000 y 5.000 m.a. (categoría de edad elevada). En el otro extremo, el 62% (n= 28) opinó que es inferior a 1.000 m.a. o superior a 15.000 m.a. (categoría de edad baja), lo que de manera indirecta aporta información sobre el desconocimiento de la edad aceptada de formación del Universo tras el Big Bang, ca. 13800 m.a. Por último el 14% (n=6) asignó edades comprendidas entre 1.000-3.999 y 5.001-10.000 m.a. (categoría de edad moderada).

Secuencias	n
Secuencia correcta roca más antigua y origen de la vida	13
Secuencia correcta roca más antigua, origen de la vida y aparición de los dinosaurios	11
Secuencia correcta roca más antigua, origen de la vida, aparición de los dinosaurios y extinción de los dinosaurios	6
Secuencia correcta roca más antigua, origen de la vida, aparición de los dinosaurios, extinción de los dinosaurios y aparición del hombre	3
Secuencia correcta total	**1**

TABLA I. Número de estudiantes que ordenaron de manera adecuada diferentes eventos.

En cuanto al análisis de las líneas temporales, un único estudiante ordenó de manera adecuada los siete eventos, mientras que solo 13 de ellos (29%) colocaron en el orden correcto los dos eventos más antiguos, la roca más antigua y el origen de la vida (Tabla I). Como media, los alumnos indicaron que el evento más temprano correspondía al origen de la vida, siendo el evento más reciente la aparición del hombre (Tabla I). Prácticamente la totalidad de los estudiantes indicó que la aparición de la vida era el evento de la evolución biológica más antiguo (Tabla II), lo que demuestra que sí comprendieron la naturaleza del ejercicio.

Los eventos cuya colocación en la línea temporal resultó más problemática fueron el inicio y el final de la última glaciación. Muchos estudiantes los emplazaron en la parte inicial de la línea temporal y los espaciaron mucho, es decir, les adjudicaron una duración muy elevada (del orden de miles de millones de años); además muy pocos reconocieron que son posteriores a la aparición del hombre (Tabla II).

El análisis de los resultados de edades absolutas muestra una clara disparidad entre el valor asignado a la formación de la Tierra, los valores otorgados a los eventos y sus diferentes posiciones en la línea temporal (Tabla III). Por ejemplo, muchos estudiantes situaron la aparición del hombre hacia la mitad de la línea temporal (ca. 2.300 m.a.), y sin embargo le adjudicaron un valor absoluto comprendido entre 10 y 100.000 años. Un alumno indicó que la aparición del hombre se produjo en el 5.000 AC y asignó una edad absoluta de la Tierra de tan solo 10 m.a.

Evento	Consenso científico	Media	SD
Final de la última glaciación	7	5,3	1,3
Inicio de la última glaciación	6	3,2	1,5
Aparición del hombre	5	6,3	1,3
Extinción de los dinosaurios	4	4,8	0,9
Aparición de los dinosaurios	3	3,2	1,0
Origen de la vida	2	2,3	1,5
Roca más antigua	1	2,7	2,2

TABLA II. Secuenciación (ranking) de eventos utilizados para la realización de las líneas temporales. Los números indican la posición relativa de cada evento.

CONSIDERACIONES FINALES

Los eventos cuya colocación en la línea temporal resultó más problemática fueron el inicio y el final de la última glaciación. Ambos acontecimientos están en cierta medida relacionados con la problemática actual del cambio climático. Fueron colocados por muchos estudiantes en la parte inicial (más antigua) de la línea temporal y los espaciaron mucho, adjudicándoles por tanto una duración muy elevada (teniendo en cuenta la escala gráfica, resulta del orden de miles de millones de años). Muy pocos alumnos recono-

cieron la idea de que el hombre haya podido pasar por un periodo frío (todavía más que el actual) de la historia de la Tierra y lo contemplaron como algo muy lejano y anecdótico (Tabla III). Posiblemente esto es debido a que los cambios climáticos suelen tratarse en las aulas de manera aislada, sin ser contextualizados dentro del ciclo geológico global y sin una perspectiva histórica sistémica, lo que implica que aparezcan numerosas concepciones alternativas. De manera independiente a la secuenciación de los eventos, y como se había observado en trabajos previos, el ordenamiento relativo resultó mucho más fácil a los estudiantes que el trabajo con escalas y con valores absolutos. Además es común observar contradicciones entre los valores otorgados en la línea y los valores absolutos seleccionados para cada evento. La distorsión de las escalas, muy frecuente en las tablas cronoestratigráficas que aparecen en numerosos manuales y libros de texto, probablemente influya en la representación mental que tienen muchos alumnos sobre el tiempo geológico, en la que sitúan los principales acontecimientos ocurridos en las primeras etapas del planeta. Por tanto sigue pareciendo evidente la necesidad de representar a una escala adecuada y proporcional todas las ilustraciones y tablas cronoestratigráficas empleadas para que los alumnos puedan asimilarlas de manera adecuada. Además conviene proponer actividades en las que se trabaje con líneas temporales contrastando diferentes escalas de tiempo (*e.g.*, historia humana y de la Tierra), con el fin de ayudar a los estudiantes a entender la cronología de eventos y las magnitudes de tiempo implicadas. En este sentido el ordenamiento de eventos o la mera memorización de datos numéricos de edad carecen de sentido si no van acompañados de una cronología adecuada y una noción aproximada de la duración de los procesos geológicos implicados. Por consiguiente las futuras investigaciones deberían centrarse en analizar cómo entienden los estudiantes las edades absolutas (dataciones, tasas y duraciones).

Evento	**Edad absoluta Consenso científico**	**C.N.**	**Media**	SD
Final de la última glaciación	10 - 100 k.a.	4	4,7	1,4
Inicio de la última glaciación	10 - 100 k.a.	4	5,7	2,3
Aparición del hombre	1 - 10 m.a.	6	3,9	1,3
Extinción de los dinosaurios	100 - 1.000 m.a.	8	5,1	1,5
Aparición de los dinosaurios	100 - 1.000 m.a.	8	6,2	1,6
Origen de la vida	1.000 - 10.000 m.a.	9	7,1	1,6
Roca más antigua	1.000 - 10.000 m.a.	9	6,2	2,6

TABLA III. Edades absolutas otorgadas a cada evento a partir de un rango de valor dado; los datos de las edades absolutas del consenso científico se han obtenido a partir de varios manuales de geología general; k.a.= miles de años; m.a.= millones de años. C.N. =código numérico asignado.

Para concluir conviene mencionar algunas de las limitaciones de este trabajo. La muestra se tomó por disponibilidad y los estudiantes que participaron en el estudio procedían únicamente de una universidad pública española, algo que dificulta la generalización de resultados. Además las percepciones de los alumnos sobre el tiempo geológico que aquí se presentan estuvieron condicionadas por el tipo de instrumento de análisis empleado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto USAL MODELGEO-CEI 18.K133.

REFERENCIAS

Bonito, J., Medina, J., Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Martins, L., y Márquez, L. (2011): La naturaleza del tiempo y su complejidad: el caso del tiempo geológico - implicaciones educativas. DYNA 78(169), 247-257.

Catley, K.M., y Novick, L.R. (2009): Digging deep: Exploring college students' knowledge of macroevolutionary time. *Journal of Research in Science Teaching* 46(3), 311-332.

Cheek, K.A. (2013): How Geoscience Novices Reason About Temporal Duration: The Role of Spatial Thinking and Large Numbers. *Journal of Geoscience Education* 61(3): 334-348.

Gobert, J.D. (2005): The Effects of Different learning Tasks on Model-building in Plate Tectonics: Diagramming Versus Explaining. *Journal of Geoscience Education* 53(4), 444-455.

Libarkin, J., Kurdziel, J.P., y Anderson, S.W. (2007): College Student Conceptions of Geological Time and the Disconnect Between Ordering and Scale. *Journal of Geoscience Education* 55(5), 413-422.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Ruiz de Almodóvar, G., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J, Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013): Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 21(2), 117-129.

Sequeiros, L., Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1996): Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: Algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 4(2), 113-119.

Pirineus Geological Open Museum: una exposición permanente al aire libre

Pirineus Geological Open Museum: a permanent open-air exhibition

O. Costa[1], E. Jiménez[1], A. Lladós[1] y X. Berastegui[1]

1 Unitat del Centre de Suport Territorial Pirineus, Subdirecció General de Geologia Regional i Geofísica. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Av. Pompeu Fabra 21, 25620 Tremp (Lleida). olga.costa@icgc.cat

Resumen: La Geología sigue siendo una de las ramas de las Ciencias de la Tierra más desconocidas en nuestra sociedad. Es por este motivo que es un reto importante para las personas y entidades que se dedican a su divulgación transmitir el conocimiento científico de un modo sencillo y comprensible, pero a la vez sin perder rigor científico. El *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* ha querido complementar en un espacio urbano el conjunto geológico natural existente en el ámbito de influencia de su *Centre de Suport Territorial Pirineus*, visitado frecuentemente por estudiantes de todos los niveles educativos y de nacionalidades diversas, así como por turistas con un interés naturalista. Este espacio urbano se centra en la historia de la Tierra, su formación y sus principales eventos, y hace más comprensible el concepto de tiempo geológico y su dimensión en millones de años, difícilmente asimilables desde el punto de vista humano. Por otro lado, pretende transmitir conceptos sobre la formación de las rocas y de las cadenas montañosas a diferentes niveles de comprensión, para tratar de despertar la curiosidad de todos los públicos.

Palabras clave: exposición, Pirineos, jardín de rocas, tabla cronoestratigráfica.

Abstract: *Geology remains one of the most unknown branches of Earth Sciences in our society. It is thus an important challenge for the people and entities who are dedicated to its dissemination in order to transmit scientific knowledge in a simple and understandable way, but without losing scientific rigor. The Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya intends to complement through an urban space the existing natural geological ensemble within the influence area of its Centre de Suport Territorial Pirineus, frequently visited by students of a wide variety of educational levels and nationalities, as well as by tourists interested in nature. This urban space focuses on showing the history of the Earth, its formation and its main events, and makes the International Chronostratigraphic Chart and its millions of years -difficult to assimilate from a human being- more understandable. In addition, its aim is to transmit concepts about the formation of rocks and mountains to different levels of understanding in order to awaken curiosity to all audiences.*

Keywords: *exhibition, Pyrenees, rock garden, chronostratigraphic chart.*

INTRODUCCIÓN

El *Pirineus Geological Open Museum* (PGOM) es una exposición al aire libre en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, inaugurada el 11 de enero de 2020. Con carácter permanente y ubicada en un espacio abierto dentro del núcleo urbano de Tremp, en el Pirineo de Lleida, pretende acercar conceptos geológicos básicos, sin perder rigor científico, a estudiantes y al público general. Los dos ámbitos expositivos en los que se divide el PGOM muestran la formación de la Tierra y la evolución de la vida, haciendo especial énfasis en la formación de los Pirineos y mostrando algunos de los materiales que los constituyen.

Esta exposición complementa el conjunto geológico natural en la zona, que concentra en pocos kilómetros un laboratorio natural geológico, minero, paleontológico y cultural de primer nivel, y que alberga un geoparque: the UNESCO Global Geopark Orígens (Spanish UNESCO Global Geoparks, 2020). Además, se ha diseñado para que quede integrado en la arquitectura de eficiencia energética y naturaleza simbólica del edificio del *Centre de Suport Territorial Pirineus* (CSTP) del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC). En este sentido el mismo equipo de arquitectos se ha encargado de dar forma al proyecto (Oikosvia, 2016).

ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES

El ICGC ha ido realizando materiales divulgativos relacionados con la historia de la Tierra, como la exposición temporal *El Passeig del Temps* (2009) o el documental *GAIA. La Gran Mare* (2016). En este artículo se presenta un espacio permanente y fácilmente accesible para todo el mundo, elaborado a partir de la experiencia adquirida e inspirado en el *Geological Walk* (*British Geological Survey*, 2012) y el *Museo Giardino Geologico* (*Serv. Geologico Sismico e dei Suoli,* 2014).

El proyecto pretende mostrar de modo experimental el patrimonio geológico, así como ofrecer un espacio donde tocar los materiales y las rocas que documentan las principales etapas de la historia geológica del entorno y sensibili-

zar a la sociedad de la importancia de la geodiversidad. Los jardines geológicos integran estos conceptos en un espacio urbano de forma agradable y espectacular sin olvidar el factor pedagógico.

Se ha considerado muy interesante representar a escala la Tabla Cronoestratigráfica Internacional de la *International Commission on Stratigraphy* (2018), como han hecho algunos jardines geológicos (Rodríguez y Domínguez, 2016; Martinez-Rius et al, 2018), pero además se ha querido aportar una visión global de la historia de la Tierra, reproduciendo de forma lineal y completa los tiempos geológicos, y respetando las dimensiones temporales al máximo posible. También se ha considerado relevante mantener la escala cromática original, aunque reinterpretada arquitectónicamente.



FIGURA 1. Vista del Jardín de las Rocas con algunos de los bloques de grandes dimensiones.

ESTRUCTURA DEL PGOM

El PGOM se compone de dos ámbitos expositivos principales e independientes: el Jardín de las Rocas y la Avenida de los Tiempos Geológicos. Este diseño permite ajustar la visita a los intereses de la persona o el grupo asistente con un recorrido parcial o completo. Además la exposición se complementa con paneles informativos en catalán, español e inglés.

La exposición incluye un elemento arquitectónico singular: el Faro, torre de 6 m de altura que marca el inicio de la visita y que se ubica en la intersección de los dos ámbitos expositivos principales, siendo su punto de unión. Está formado por tres gaviones de chapa de acero corten rellenos de piedra seca e incluye un equipo de iluminación interior para hacerlo visible por la noche.

El Jardín de las Rocas

Se ubica en el *Parc del Barranc del Joncar*, un espacio verde dentro del núcleo urbano (Fig. 1). Está compuesto por un total de 13 bloques de piedra natural de grandes dimensiones, de entre 2 y 8 m^3. Estos bloques se han ordenado cronológicamente, del más reciente al más antiguo, para mostrar la reconstrucción histórica y geológica de los Pirineos.

En el jardín se expone la diversidad geológica del entorno con ejemplares de los diferentes tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias (Fig. 2). Cabe destacar la predominancia de las rocas sedimentarias, en concreto de las calizas, que se han incluido en la exposición para poner de manifiesto la gran abundancia de este material en el territorio pirenaico. Esto nos permite explicar desde las sucesivas cuencas marinas mesozoicas y cenozoicas hasta la formación de los Pirineos y la subsecuente retirada del mar que ocupó la zona durante millones de años.

La combinación de los elementos naturales con las explicaciones técnicas que acompañan a cada bloque le confiere un elevado valor pedagógico. Cabe destacar el componente estético y ornamental de los bloques del jardín, que invita a sumergirse en la geología pirenaica a la vez que se disfruta de un paseo por un parque urbano.

Avenida de los Tiempos Geològicos

La Avenida de los Tiempos Geológicos se ubica en el *Passeig Pompeu Fabra*, un espacio urbano que une el centro de la población con el edificio del CSTP (Fig. 3). En él se ha representado la Tabla Cronoestratigráfica Internacional

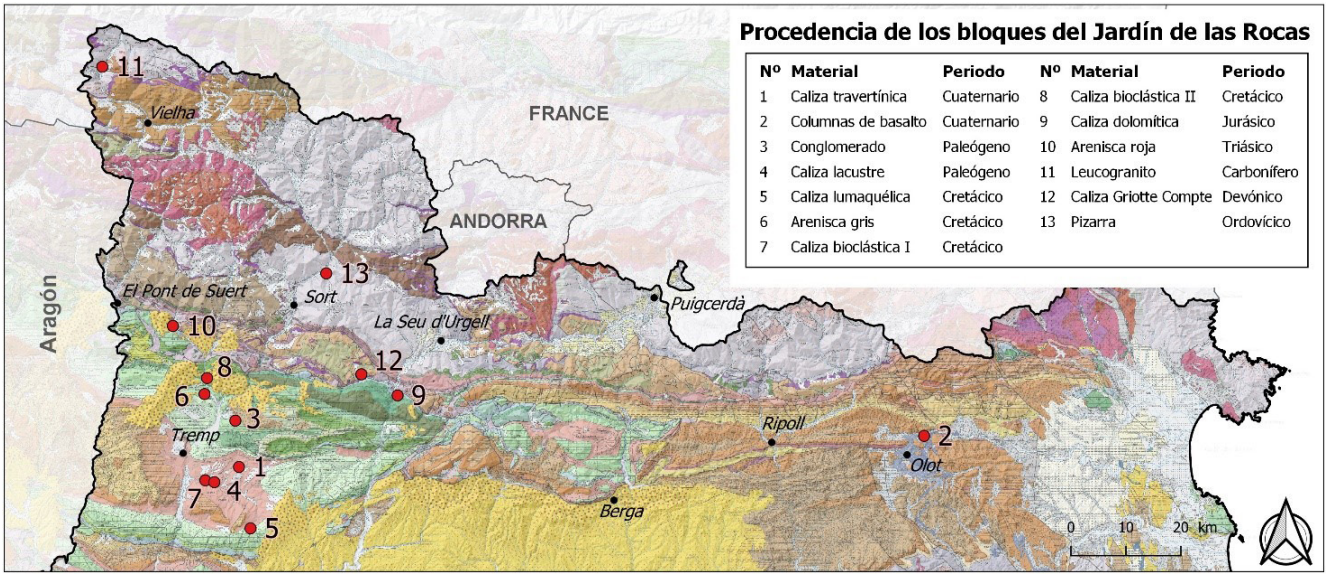


FIGURA 2. Procedencia y tipología de roca de los bloques del Jardín de las Rocas.

mediante un pavimento, manteniendo la escala temporal y con una interpretación de los colores originales. A su vez se ha utilizado el mismo tipo de roca en los adoquines de la avenida y en los bloques del jardín, correlacionando así los dos ámbitos expositivos.



FIGURA 3. Vistas de la Avenida de los Tiempos Geológicos con el Cuaternario en primer plano y el Hádico al final.

Aprovechando la división urbanística del paseo en dos tramos se ha separado el eón Precámbrico, que ocupa la parte más larga del paseo, del eón Fanerozoico, que ocupa la parte más corta, ambos con diferentes escalas espacio-temporales (Fig. 4). Esta división ofrece una visión global del tiempo geológico dando relevancia al Precámbrico, que representa prácticamente el 90% de la historia de la Tierra, pero dejando espacio suficiente para mostrar el detalle de los tiempos fanerozoicos.

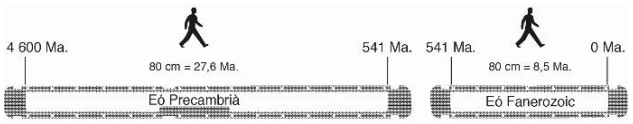


FIGURA 4. Representación de las escalas correspondientes de cada eón, relacionadas con un paso.

La representación de los tiempos geológicos sobre el pavimento del paseo se materializa en tres franjas de losas artificiales que representan la tabla hasta la división de las eras (en el caso del Precámbrico) y los períodos (en el caso del Fanerozoico) y contienen los nombres de las diferentes épocas gravadas. Además se complementa con 22 símbolos de eventos relevantes de la historia de la Tierra (IGC y ICC, 2010) grabados en el pavimento, 5 líneas de luces LED encastradas en él que muestran las extinciones del Fanerozoico, 20 representaciones de Clavos Dorados (Global Boundary Stratotype Section and Point) y una hilera de adoquines de roca natural fabricados con los diferentes materiales correspondientes a los períodos fanerozoicos (Fig. 5).

Este ámbito expositivo permite comprender la magnitud del tiempo geológico de forma lúdica y, a la vez, permite observar la evolución de la historia de la Tierra mientras se da un paseo en el que en cada paso transcurren millones de años.

ACTIVIDADES DIVULGATIVAS

El PGOM ofrece un nuevo recurso geoturístico, educativo y formativo para el territorio, por lo que se ha diseñado un conjunto de actividades que acompañan la visita a la exposición adaptadas a cada tipo de visitante.

Aplicación para móvil

Se ha elaborado una aplicación móvil de libre descarga, que incluye locuciones, imágenes y textos divulgativos y permite visitar la exposición de forma autoguiada. Esta *app* es accesible a todos los públicos y atractiva sobre todo para los jóvenes, muy implicados en las redes sociales y en el uso de las tecnologías.

Observación en microscopios digitales

Se ha recopilado un conjunto de muestras que permiten observar los materiales expuestos en detalle y manipular microscopios a los estudiantes, que suelen tener dificultad para acceder a esta tecnología. A día de hoy se dispone de 27 láminas delgadas y 31 muestras pulidas, que incluyen calizas con fósiles, granitos, diferentes tipos de areniscas u ofitas entre otras (Fig. 6).

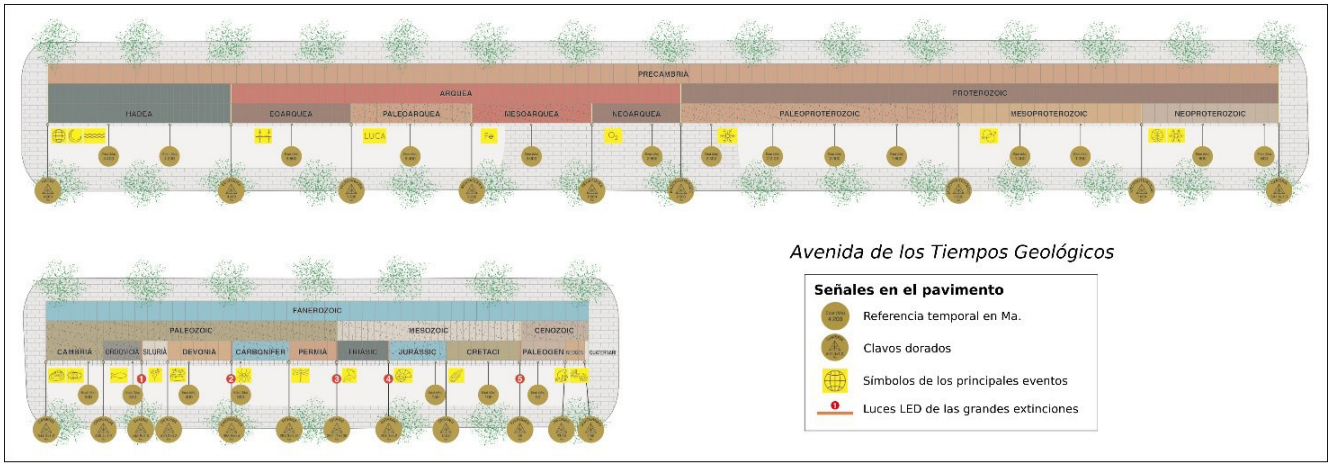


FIGURA 5. Esquema de distribución de los elementos de la Avenida de los Tiempos Geológicos.



FIGURA 6. Muestra de las diferentes escalas de detalle en las que se pueden observar los materiales expuestos.

Material divulgativo

Se ha elaborado material divulgativo para el turismo o público general (ICGC, 2019) y también se han programado visitas guiadas y formaciones destinadas al sector turístico (guías, hostelería, oficinas de turismo, ayuntamientos, etc.), para que dispongan de herramientas que les permitan ofrecer este recurso a los grupos de visitantes de forma autónoma.

Actividades didácticas

Se ha elaborado material didáctico para los cursos superiores de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato como complemento experimental y al aire libre de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. En esta línea se ha trabajado junto con el *Entorn d'Aprenentatge de Tremp* (Aguilar, 2016) que se dedica desde 2015 a dar apoyo práctico a los contenidos curriculares, principalmente los relacionados con la Geología.

CONCLUSIONES Y TRABAJO EN CURSO

Con esta actuación se ha conseguido dar un paso más en la divulgación de algunos conceptos básicos de Geología, muchos de los cuales son de difícil comprensión para el público general. Además, se ha creado un espacio público y abierto que permite dar desde un simple paseo agradable hasta aprender conceptos geológicos técnicos según el interés de la persona o grupo visitante.

Se han representado con la máxima sencillez posible los tiempos geológicos, a escala y de forma completa, mediante la interpretación arquitectónica de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, así como algunos de los eventos más relevantes de la evolución de la vida y de la historia de la Tierra y conocimientos básicos sobre diferentes materiales que forman los Pirineos. Todo ello con el objetivo de hacerlos asequibles a diferentes grados de comprensión para llegar al máximo número de personas posible.

El resultado ha tenido muy buena aceptación, tanto por parte del público general, como del sector turístico y del profesorado de enseñanza media. Se ha valorado muy positivamente la conservación de la escala temporal, la procedencia y diversidad de los bloques de rocas, así como el componente estético, entre otros.

El proyecto sigue evolucionando. Actualmente se está trabajando en el desarrollo de material didáctico para llegar a diferentes niveles educativos y se está introduciendo este nuevo recurso en las actividades lúdicas y culturales del municipio.

AGRADECIMIENTOS

Esta exposición permanente, ejecutada y financiada por el ICGC, ha sido posible gracias a un convenio entre el Ayuntamiento de Tremp y el ICGC y a la aportación del *Gremi d'Àrids de Catalunya* y empresas asociadas, ayuntamientos y particulares que han cedido los bloques y materiales constructivos.

REFERENCIAS

Aguilar, C. (2016): El Entorn d'aprenentatge (EdA) de Tremp: Las Ciencias de la Tierra como herramienta Educativa. *XIX Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. 271-280.

British Geological Survey y Natural Environment Research Council (2012): *The BGS Geological Walk a brief guide*.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (2019): *Catàleg del Pirineus Geological Open Museum*.

Institut Geològic de Catalunya y Institut Cartogràfic de Catalunya (2010): *Atles Geològic de Catalunya.*

Martínez-Rius, A., J. Casóliva, J. Lapuente (2018): Vallcebre: Un centro estable para la divulgación de la geología del Parque Natural del Cadí-Moixeró (Pirineos Orientales). *XX Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. 97-108.

Oikosvia (2016): *Projecte Bàsic i d'Execució Pirineus Geological Open Museum a Tremp.*

Rodríguez, L.M. y M.J. Domínguez (2016): El Jardín Geológico de la Universidad de Oviedo: la Geología a pie de calle. *Geo-Temas*, 16. 769-772.

Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (2014): *Museo Giardino Geologico, Sandra Forni. Memorandom,* 28-30.

Spanish UNESCO Global Geoparks (2020): *Descubrir los geoparques españoles de la UNESCO*. 72-77

Aprendizaje basado en juegos aplicado a itinerarios geológicos de campo: la experiencia de Geoyincana-Alicante (2012-2020)

Game-based learning applied to geological field trips: the Geogymkhana-Alicante experience (2012-2020)

J. Cuevas-González[1], D. Díez-Canseco[1], P. Alfaro[1], J.M. Andreu[1], J.F. Baeza[1], D. Benavente[1], I.F. Blanco[1], J.C. Cañaveras[1], H. Corbí[1], J. Delgado[1], A. Giannetti[1], I. Martin-Rojas[1], I. Medina-Cascales[1], J. Peral[1] y S. Rosa-Cintas[2]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Fac. Ciencias, Univ. de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante). jaime.cuevas@ua.es, pedro.alfaro@ua.es

2 Dpto. Didáctica General y Didácticas Específicas, Fac. Educación, Univ. de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante).

Palabras clave: actividades de campo, aprendizaje basado en juegos, Geoyincana, educación secundaria.

Resumen

Estrategias educativas como el aprendizaje basado en juegos o la gamificación se están usando cada vez más en la enseñanza de la Geología como complemento a la educación formal. La mayoría de propuestas, con formatos muy variados, tiene su aplicación en el aula, aunque también existen experiencias en entornos urbanos (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2014). Sin embargo, hay escasos ejemplos de actividades de campo, uno de los recursos más atractivos de la Geología. Desde 2012 el Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Univ. de Alicante organiza anualmente la Geoyincana-Alicante, en la que han participado hasta hoy unos 10000 estudiantes de 4º ESO y 1º Bachillerato (Cuevas-González *et al.*, 2020). La actividad se realiza en un itinerario de unos 2 km entre la playa de San Juan y el cabo de la Huerta, alternando explicaciones directas y juegos dinámicos sobre conceptos generales de Geología y los rasgos geológicos del itinerario. Esta comunicación se centra en las seis actividades basadas en juegos: carrera del tiempo geológico, superposición estratigráfica humana, en busca de los fósiles del cabo, Geoselfie geomorfológico, Geomimic e historia geológica del cabo: el enigma final. A ellas se ha sumado en 2020 como experiencia piloto el Pictionary geológico. De las siete se describe su logística y metodología, se analiza su evaluación en 2020 y se reflexiona sobre su utilidad a partir de la experiencia de estos nueve años de Geoyincana.

Abstract

Pedagogical strategies such as game-based learning or gamification are often used as complement to formal education in teaching Geology. Most of these strategies are applied in the classroom, although some experiences have been developed in urban environments (Rodríguez-Pérez et al., 2014). The application of these strategies to field activities is scarce, despite being outdoor activities one of the most attractive resources for teaching Geology. Since 2012, the Dept. of Earth and Environmental Sciences at the Univ. of Alicante organizes every year Geogymkhana-Alicante, where around 10000 students have attended till now (4th year of Secondary Education and 1st of High School, Cuevas-González et al., 2020). The 2 km long walk is carried out between San Juan beach and Cape de la Huerta. Geogymkhana combines direct explanations with dynamic games on general concepts of Geology and the main geological features of the route. Here we describe six game-based activities: geological time race, human stratigraphic superposition, finding cape fossils, geomorphological geoselfie, geomimic and geological history: Final Enigma, plus a 2020 pilot experience: geological Pictionary. We describe logistics and methodology of these activities and present the 2020 evaluation, analyzing the advantages based on these nine years of Geogymkhana-Alicante.

Referencias

Cuevas-González, J. *et al.* (2020). *Geoheritage* 12, https://doi.org/10.1007/s12371-020-00439-6

Rodríguez-Pérez, E., Romero-Nieto, D. y Fesharaki, O. (2014). *Reduca (Geología)* 6,1-25.

Galerías Punta Begoña, Bizkaia: un laboratorio geológico urbano

Punta Begoña Galleries, Bizkaia: an urban geological laboratory

L. Damas-Mollá[1], A. Zabaleta[1], M. Valiente[1], P. Bilbao[1], M. Meaurio[2], A. Bodego[1], E. Izagirre[1], J.A. Clemente[1], A. Aranburu[1], I. Antigüedad[1], T. Morales[1] y J.A. Uriarte[1]

1 Dpto. Geología, Fac. Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), 48940 Leioa. laura.damas@ehu.eus; ane.zabaleta@ehu.eus; maria.valiente@ehu.eus; peru.bilbao@ehu.eus; arantxa.bodego@ehu.eus; enaut.izagirre@ehu.eus; jonander.clemente@ehu.eus; arantza.aranburu@ehu.eus; inaki.antiguedad@ehu.eus; tomas.morales@ehu.eus; jesus.uriarte@ehu.eus

2 Dpto. Química Aplicada, Fac. Química, UPV/EHU, 20018 Donostia-San Sebastián. maite.meaurio@ehu.eus

Palabras clave: divulgación, patrimonio, ESO, Bachiller, Galerías Punta Begoña.

Resumen

El proyecto transdisciplinar de puesta en valor de las Galerías Punta Begoña (Getxo, Bizkaia) incluye, como uno de sus ejes principales, la socialización (Damas-Mollá *et al*., 2019). En este sentido se han realizado actividades prácticas para alumnos de bachillerato, organizados a través del Dpto. de Educación del Gobierno Vasco y la UPV/EHU. El objetivo principal es dar a conocer la profesión de geóloga/o y su importancia en la sociedad actual, mostrando el trabajo realizado por profesionales de distintas especialidades en un enclave concreto. Las galerías, patrimonio cultural construido del País Vasco, se caracterizan por su edificación directa sobre el talud de un acantilado (Morales *et al.*, 2018). Los talleres se centran en el estudio del contexto geológico del edificio y su cuenca visual (desde el presente hacia el pasado), en la estabilidad del talud y del edificio, así como en los métodos y materiales de ejecución de la construcción. Para ello se ha diseñado un cuaderno de campo que engloba ideas básicas y ejercicios relacionados con geomorfología, sedimentología y estratigrafía, procesos tectónicos, paleontología, geotecnia, hidrogeología y petrología. Así los estudiantes trabajan aspectos incluidos en las ideas clave propuestas para la alfabetización en Ciencias de la Tierra (Pedrinaci *et al*., 2013).

Abstract

The transdisciplinary project to enhance the value of Punta Begoña Galleries (Getxo, Bizkaia) includes, as one of its main axes, socialization (Damas-Mollá et al., 2019). In this sense, practical activities have been carried out for High School students, organised through the Basque Government's Dpt. of Education and the UPV/EHU. The main goal is to raise awareness of the profession of geologist and its importance in today's society, showing the work carried out by professionals from different specialities in a specific area. The galleries, built cultural heritage of the Basque Country, are characterised by their construction directly on the slope of a cliff (Morales et al., 2018). Workshops focus on the study of the geological context of the building and its visual basin (from present to past), on the stability of the slope and the building, as well as on the construction methods and materials used. To this end, a field notebook includes basic ideas and exercises related to geomorphology, sedimentology and stratigraphy, tectonic processes, palaeontology, geotechnics, hydrogeology and petrology. Thus, students work on aspects included in the key ideas proposed for Earth Science literacy (Pedrinaci et al., 2013).

Referencias

Damas-Mollá, L., Zabaleta, A., Uriarte, J.A., Aranburu, A., Sagarna, M. y Morales, T. (2019). *Geogaceta* 66, 123-126.

Morales, T., Uriarte, J.A., Damas-Mollá, L. y Antigüedad, I. (2018): En: *VI Congreso CEIIC Grupo Español de conservación.* Comunicaciones 1, 428 – 433.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., *et al.* (2013). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 21(2), 117-129.

Patrimonio geocultural: los colores de Donosti (Gipuzkoa)

Cultural Geoheritage: the colours of Donosti (Gipuzkoa)

L. Damas-Mollá[1], M. Sagarna[2], A. Aranburu[1], J.Uriarte[1], A. Zabaleta[1], P. García-Garmilla[1], A. Pascual[1] y X. Murelaga[1]

1 Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), 48940 Leioa. laura.damas@ehu.eus; jesus.uriarte@ehu.eus; ane.zabaleta@ehu.eus; arantza.aranburu@ehu.eus; patxi.garmilla@ehu.eus; ana.pascual@ehu.eus; xabier.murelaga@ehu.eus

2 Dpto. Arquitectura, Facultad de Ingeniería, UPV/EHU, 20018 Donostia-San Sebastián. maialen.sagarna@ehu.eus

Palabras clave: transdisciplinariedad, roca ornamental, roca construcción, patrimonio, arquitectura.

Resumen

El patrimonio cultural construido que se conserva en una ciudad está íntimamente ligado a la naturaleza de los materiales utilizados para su edificación. La roca como material de uso tiene gran valor desde tiempos prehistóricos. En época más reciente el tipo de litología empleada en construcción define el carácter de las diferentes urbes, aportando colores y texturas que se asocian con esa ciudad. Donosti tiene un interés turístico internacional y conserva numerosas muestras de su patrimonio construido. Hemos seleccionado cuatro edificios de gran interés arquitectónico y que dotan a la ciudad de ese carácter lujoso y de esplendor que envuelve el paisaje. Estos edificios se analizan desde un punto de vista geológico y arquitectónico, caracterizando su construcción histórica y las diferentes rocas utilizadas. De este modo disciplinas como geología, arquitectura o historia entrelazan sus investigaciones de modo transdisciplinar (Damas-Mollá *et al.*, 2019). Donosti se pinta del amarillo de sus areniscas eocenas combinado con grises, rosas y rojos de diversas calizas cretácicas, aunque algunos edificios se maquillen con vivas pinceladas de otras rocas ornamentales exóticas. Los resultados sirven para crear contenido divulgativo en rutas geomonumentales (Aranburu *et al.*, 2010), talleres para alumnado, prácticas o vistas guiadas específicas.

Abstract

Cultural heritage building preserved in a city is intimately linked to the nature of the materials used for its construction. Rock as a material of use has been of great value since prehistoric times. In more recent times, the type of lithology used in construction defines the character of different cities, providing colours and textures that are directly associated with that city. Donosti has an international tourist interest, and it preserves numerous samples of its built heritage. In this work, four buildings of great architectural interest have been selected, which provide the city with its luxurious character and splendour that envelops the landscape. These buildings are analysed from a geological and architectural point of view, characterising both their historical construction and the different rocks used. In this way, disciplines such as geology, architecture or history intertwine their research in a transdisciplinary way (Damas-Mollá et al., 2019). Donosti paints yellow of its Eocene sandstones combined with greys, pinks and reds of different Cretaceous limestones, although some buildings are painted with brightly coloured brushstrokes of other exotic ornamental rocks. Results may serve for elaborating informative content in geomonumental routes (Aranburu et al., 2010), workshops for students, practices or specific guided tours.

Referencias

Aranburu, A., García, P., Murelaga, X. y Pascual, A. (2010). Ruta Geomonumental por Bilbao. Estudio de los materiales constructivos de tres edificios históricos. El Teatro Arriaga, el Ayuntamiento y el Palacio de Víctor Chávarri. Servicio editorial UPV/EHU. UPV/EHU, Bilbao.

Damas-Mollá, L., Zabaleta, A., Uriarte J.A., Aranburu, A., Sagarna, M. y Morales, T. (2019). *Geogaceta* 66, 123-126.

OhMagmaMia: acercando la Geología a través de las redes sociales

OhMagmaMia: Approaching Geology through Social Media

O. Dorado[1,2] y J. Hopfenblatt[2]

1 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. odorado@geo3bcn.csic.es
2 Dept. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Universitat de Barcelona, Martí Franques s/n, 08028 Barcelona, España.

Palabras clave: divulgación, geología, OhMagmaMia, redes sociales.

Resumen

La geología es una ciencia que progresivamente ha ido perdiendo presencia en el sistema educativo español, lo que tiene como consecuencia un interés cada vez menor por los estudios universitarios relacionados con las Ciencias de la Tierra y un nivel muy bajo de los estudiantes que llegan a las mismas (Pedrinaci, 2014). Esto se traduce en una sociedad cada vez menos consciente de la importancia de la geología en el ámbito científico, social y económico. En los últimos años han surgido numerosas iniciativas de divulgación con el objetivo de promover y entregar un mayor conocimiento de la geología a la sociedad. Las redes sociales y el medio digital se han convertido en una herramienta básica para llegar a un público más generalizado y, en especial, a las nuevas generaciones.

Un ejemplo de este tipo de iniciativas lo encontramos en el Instagram de divulgación @OhMagmaMia, centrado en la publicación de material fotográfico (paisajes, afloramientos, muestras de mano o de lámina delgada) junto con esquemas geológicos explicativos simples y pequeñas descripciones. Esta forma de hacer divulgación ha sido bien recibida por el público (p.ej., geólogos, estudiantes y profesores de biología/geología), alcanzando más de 3200 seguidores en un año, con una audiencia internacional. Las estadísticas muestran un alcance máximo de unas 9000 impresiones, una tasa de implicación (*engagement rate*) del 10% y una media de 309 *likes* por post. La audiencia es predominantemente joven, con el 88,7% de los seguidores entre los 18 y los 34 años y con una mayor presencia femenina (55,4%). Este trabajo ha servido como base para otras actividades de divulgación como, por ejemplo, la realización de *webinars* y el desarrollo de los contenidos mediante hilos de Twitter, llegando a alcanzar más de 20000 impresiones.

Abstract

Geology is a science that has been progressively losing presence in the Spanish educational system, resulting in a decreasing interest in university studies related to Earth Sciences and a low level of knowledge in the students who reach them (Pedrinaci, 2014). This results in a society less aware of the importance of geology in the scientific, social and economic fields. In recent years, numerous outreach initiatives have emerged with the aim of promoting and delivering a greater knowledge of geology to society. Social networks and digital media have become a basic tool to reach a more generalized public and, especially, the new generations.

An example of this type of initiative can be found in the outreach Instagram @OhMagmaMia, focused on publishing photographic material (landscapes, outcrops, hand samples or thin sections) together with simple explanatory geological diagrams and short descriptions. This type of outreach has been well received by the public (e.g., geologists, students and biology/geology teachers), reaching more than 3200 followers in one year, with an international audience. Statistics show a maximum reach of about 9000 impressions, an engagement rate of 10% and an average of 309 likes per post. The audience is predominantly young, with 88.7% of followers being between 18 and 34 years old and a greater female presence (55.4%). This initiative has served as a basis for other dissemination activities, such as webinars and the development of more detailed contents through Twitter threads, reaching more than 20000 impressions.

Referencias

Pedrinaci, E. (2014). *Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 14, 32-37.

Los terremotos como recurso didáctico en Educación Primaria

Earthquakes as a didactical resource in Elementary School

A. Eff-Darwich[1,3], A. Núñez-Marrero[1], J. Rodríguez-Rodríguez[1], J. A. Rodríguez-Losada[2,3] y I. González Álvarez[4]

1 Dpto. Didácticas Específicas, Fac. Educación, Universidad de La Laguna, 38206 Tenerife. adarwich@ull.edu.es
2 Dpto. Biología Animal, Edafología y Geología, Fac. Ciencias, Universidad de La Laguna, 38206 Tenerife. jrlosada@ull.edu.es
3 Instituto Volcanológico de Canarias, 38206 Tenerife
4 School of Earth and Environment, University of Leeds. eeinga@leeds.ac.uk

Palabras clave: Educación Primaria, terremotos, innovación, didáctica.

Resumen

Es innegable que en España la geología ha perdido mucho peso específico en los diseños curriculares de todos los niveles educativos preuniversitarios. No parece que esta situación vaya a cambiar a corto y medio plazo, por lo que es necesario diseñar nuevas estrategias que ayuden a paliar este grave problema (González *et al.*, 2011). Nuestra propuesta se centra en el alumnado de 4º a 6º de Educación Primaria, con el que usaremos la geología como recurso didáctico conectado curricularmente (B.O.E., 2014) a las materias de Matemáticas, Ciencias Sociales y Ciencias Naturales, siguiendo el espíritu de las metodologías STEM-CTIM. En este trabajo nos centramos en las Matemáticas y veremos cómo localizar el epicentro de un terremoto ocurrido en Las Cañadas del Teide, Tenerife, usando la diferencia en el tiempo de llegada de las ondas S y P a 3 estaciones sísmicas. El material consiste en: tres sismogramas en papel obtenidos en tres estaciones sísmicas de Tenerife, un mapa de Tenerife en papel, lápiz, goma, compás y una regla. El cálculo de los tiempos de llegada de las ondas P y S nos permitirá trabajar los números decimales y la interpretación de gráficas (variables dependientes e independientes); el uso de mapas y el compás nos permitirá trabajar con las escalas y los cambios de unidades y el trazado de figuras geométricas (círculos), así como el concepto de triangulación.

Abstract

It is undeniable that in Spain geology has lost a lot of specific weight in the curricular designs of all pre-university educational levels. It does not seem that this situation will change in the short and medium term, so it is necessary to design new strategies to help alleviate this serious problem (González et al., 2011). Our proposal, designed for 9 to 12 year-old students, uses geology as a didactic resource connected to the Spanish core standards (BOE, 2014) for Mathematics, Social Sciences and Natural Sciences, following the spirit of STEM-STEM methodologies. In particular, this work connects Mathematics and Geology through an activity consisting in the epicentre location of an earthquake occurred at Las Cañadas del Teide, Tenerife, using the difference in the arrival time of P and S waves at 3 seismic stations. The necessary material consists in: three seismograms on paper obtained at three seismic stations in Tenerife, a map of Tenerife, pencil, rubber, compass and a ruler. The calculation of the arrival times of P and S waves will allow us to work with decimal numbers and the interpretation of graphs (dependent and independent variables); the use of maps and the compass will allow us to work with scales and changes of units and the drawing of geometric figures (circles), as well as the concept of triangulation.

Referencias

B.O.E. (2014). *Real Decreto 126/2014 de 28 de febrero.*

González, M., Alfaro, P. y Brusi, D. (2011). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, 330-342.

Líneas de organización de los Geolodías de Ávila (2016-2020)

Organizational draft of the Avila Geolodías (2016-2020)

J. Elez[1], A. Casado-Gómez[2], J. Pérez-Tarruella[1], P. Melón[3], J. Cuevas[4], D. Díez-Canseco[4], G. Castilla-Cañamero[5], F. Muñoz, A. Martín Herráez[1] y A. Cuerva[1]

1 Dpto. Geología, Univ. Salamanca, 37008 Salamanca. j.elez@usal.es, javierpereztar@gmail.com, acuerva@gmail.com, albertomartinhe@gmail.com
2 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, Fac. Ciencias Geológicas, 28040 Madrid. acasadogomez@ucm.es
3 Dpto. Ciencias de la Educación, Univ. Rey Juan Carlos, 28942 Fuenlabrada. pmelonjimenez@gmail.com
4 Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig. jaime.cuevas@ua.es, davinia.diezcanseco@ua.es
5 Dpto. Biología y Geología, Centro de Estudios Díaz-Balaguer, 28015 Madrid. gabrielplanetas@yahoo.es

Palabras clave: estrategias de divulgación, rutas autoguiadas, adaptación didáctica, ruta geológica, Ávila.

Resumen

De 2016 a 2020 hemos organizado el Geolodía de la provincia de Ávila (*e.g.*, Castilla-Cañamero *et al.*, 2019). Su baja densidad de población y peculiar geología, dominada por los granitos, la alta montaña y la meseta, plana y con escasos afloramientos, nos hizo tomar una serie de medidas que incrementaran el atractivo de la actividad. Para ello adaptamos la estructura general de ruta autoguiada con paradas del Geolodía con más éxito hasta la fecha, el de Alicante (*e.g.*, Equipo GeoAlicante, 2018). Hemos apostado por un equipo humano estable de unas ocho personas con estructura horizontal y otro más flotante que llega a las 25. Nuestro público objetivo es el familiar, padres con hijos, grupos de amigos, etc. Para hacer itinerarios atractivos hemos dado preferencia a lugares estéticamente agradables, con poco/nulo relieve. En la ruta, autoguiada y sin límite de visitantes, el número óptimo de paradas es de unas seis, con una siempre dedicada a explicar cuál es el papel social de la Geología. Nuestro discurso divulgativo ha sido sencillo, adaptando el nivel al conocimiento geológico del visitante medio. La difusión del evento la realizamos en un blog sobre geología, apoyándonos activamente en varias redes sociales. En los Geolodías la colaboración con los ayuntamientos e instituciones locales ha sido imprescindible y enriquecedora. El resultado a lo largo de estos años es prometedor, con 250-300 personas de media por año, una tendencia creciente en el número de visitantes y unas valoraciones muy positivas de la actividad.

Abstract

From 2016 to 2020, we have organized the Geolodía of the province of Avila (e.g., Castilla-Cañamero et al., 2019). The low population density and its peculiar geology, dominated by granite, high mountains and the plateau, flat and with few outcrops, made us take a series of measures to increase the attractiveness of the activity. We adapted the general structure of a self-guided route with stops of the most successful Geolodía to date: the one from Alicante (e.g., Equipo GeoAlicante, 2018). We have opted for a stable team of about eight people with a horizontal structure and another more floating that reaches 25. Our target audience are families, parents with children, groups of friends, etc. To make attractive itineraries we have given preference to aesthetically pleasing places, with little/no relief. In the self-guided route and without limit of visitors, the optimal number of stops is about six, with one always dedicated to explain what is the social role of Geology. Our educational discourse has been easy, adapting the level to the geological knowledge of the average visitor. The promotion of the event combines a blog about geology actively supported by several social media. In the Geolodias, collaboration with local councils and institutions has been essential and enriching. The result over these years is promising, with an average of 250-300 people/year, a growing trend in the number of visitors and very positive feedback.

Referencias

Castilla-Cañamero, G., Elez, J., Casado-Gómez, A.I., Claro, A., Cuerva, A., Cuevas, J., Díez-Canseco, D., Martín-Herráez, A., Melón, P., Muñoz, F. y Pérez-Tarruella, J. (2019): Colección Geolodía. SGE, Salamanca, 8 p. ISSN: 2603-8889.

Equipo GeoAlicante (2018): Colección Geolodía. SGE, Salamanca, 8 p. ISSN: 2603-8889.

Formación en comunicación: los pilares de la (Ciencia de la) Tierra

Training on Communication: The Pillars of the Earth (Sciences)

D. García[1,2], H. González[1], O. Marimon[1] y E. Sáenz de Cabezón[1,3]

1 Big Van Ciencia, 08755 Castellbisbal (Barcelona). garciajimenez.d@gmail.com
2 Cátedra Parques Nacionales, Univ. Alcalá, 28802 Alcalá de Henares (Madrid).
3 Dpto. Matemáticas y Computación, Fac. Ciencia y Tecnología, Univ. La Rioja, 26006 Logroño.

Palabras clave: formación, comunicación, medios, Ciencias de la Tierra.

Resumen

La comunidad de las Ciencias de la Tierra con frecuencia lamenta que éstas son las «grandes desconocidas», desfavorecidas frente a disciplinas como la Biología o la Física. Para contrarrestar este efecto se incide en la importancia de la educación reglada para crear cultura y vocaciones científicas -en especial la Primaria y Secundaria- y la divulgación para dar a conocer nuestra disciplina al gran público. Sin duda estos aspectos son fundamentales para promover las Ciencias de la Tierra en la sociedad, pero no son suficientes. Al igual que la docencia e investigación deben ser realizadas de modo profesional, a menudo se pasa por alto que la divulgación y comunicación científicas deben realizarse del mismo modo. Ejemplos de la potencia de este enfoque pueden verse en Meteorología, Astronomía o Matemáticas, donde una labor profesional de décadas ha aumentado notablemente la visibilidad de estas disciplinas, aparentemente más alejadas de la sociedad que otras como las Ciencias de la Vida. Para lograr esto es preciso por tanto formar a los futuros comunicadores de Ciencias de la Tierra. Desde 2014 Big Van Ciencia -en colaboración con múltiples universidades, centros de investigación e institutos de secundaria- desarrolla cursos de comunicación científica presenciales y online que han alcanzado más de 1000 participantes en Europa y América Latina. Estos cursos se imparten a estudiantes -secundaria, grado y posgrado-, personal docente, investigador y técnico, incorporándose al currículo de estudios oficiales o a la formación interna ofertada por las instituciones. En ellos se dota a los alumnos de herramientas para (1) comunicar su investigación de forma eficaz y atractiva mediante elementos de las artes escénicas y la narración oral; y (2) trabajar con los medios de comunicación a través de casos de estudio relacionados con peligros naturales, aspecto con el que posiblemente deban lidiar en su práctica profesional. Así pretendemos contribuir hoy a cimentar los pilares de la difusión de las Ciencias de la Tierra mañana.

Abstract

There is an outcry among the Earth Sciences community due to the relative omission of these disciplines compared to others, such as Physics or Biology. To overcome this effect, education -especially Primary and Secondary- is key to create a geoscientific culture and vocations, as well as geosciences outreach is vital to reach the lay public. Although both ingredients are crucial to promote Earth Sciences in society, they are not enough. While there is no doubt education and research should be carried out in a professional way, the same does not often hold for geosciences communication. However, examples in Meteorology, Astronomy or Maths clearly show that communicating in a professional way propels social visibility of science disciplines, even if they are farther from the public than others such as Life Sciences. To achieve this goal it is thus critical training the future Earth Sciences communicators. Since 2014 Big Van Science -in collaboration with multiple research centres, universities and secondary schools- is developing a science-communication training program that has reached more than 1000 students across Europe and Latin America. These courses are designed for both secondary, BSc, MSc, and PhD students, teachers, professors, research and technical staff. Courses are included into the official curricula of existing degrees or within the institutions internal training programs. In these courses, students learn how to (1) communicate their research in an effective, appealing way by using scenic arts and story-telling techniques; and (2) work with the media through the analysis of case studies related to natural hazards. This way we try to contribute today by setting the pillars of tomorrow's Earth Sciences communication.

Iniciativa GeoDocente: compartiendo recursos docentes de geología

GeoDocente Initiative: sharing geology teaching resources

J.L. Giner-Robles[1], C. Canora-Catalán[1], E. Rodríguez-Escudero[1], J. Elez[2], P.G. Silva[2], T. Bardají[3], E. Roquero[4], R. Pérez-López[5], M.A. Rodríguez-Pascua[5], M. Gómez-Heras[1], B. Oliva-Urcia[1] y M. Ortuño-Candela[6]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Fac. Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid. jorge.giner@uam.es; carolina.canora@uam.es; miguel.gomezheras@uam.es; belen.oliva@uam.es
2 Dpto. Geología, Fac. Ciencias, Universidad de Salamanca (USAL), 37008 Salamanca. j.elez@usal.es; pgsilva@usal.es
3 U.D. Geología, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid). teresa.bardaji@uah.es
4 Dpto. Edafología, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid (UPM). elvira.roquero@upm.es
5 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28004 Madrid. r.perez@igme.es; ma.rodriguez@igme.es
6 Dpto. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Fac. Geologia, Universidad de Barcelona. maria.ortuno@ub.edu

Palabras clave: materiales docentes, redes colaborativas docentes, Iniciativa GeoDocente.

Resumen

La Iniciativa GeoDocente es una apuesta de un grupo de docentes e investigadores de diferentes universidades y organismos públicos de investigación para ofrecer materiales docentes de Geología en abierto dirigidos a diferentes niveles educativos: ESO, Bachillerato y primeros cursos universitarios donde la Geología es una asignatura básica de grado. Los materiales están organizados de forma que se puedan utilizar directamente en el aula, con materiales específicos tanto para los alumnos como para el profesorado. Además la accesibilidad de las diferentes plataformas electrónicas en los que están distribuidos permite incluir materiales adicionales para adaptarlos a diferentes niveles educativos. Estos materiales se presentan en diferentes formatos: archivos de texto, interactivos, vídeos, presentaciones, etc. Actualmente los materiales están disponibles en dos plataformas digitales de acceso libre: ResearchGate (https://www.researchgate.net/project/GEODOCENTE-Materiales-docentes-de-geologia; con más de 6000 accesos/año) y una plataforma docente en formato Moodle de la Universidad Autónoma de Madrid (https://formacion.uam.es/course/view.php?id=3; con más de 8000 accesos/año). En el futuro se pretende incluir los materiales en la plataforma ACIERTAS, iniciativa de la Confederación de Sociedades Científicas de España financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, que pretende crear una red de intercambio de materiales docentes.

Abstract

The GeoDocente Initiative is a project of a group of teachers and researchers from different universities and public research organizations to offer educational resources of Geology in open access directed to different educational levels: high school and first university courses where Geology is a basic subject of the degree. Materials are organized to be used right in the classroom, with specific materials for both students and teachers. In addition, the accessibility of the different online platforms that allocate the resources allows to include additional materials designed for different educational levels. These materials are accessible in different formats: text files, videos, presentations, interactive files, etc. Resources are currently available on two open access online platforms: ResearchGate (with more than 6000 visits/year: https://www.researchgate.net/project/GEODOCENTE-Materiales-docentes-de-geologia) and a teaching platform in Moodle format of the Autonomous University of Madrid (with more than 8000 visits/year: https://formacion.uam.es/course/view.php?id=3). In the future, we intend to include the resources on the ACIERTAS platform, an initiative of the Confederation of Scientific Societies of Spain funded by the Ministry of Science, Innovation and Universities, which aims to create a network for the exchange of teaching materials.

Diseño Universal de Aprendizaje (DUA) en Geología: DUAGEA

Universal Design for Learning (UDL) in Geology: DUAGEA

M. Gómez-Heras[1], B. Oliva-Urcia[1], E. Acedo-Rueda[2], A. Calvo-Sáchez[2], C. Simón-Rueda[3], J. Baena-Preysler[4], L. Haner[1], L. Valero Pérez[1], J.L. Olmo-Rísquez[5] y R. Rocca[6]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid. miguel.gomezheras@uam.es
2 Área de Atención a la Discapacidad de la Oficina de Acción Solidaria y Cooperación de la UAM, 28049 Madrid.
3 Dpto. Psicología Evolutiva y de la Educación, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid.
4 Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid.
5 IES Azuer de Manzanares, 13200 Manzanares (Ciudad Real).
6 Geólogo Independiente (Madrid).

Resumen: Ofrecer entornos de aprendizaje eficaces para todos es una de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 "Educación de Calidad". El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) nos da las herramientas para diseñar un currículo flexible que ofrezca este tipo de entornos de aprendizaje mediante técnicas, estrategias y materiales de instrucción que permitan atender a las diversas necesidades que encontramos en el aula. El DUA no se centra en la atención a las personas con discapacidad, sino que todo el estudiantado se beneficia de la utilización de herramientas y materiales docentes diseñados bajo estos principios. Dado que el interés del estudiantado de algunos grados hacia la Geología es en general bajo, DUAGEA está creando nuevas herramientas y materiales docentes para la enseñanza de la Geología que impulsen la inclusión educativa en la docencia universitaria por su multisensorialidad y que motiven al estudiantado, al ponerles en el centro de su propio aprendizaje incorporando metodologías activas basadas en el Aprendizaje-Servicio en la enseñanza de la Geología.

Palabras clave: enseñanza de la Geología, Diseño Universal de Aprendizaje, Aprendizaje-Servicio.

Abstract: *Offering effective learning environments for everybody is one of the items within Sustainable Development Goal 4 "Quality Education". The Universal Design for Learning (UDL) provides tools to design a flexible curriculum, ensuring an effective learning environment for all. This is attained through the creation of instructional strategies and materials able to meet the diverse needs we encounter in the classroom. UDL is not just focused on addressing the needs of people with disabilities. Moreover, all students benefit from the use of teaching tools and materials designed with DUA principles. As the students in some grades do not show a particular interest towards Geology, DUAGEA is creating new tools and materials for teaching Geology. These tools aim to promote educational inclusion at university, teaching through multisensory materials and motivating students by putting them at the centre of their own learning process, incorporating active methodologies based on Service-Learning in the teaching of Geology.*

Keywords: *Geology teaching, Universal Design for Learning, Service-Learning.*

INTRODUCCIÓN

Entre las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 "Educación de Calidad" está "construir y adecuar instalaciones educativas (…) que ofrezcan entornos de aprendizaje (…) eficaces para todos" (Naciones Unidas, 2015). Para dar respuesta al mismo, el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) nos da las herramientas para diseñar un currículo flexible, que ofrezca entornos de aprendizaje eficaces para todos, mediante la creación de técnicas, estrategias y materiales didácticos que permitan atender las diversas necesidades del aula (CAST, 2018).

En algunas ocasiones se considera de manera equivocada que el objetivo del DUA se centra en la atención a las personas con discapacidad. Sin embargo, aunque los aprendices con discapacidad o en otras situaciones de desventaja son más vulnerables a las barreras, todo el estudiantado se beneficia de la utilización en el proceso de instrucción de herramientas y materiales docentes diseñados con principios de DUA. Un ejemplo de estos materiales serían los que responden al primer principio del DUA (Proporcionar múltiples medios de representación) y ofrecen alternativas a la percepción por un único canal sensorial. El DUA es una metodología aplicada con éxito en la enseñanza de las ciencias desde hace más de diez años (Curry *et al.*, 2006; Kurtts *et al.*, 2009), pero cuya aplicación en la enseñanza de la Geología se ha centrado, fundamentalmente, en la enseñanza no formal y dirigida fundamentalmente a un público con discapacidad (López-Acevedo *et al.*, 2011; Gómez-Heras *et al.*, 2014; Muñoz-García *et al.*, 2015; García-Frank y Fesharaki, 2017; Valero-Pérez y Gómez-Heras 2020; García-Frank *et al.*, 2020).

Dentro de los grados impartidos en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) se observa cómo el interés del estudiantado hacia la Geología es en general bajo. Por un lado esta tendencia es continuación del menor interés que el estudiantado de ESO y Bachillerato demuestra por

la Geología respecto a otras ciencias (Crisantos-Pérez y Gomez-Heras, 2019). Por otro lado hay algunos aspectos relacionados con la comprensión de escalas espaciales y la traslación de estructuras tridimensionales al plano en los que el estudiantado presenta, en general, baja competencia, y que afectan a su comprensión general de la materia y a un menor desempeño en la asignatura.

Así este proyecto propone la creación de nuevas herramientas y materiales docentes para la enseñanza de la Geología que impulsen la inclusión educativa en la docencia universitaria por su multisensorialidad, poniendo además a un grupo del estudiantado en el centro de su propio aprendizaje al incorporar metodologías activas basadas en el Aprendizaje-Servicio en la enseñanza de la Geología, como se ha aplicado en la enseñanza de la Biología (Razquín-Peralta, 2017) o en Geología en experiencias de diseño de actividades por el estudiantado (García-Frank *et al.*, 2019)

Como parte de la implantación de un entorno de DUA en la enseñanza de Geología en el grado de Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Madrid, un grupo entre el profesorado, alumnado y personal técnico del Área de Atención a la Discapacidad de la Universidad Autónoma ha desarrollado la iniciativa DUAGEA. Esta iniciativa, estructurada a través de proyectos de innovación docente de la universidad, gira alrededor de tres ejes:

– El estudiantado necesita tomar conciencia de la diversidad de la comunidad universitaria;

– El estudiantado necesita adquirir competencias de compromiso social y sostenibilidad;

– El estudiantado ha de ser un sujeto activo de su proceso de aprendizaje.

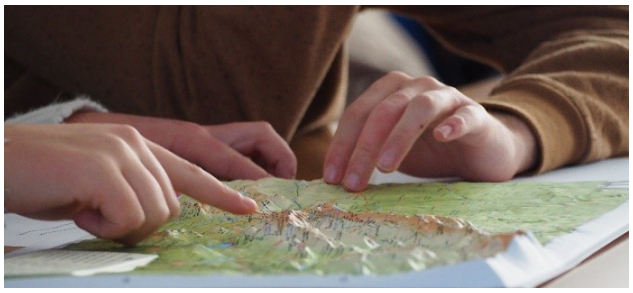


FIGURA 1. Estudiantes manipulando un material 3D con el objetivo de mejorar las competencias relacionada con la traslación de estructuras tridimensionales al plano (Foto: Unidad Comunicación Científica UAM).

Estos ejes se están desarrollando a partir de la consecución de diversos objetivos, como son:

– Ofrecer al estudiantado formación relacionada con la atención a la diversidad, diseño universal y comunicación de la ciencia;

– Crear nuevos materiales docentes multi-sensoriales para la enseñanza de la Geología, como por ejemplo impresiones 3D o realidad aumentada;

– Involucrar al estudiantado de grado que ha cursado la asignatura de Geología en el diseño de materiales de instrucción y así explorar la aplicación de metodologías de Aprendizaje-Servicio como estrategia educativa en el grado de Ciencias Ambientales, como respuesta a la demanda expresada por el estudiantado de este grado de recibir formación en DUA (Valero-Pérez, 2019);

– Aplicar los materiales docentes creados con DUA en la enseñanza de la Geología como parte del currículo de los grados y de forma extracurricular con otras personas con discapacidad sensorial fuera de la comunidad UAM.

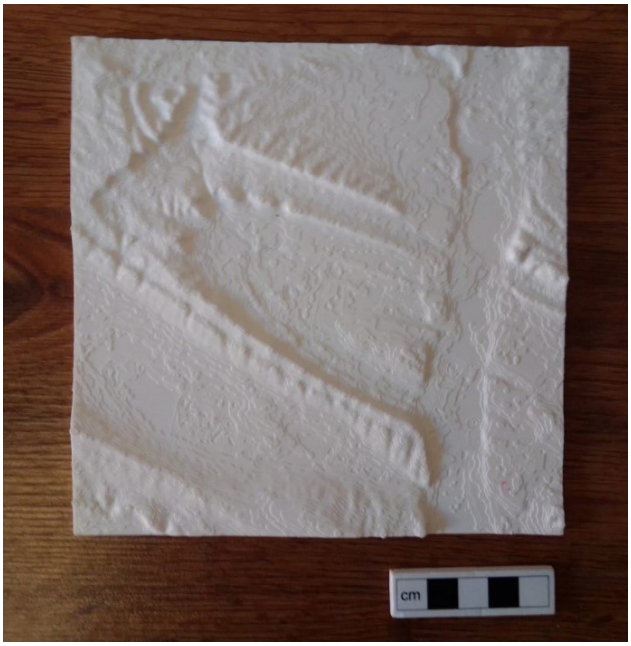


FIGURA 2. Impresión 3D utilizada en las prácticas de cortes y mapas geológicos de la asignatura de Geología del grado de Ciencias Ambientales de la UAM realizada a partir de un archivo *.stl extraído de http://touchterrain.geol.iastate.edu/.

Esta iniciativa está activa y sus resultados se encuadran en diversos proyectos de innovación docente de la UAM. Hasta la fecha se han realizado diversas actividades de formación, algunas específicas para el alumnado del Grado de Ciencias Ambientales de la UAM y otras incluidas en las jornadas “Construyendo una universidad inclusiva” de la UAM de los años 2019 y 2020. Se ha involucrado a diversos estudiantes para realizar actividades de preparación de materiales de instrucción y para realizar investigación socioeducativa (Valero-Pérez, 2019). Estas actividades son fácilmente exportables a otros grados y estudios como el Máster de Formación del Profesorado.

Además de las actividades presenciales, el contexto generado por la pandemia de la COVID-19 ha propiciado que se incluyan metodologías de DUA en relación al trabajo de campo en las asignaturas de Geología. Así, se están desarrollando entornos virtuales como herramienta para combatir las percepciones de no inclusividad del diseño tradicional del trabajo de campo en Geología en relación con la

diversidad funcional (Atchinson y Martínez-Frias, 2012), así como con otros muchos aspectos como edad, género, creencias o etnicidad (Prior-Jones *et al.*, 2020).

Estos entornos virtuales son también una herramienta para atender a los diversos estilos de aprendizaje del alumnado en relación al trabajo de campo (Gómez-Heras y McCabe, 2014) y contribuir a la superación de "espacios de novedad" cognitivos (Orion, 1993) para, así, propiciar un mejor aprovechamiento del trabajo de campo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está encuadrado y financiado por los proyectos C_022.18_INN, C_010.19_INN y C_018.20_INN de la Convocatoria INNOVA del programa de Innovación Docente del Vicerrectorado de Docencia, Innovación Educativa y Calidad de la Universidad Autónoma de Madrid.

REFERENCIAS

Atchison, C. y Martinez-Frias, J. (2012): Inclusive geoscience instruction. *Nature Geoscience* 5: 366.

CAST (2018): Universal design for learning guidelines version 2.2. Wakefield, MA.

Crisantos-Pérez, J. y Gómez-Heras, M. (2019): La disminución del interés por la Geología a lo largo de la ESO y bachillerato y sus posibles causas. *Libro resúmenes XXIII Bienal RSEHN*: 195.

Curry, C., Cohen, L. y Lightbody, N. (2006): Universal Design in Science Learning. *Science Teacher* 73(3): 32-37.

García-Frank, A. y Fesharaki, O. (2017): Cata de aguas a ciegas: un taller inclusivo sobre aguas minerales y geología. *Libro resúmenes XXII Bienal RSEHN*: 363-364.

García-Frank, A., Fesharaki, O. y Rodrigo, A. (2019): Innovación en la Divulgación de la Geología: propuestas inclusivas hechas por estudiantes para estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 27(1): 116-118.

García Frank, A., Fesharaki, O., Iglesias Álvarez, N., Herrero Domínguez, S., Fajardo Portera, P., Hervella Macia, A.B., de Francisco Fernández, V., García Hijón, V. y Sánchez Alba, B. (2020): Importancia del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA): Caso de estudio en la enseñanza de las Ciencias de la Tierr*a. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 28(2): 155-166.

Gómez-Heras, M. y McCabe, S. (2014): Student Learning Styles. *Developments in Earth Surface Processes* 18: 93-116.

Gómez-Heras, M., Gonzalo, L., García-Frank, A., Sarmiento, G.N., González, L., Muñoz, M.B., García, R, Hontecillas, D., Ureta, M.S. y Canales, M.L. (2014): Geología para sordociegos: Una experiencia multisensorial para la divulgación de la ciencia. I*nvestigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula* 10: 45-55. Editorial CSIC, Madrid.

Kurtts, S.A., Matthews, C.E. y Smallwood, T. (2009): (Dis)Solving the Differences: A Physical Science Lesson Using Universal Design. *Intervention in School and Clinic* 44(3): 151-159.

López-Acevedo M.V., Chicote González, J.C., Goñi López, J. y López-Herce Cid, A. (2011): Forma y simetría en la naturaleza. Enseñanza adaptada a personas ciegas a través de métodos cristalográficos, *Enseñanza de las ciencias de la tierra* 19(2): 186-191.

Muñoz-García, M. B., González-Acebrón, L., García-Frank, A., Pérez Barroso, R., Espín Forjan, B., Benito Manjón, P., de Pablo Gutiérrez, L., Gómez-Heras, M., Canales Fernández, M.L., Sarmiento Chiesa, G.N., Ureta Gil, S. y del Moral González, B. (2015): Evaluación del aprendizaje significativo del concepto "Tiempo Geológico" en estudiantes con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 23(2): 220-231.

Naciones Unidas (2015): Resolución A/70/1, aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015: Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Nueva York, Naciones Unidas.

Orion, H. (1993): A practical model for the development and implementation of fieldtrips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics* 93, 325–331.

Prior-Jones, M., Pinnion, J., Millet, M-A., Bagshaw, E., Fagereng, A. y Ballinger, R. (2020): An inclusive risk assessment tool for travel and fieldwork, EGU2020, *Sharing Geoscience Online*, EGU2020-7678.

Razquín-Peralta, B. (2017): El Aprendizaje-Servicio como respuesta a la responsabilidad social de la Universidad. *Ambiociencias* 15: 63-69.

Valero-Pérez, L. (2019): *Estrategias para la enseñanza de la Geología Ambiental a personas con diversidad funcional.* Trabajo de Fin de Grado. Universidad Autónoma de Madrid.

Valero Pérez M.L. y Gómez-Heras, M. (2020): Divulgación geológica inclusiva y el caso práctico de la Pedriza del Manzanares (Madrid, España). E*nseñanza de las Ciencias de la Tierra* 28(2): 236-245.

ESPAI GEA: la nueva plataforma de divulgación de la Geología en Cataluña

ESPAI GEA: A new platform for promoting Geology in Catalonia

M. González[1,4], G. Alías[2], D. Brusi[3,4], Ll. Casas[5], E. Esplandiu[6], X. Juan[4], J. Martí[7], A. Martínez[8], D. Parcerisa[9], P. Puig[10], A. Vida[l8] y A. Roca[1]

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc Montjuïc, 08038 Barcelona. Marta.Gonzalez@icgc.cat; Antoni.Roca@icgc.cat
2 Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, c/Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona. galias@ub.edu
3 Dpt. Ciències Ambientals, GEOCAMP, Universitat de Girona, Campus de Montilivi, 17003 Girona. david.brusi@udg.edu
4 Asoc. Española Para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. c/José Antonio Novais 12. 28040 Madrid. xjuan03@gmail.com
5 Dpt. Geologia, Fac. Ciències, Edifici Cs, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Cerdanyola del Vallès. Lluis.Casas@uab.cat
6 Il·lustre Col·legi Oficial de Geòlegs, Del. Catalunya, c/Casp 130 Edif. COACB, 3ª 10, 08013 Barcelona. eesplandiu@gmail.com
7 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, c/Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. direccion.ictja@csic.es
8 Centre Excursionista de Catalunya, c/Paradís 10, 08002 Barcelona. a@albertmartinez.com; avidal@cec.cat
9 Dpt. D'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Univ. Politècnica Catalunya, Av/Bases de Manresa 61-73. 08242 Manresa. david.parcerisa@upc.edu
10 Institut de Ciències del Mar, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona. ppuig@icm.csic.es

Palabras clave: divulgación, Geología, Ciencias de la Tierra, ESPAI GEA.

Resumen

ESPAI GEA es una comunidad abierta que nace con el objetivo de promover las Ciencias de la Tierra y divulgar la importancia del conocimiento geológico entre la ciudadanía. La voluntad de ESPAI GEA es la de conectar a todas las instituciones, asociaciones, entidades, museos, centros de interpretación, etc., que realizan actividades relacionadas con las Ciencias de la Tierra y la Geología. La primera acción que se está llevando a cabo desde ESPAI GEA es la de crear una agenda con el objetivo de centralizar las actividades de divulgación en una única plataforma que sirva al mismo tiempo de escaparate y altavoz. Con estas premisas se ha implementado la agenda en un visor web, en el que se mostrarán principalmente dos tipos de información: i) actividades y eventos de carácter temporal, y ii) la ubicación de información geológica disponible permanentemente (paneles informativos, itinerarios geológicos, área geográfica de las guías publicadas, centros de interpretación, museos, centros de investigación u otras instalaciones singulares relacionadas) así como otra información de interés complementaria. ESPAI GEA también quiere incidir de una manera muy especial en la comunidad educativa, realizando actividades formativas, proporcionando recursos didácticos y favoreciendo la actualización científica del profesorado.

Abstract

ESPAI GEA is an open community that is born with the aim of promoting Earth Sciences and to disseminate the importance of geological knowledge among citizens. The goal of ESPAI GEA is to connect all the institutions, associations, entities, museums, visitors' centres, etc., that carry out activities related to Earth Sciences and Geology in the Catalan territory. The first action undertaken within ESPAI GEA is to create an agenda to assemble all the dissemination activities in a common platform that works both as a showcase and as amplifier of the activities. Under these premises, the agenda is being implemented into a web viewer, which will display two main types of geolocated data; i) temporary activities and events, and ii) the location of existing permanent geological data (information boards, geological itineraries, geographical areas of published guides, interpretation centres, museums, research centres, etc.) along with other information. ESPAI GEA wants to pay special attention to the educational community, carrying out training activities, providing instructional resources and promoting continuing education in Geology for teacher community.

Aplicaciones digitales para la divulgación del patrimonio geológico: metodología SINDIPATGE

Digital applications for the dissemination of geological heritage: SINDIPATGE methodology

J.A. Huesca[1], J.J. Martínez-Campillo[2,3] y J.C. Sirvent[4]

1 C.H. Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, San Vicente de Raspeig. ja.huesca@ua.es
2 Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología, Fac. Ciencias Químicas, Universidad de Murcia. jj.martinezcampillogarcia@um.es
3 Geoides Terra, S.L. c/Gumersindo 83, 03182 Torrevieja (Alicante). geoides@aguasubterranea.es
4 C.H. Dpto. Ciencias de la Tierra, Fac. Ciencias, Universidad de Alicante, San Vicente de Raspeig. jcarlos.sa@gmail.com

Resumen: La utilización de sistemas digitales aplicados a la comunicación del patrimonio geológico centra este trabajo. Para ello se han utilizado diversas herramientas, como son fotografía en 3D, escáner con telémetro laser, VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) o RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), fotogrametría, Lidar, para obtener una serie de datos que, una vez procesados con diversos programas informáticos y con la aplicación de la metodología desarrollada (denominada SINDIPATGE), dan la posibilidad mediante una app para dispositivos móviles, ya sea online u offline, de su utilización en territorios donde han sido definidos itinerarios y lugares de interés geológico.

Palabras clave: patrimonio geológico, aplicación digital, río Monnegre, geoturismo, app.

Abstract: *This work is related to digital systems applied to the communication of geological heritage. For this purpose, we have used various tools, such as 3D photography, scanner with laser telemeter, RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), photogrammetry, and Lidar. A series of data has been processed with different computer programs and integrated in the developed methodology (called SINDIPATGE), giving in this way the possibility of being used by means of mobile devices apps, either online or offline, in territories where itineraries and geological sites have been defined.*

Keywords: *geological heritage, digital application, Monnegre River, geotourism, app.*

INTRODUCCIÓN

La irrupción en nuestra sociedad de los dispositivos móviles, como tabletas o smartphones, ha modificado las formas de comunicación, interacción y tratamiento de la información. Por ello los responsables de la difusión del patrimonio geológico, gestores de geoparques e instituciones implicadas deben adaptarse a este nuevo y cambiante paisaje. La informatización de los servicios y las nuevas tecnologías surgidas han dado paso a nuevos recursos, formatos y plataformas que han de ser analizadas desde la perspectiva de su intencionalidad y practicidad. Asimismo se ha de tener en cuenta que, en la sociedad de tecnologías de la comunicación, el desarrollo de la competencia digital a lo largo de toda la vida se convierte en un elemento clave.

Desde esta premisa se ha elaborado la metodología denominada SINDIPATGE, que aplica tecnologías digitales en itinerarios y puntos de interés geológico como punto de partida para la difusión y defensa del mundo abiótico. El objetivo último es indagar sobre la capacidad que presentan estas tecnologías digitales específicas en el ámbito de la difusión accesible del patrimonio geológico, y así colaborar al conocimiento y desarrollo sostenible de un territorio con capacidad de actividades geoturisticas.

MARCO GEOLÓGICO

Se ha elegido para la aplicación de esta metodología un itinerario geológico situado en la provincia de Alicante, en la comarca del Alancatí, al que denominamos “parque geológico de Monnegre”. Éste discurre a lo largo del río Monnegre, donde se ha estableciendo una ruta geológica en el tramo medio. Su acceso se realiza desde el km. 683 de la autovía AP-7 a la CV-819, que recorre la margen derecha del río.

Desde el punto de vista geológico se ubica en las cordilleras Béticas, en el dominio Prebético de Alicante. La zona tiene un alto interés didáctico, científico y paisajístico desde el punto de vista del patrimonio geológico. Geomorfológicamente el del Monnegre es un valle fluvial aterrazado y el territorio es un paisaje en badlands (Cerda y Paya, 1995). Desde el punto de vista estructural los materiales arcillosos, areniscosos, calizos y evaporíticos de edad triásica, en facies Keuper, se superponen sobre los materiales calizos y margocalizos del Cretácico mediante el fenómeno halocinético del diapirismo, favorecido por la fracturación de la zona.

Su cercanía a zonas de gran presión urbanística puede dar lugar, en un futuro, a la destrucción o gran afectación de este patrimonio geológico. Al mismo tiempo, dicha

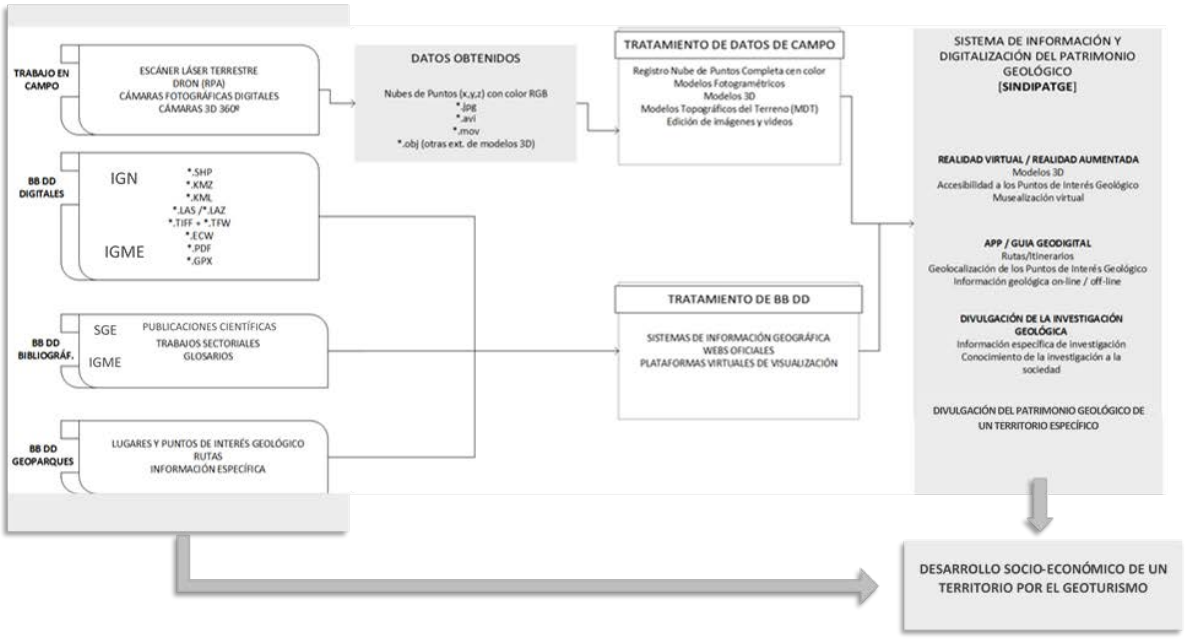


FIGURA 1. Metodología y desarrollo del Sistema de Información y Digitalización del Patrimonio Geológico (SINDIPATGE).

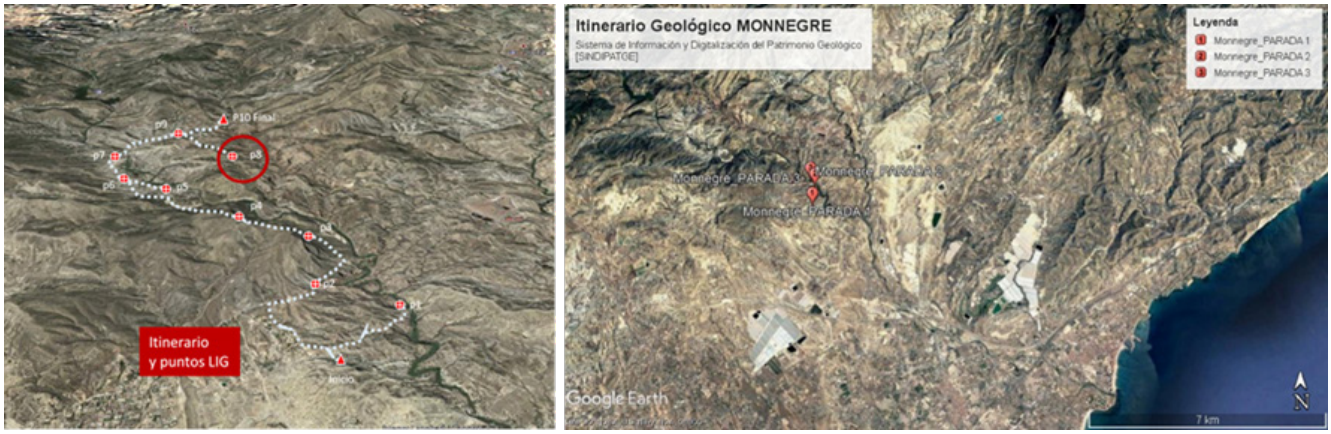


FIGURA 2. Localización del Itinerario Geológico Monnegre y recorrido con los puntos de interés geológico (ubicación de interés P8)

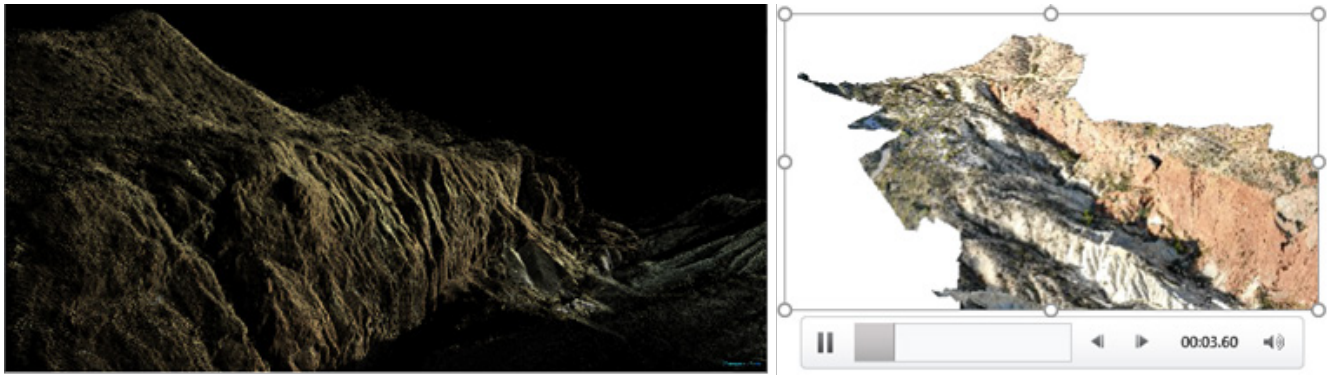


FIGURA 3. Parada 1: visualización de la nube de puntos con transparencia (izquierda). Visualización del vídeo capturado del modelo 3D a partir de fotogrametría (derecha).



FIGURA 4. Parada 1: vista panorámica 360º con cámara 3D (izquierda). Realidad aumentada del modelo 3D obtenido de la nube de puntos o de la fotogrametría (derecha).



FIGURA 5. Parada 8: información detallada de un punto de interés en el que se implementa toda la información especifica y científica referenciada de las bases de datos existentes (IGN, IGME y SGE).

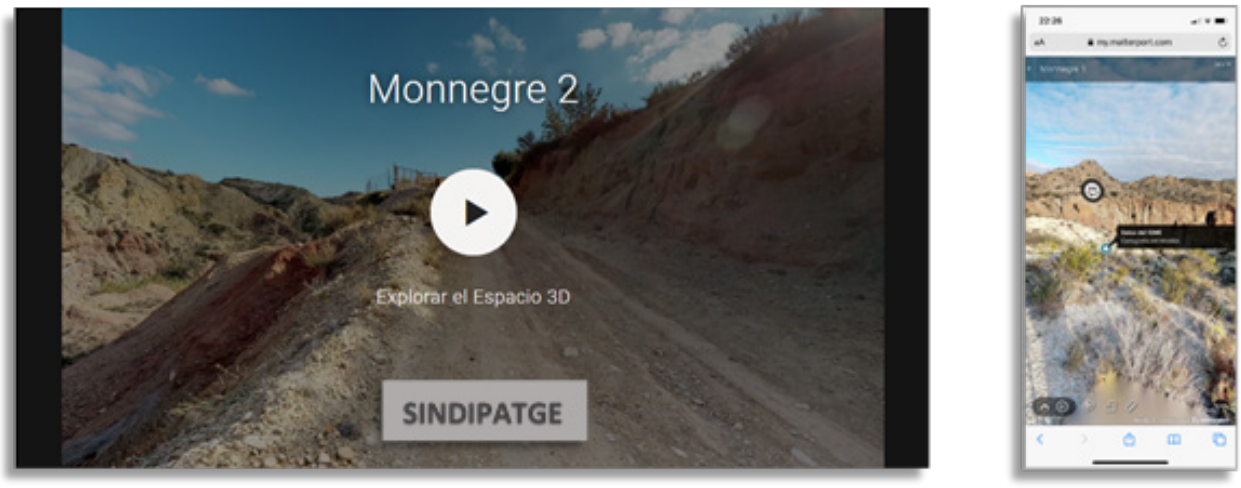


FIGURA 6. Plataforma virtual para acceso al itinerario geologico (izquierda). Smartpphone con la aplicacion SINDIPATGE (derecha).

proximidad y su fácil acceso pueden dar lugar a la puesta en valor y al desarrollo sostenible de este territorio mediante el geoturismo.

METODOLOGÍA

Para obtener SINDIPATGE (Sistema de Información y Digitalización del Patrimonio Geológico) se ha desarrollado la metodología reflejada en la Figura 1. El resultado de esta metodología consiste en una aplicación digital, disponible tanto en páginas web (p.ej., de los geoparques) como en dispositivos móviles, que da acceso a la información geológica, apoyada fundamentalmente en formatos virtuales. El usuario puede así disponer, durante la visita de campo a los itinerarios geológicos, de información actual y veraz con alto contenido gráfico y didáctico; o bien acceder a ella desde las páginas web que dan soporte a las diversas figuras establecidas para difundir el patrimonio geológico (geoparques, itinerarios geológicos, lugares de interés geológico u otros).

Datos de campo

En la toma de datos de campo se utilizan varias herramientas topográficas y digitales, cuyo objetivo final es modelizar en 3D la realidad capturada. Para ello se ha utilizado un escáner láser terrestre (TLS) de alta precisión, Leica C10, con toma de fotos incorporadas en bóveda completa (para asignar color RGB a la nube de puntos de cada uno de los estacionamientos necesarios) para su registro y generación final de nubes de puntos, y un GPS diferencial para su georreferenciación. También se ha realizado la captura fotográfica aérea y de vídeo mediante RPAS con GPS, DJI Mavic Pro, obteniéndose imágenes de alta resolución 4K. Del tratamiento y procesamiento de estas imágenes mediante softwares específicos se han obtenido vídeos, modelos 3D texturizados junto a sus nubes de puntos y mallas tridimensionales georreferenciados. Mediante el empleo de cámara 3D 360º, Matterport, se ha conseguido el recorrido virtual junto a la vinculación de las imágenes envolventes 360º y la información recabada con las técnicas anteriores, así como la documentación recopilada de las bases de datos consultadas (digitales, bibliográficas y de otros portales).

Datos obtenidos de las bases de datos existentes

La documentación utilizada será siempre la que ofrecen los organismos oficiales: Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y Sociedad Geológica de España (SGE). En estos casos proporcionan no sólo la cartografía base georreferenciada en distintos formatos (shp, kmz, kml, las/laz, tiff+, tfw, ecw, pdf y gpx) sino también publicaciones científicas con las que se servirá la app para la difusión y contextualización en cada caso.

Resulta de especial interés la vinculación a las webs de geoparques de España, con el fin de ser una plataforma de visualización y divulgación accesible y útil para todas las personas interesadas en el patrimonio geológico.

APLICACIÓN A UN ITINERARIO GEOLÓGICO: ZONA DE MONNEGRE

En este caso se ha trabajado un itinerario geológico con ocho puntos de interés (Fig. 2), localizado en la zona del río Monnegre, al norte de la ciudad de San Vicente del Raspeig (Alicante). Se han tomado datos de campo en estas paradas en forma de nube de puntos, fotografías digitales y videos de alta calidad 4K (Fig. 3) e imágenes 360º (Fig. 4). Así se ha conseguido obtener modelos 3D del terreno y visualizarlos en realidad aumentada (Fig. 4) para integrarlos en una plataforma de realidad virtual.

Alguno de los puntos de interés geológico han sido documentados mediante contenido gráfico y bibliografia científica de las bases de datos referidas (ver Fig. 1) para mostrar la capacidad de la aplicación desarrollada en un caso real (Fig. 5). Toda esta información será accesible desde una plataforma virtual para cualquier ordenador con conexión a internet y desde app para smartphone y tablet (online u offline) para el seguimiento y recorrido del itinerario en campo (Fig. 6).

CONCLUSIONES

Las aplicaciones digitales abren un nuevo camino en divulgación. El Sistema de Información y Digitalización del Patrimonio Geológico (SINDIPATGE) facilita la divulgación del patrimonio geológico gracias a diversas ventajas frente a otros sistemas existentes:

1. Hace innecesaria la señalética en campo y su correspondiente mantenimiento debido al deterioro (meteorología, vandalismo u otros).

2. Suple la necesidad de personal especializado para difundir con rigor la información en los itinerarios.

3. Ahorra grandes recursos económicos, en muchas ocasiones inexistentes, para la gestión y divulgación del patrimonio geológico.

4. Pone a disposición de forma accesible información actualizada para el usuario mediante un contenido didáctico y científico en diferentes soportes multimedia y virtuales: imágenes y recorridos 3D, audio-guías, vídeos, realidad aumentada, imágenes y bibliografía.

5. Permite la mejora continua del sistema y la posibilidad de adquirir nuevos medios de divulgación, pudiendo revisarse la información en función de los nuevos conocimientos sobre el territorio donde se aplica.

6. Permite la resiliencia del geoturismo con sus usuarios debido a la versatilidad y variedad de posibilidades de los dispositivos móviles utilizados en campo, tanto offline (mala o nula accesibilidad de internet en zonas rurales) como online.

REFERENCIAS

Cerda, A. y Paya, J. (1995). Morfología y procesos superficiales en badlands sobre arcillas del Keuper, Requena. *Cuaternario y Geomorfología*, 9: 59-72.

La divulgación científica con audiovisuales como acción de transferencia de proyectos de investigación: el ejemplo de las cuevas del Parque Nacional de los Picos de Europa

Scientific dissemination with audiovisual media as transfer action for research projects: the example of the caves of the Picos de Europa National Park

M. Jiménez-Sánchez[1], D. Ballesteros[2], J. García-Sansegundo[1], S. Giralt[3], M. Meléndez-Asensio[4], M.J. Domínguez-Cuesta[1] y L. Rodríguez-Rodríguez[5]

1 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo, c/Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. mjimenez@uniovi.es; j.g.sansegundo@uniovi.es; dominguezmaria@uniovi.es
2 Dpto. Geodinámica, Universidad de Granada, Avenida de la Fuente Nueva S/N 18071 Granada. dballesteros@ugr.es
3 GEO3BCN-CSIC, c/Lluis Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. sgiralt@geo3bcn.csic.es
4 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Oviedo, c/Matemático Pedrayes 25, 33005 Oviedo. m.melendez@igme.es
5 CITIMAC, Universidad de Cantabria, Av. Castros 48, 39005 Santander. laura.rodriguezr@unican.es

Palabras clave: divulgación, audiovisual, investigación, cuevas, Picos de Europa.

Resumen

La difusión de contenidos científicos mediante audiovisuales alojados en plataformas online y redes sociales facilita el acceso público a información usualmente restringida a la comunidad científica. Este trabajo muestra la experiencia obtenida a partir de la creación de un audiovisual para divulgar los resultados de un proyecto de investigación. El proyecto, titulado "Caracterización geomorfológica y geocronológica de cavidades kársticas en el Parque Nacional de los Picos de Europa" (referencia 580/12, MAGRAMA-OAPN), incluía en su plan de difusión la realización de contribuciones científicas y diversas acciones de transferencia (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2019). Entre estas últimas destaca el audiovisual titulado "Las cuevas del Parque Nacional de los Picos de Europa: una historia por descubrir" (https://goo.gl/wNnQnG), que explica el origen de las cavidades de los Picos de Europa contextualizado en la evolución del relieve del parque. El audiovisual facilita el acceso público al conocimiento científico garantizando, además, el rigor y exactitud de la información divulgada.

Abstract

Dissemination of scientific results through videos shared via online platforms and social media enables public access to information usually restricted to the scientific community. Here we present the experience obtained with the creation of a video for disseminating the results of a research project. The project, entitled "Geomorphological and geochronological characterization of karstic cavities in the Picos de Europa National Park" (reference 580/12, MAGRAMA-OAPN), included in its dissemination plan the making of scientific contributions and several transfer actions (Jiménez-Sánchez et al., 2019), being the video "Las cuevas del Parque Nacional de los Picos de Europa: una historia por descubrir" (https://goo.gl/wNnQnG) one of these actions. The video explains the origin of Picos de Europa caves in the context of the evolution of the park's relief. This video allows the lay public accessing to scientific knowledge, while ensuring rigorous and accurate information.

Referencias

Jiménez-Sánchez, M., Ballesteros, D., García-Sansegundo, J., Giralt, S., Meléndez-Asensio, M., Domínguez-Cuesta, M.J. y Rodríguez-Rodriguez, L. (2019): En: *Proyectos de investigación en parques nacionales:* 2013-2017 (P. Amengual, ed.). Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Investigación en la Red de Parques Nacionales, 79-93.

¿Cómo se enseña la geodinámica externa y la geomorfología en la ESO de la Comunidad Autónoma Vasca?

How is external geodynamics and geomorphology taught in compulsory secondary education in the Basque Autonomous Community?

N. Martínez-Braceras[1], A. Bodego[1], A. Antón[2] y A. Payros[1]

1 Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Fac. Ciencia y Tecnología, Univ. País Vasco (UPV/EHU), 48940 Leioa. naroa.martinez@ehu.eus, arantxa.bodego@ehu.eus, a.payros@ehu.eus

2 Dpto. Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales, Fac. Educación de Bilbao, Univ. País Vasco UPV/EHU, 48940 Leioa. alvaro.anton@ehu.eus

Palabras clave: geodinámica externa, geomorfología, educación secundaria, libros de texto, profesorado.

Resumen

La acción de los procesos geológicos externos y su influencia en la transformación del relieve es una de las 10 ideas clave sobre el funcionamiento del planeta Tierra que los alumnos deberían tener asimiladas al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria (Predrinaci *et al.*, 2013). El presente trabajo explora cómo se aborda esta materia en la educación secundaria en la Comunidad Autónoma Vasca (CAV), teniendo como referencia el modelo conceptual y los puntos de esta materia que facilitan o dificultan su aprendizaje presentado por Brusi *et al.* (2013). Para ello se ha diseñado una rúbrica para analizar el tratamiento del contenido que hacen los libros de texto, siendo ésta la herramienta didáctica más utilizada por el profesorado. Con el objetivo de tener una visión más realista y amplia, se han realizado encuestas al profesorado para conocer sus hábitos al impartir esta materia. En general se ha prestado especial atención a aquellos puntos de la materia que la hacen más atractiva y accesible para el alumnado, tales como el impacto de los procesos geológicos externos en la sociedad, la contextualización de la materia con el entorno geográfico o la enseñanza de los contenidos de forma práctica o experimental.

Abstract

External geological processes and their impact on the Earth surface transformation is one of the 10 big ideas conforming the basic knowledge of how our planet works that every student should know when finishing her/his Secondary Education (Pedrinaci et al., 2013). This study explores how this subject is approached in Compulsory Secondary Education in the Basque Autonomous Community, taking as a reference the conceptual model and aspects of this subject that facilitate or hinder its learning as described by Brusi et al. (2013). To this end, a rubric has been created to analyze the treatment of contents in textbooks, since this is the teaching tool most used by teachers. With the aim of catching a wider and more realistic perspective, the previous mentioned analysis has been accompanied with a survey filled out by teachers. Based on this survey, we have compiled information about teacher's habits when they are teaching this unit. In general, special attention has been paid to those points that make contents more attractive and accessible for students, such as analysing the impact of external geological processes on society, contextualizing contents with nearby geography or teaching contents in an experimental or practical way.

Referencias

Brusi, D., Roqué, C. y Mas-Pla, J. (2013). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 181-194.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). E*nseñanza de las Ciencias de la Tierra,* 21(2), 117-129.

La película “Vajont. Presa mortal.” como metodología didáctica

The movie “Vajont. Presa mortal. ” as a teaching methodology

R. Martínez-Cantó[1]

1 Centro de estudios Martínez. Calle San Roque, nº 7 - bajo. 24121 Sariegos (León). raquel@cemartinez.es

Palabras clave: metodología didáctica, películas en educación, riesgos geológicos, uso del cine en secundaria, educación secundaria.

Resumen

En 4º de Educación Secundaria Obligatoria suele ser complicado conectar con los alumnos en materias específicas como biología y geología. Una forma de hacer más llevaderas las clases a la vez que se aprende bastante más es el uso del cine como recurso didáctico.

Vajont es una película inspirada en una tragedia real, en los Alpes italianos, donde se construyó la presa más alta del mundo – 163 m de altura – y una zona susceptible de sufrir movimientos de ladera. Los objetivos de trabajar esta película en clase son obtener una visión realista de los riesgos geológicos, valorar la importancia de los estudios geológicos previos ante cualquier construcción y comprender la interacción entre el ser humano y la superficie de la Tierra.

La estructura de las sesiones, así como el trabajo realizado por los alumnos, hace que estos comprendan mejor el papel de la geología en el día a día y en las catástrofes que, a veces, pueden evitarse en gran medida (principalmente disminuir la vulnerabilidad).

Abstract

In 4º of Compulsory Secondary Education it is usually difficult to connect with students in specific subjects such as biology and geology. One way to make classes better while learning much more is the use of cinema as a teaching resource.

Vajont is a film inspired by a real tragedy, in the Italian Alps, where the tallest dam in the world was built – 163 m high – and an area susceptible to hillside movements. The objectives of working this film in class are to obtain a realistic vision of geological risks, assess the importance of previous geological studies before any construction and understand the interaction between the human being and the Earth’s surface.

The structure of the sessions, as well as the work done by the students, makes them better understand the role of geology in the day to day and in disasters that, sometimes, can be largely avoided (mainly decrease the vulnerability).

Geología: de gran desconocida a estrella de la divulgación

Geology: from great unknown to science popularization star

B. Martínez-García[1] y E. Caballero[2]

1 Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro Geo-Q, Mendibile kalea, 48940 Leioa, Bizkaia. blancamaria.martinez@ehu.eus
2 La Mecánica del Caracol - Ciencia, tecnología e historia en Radio Euskadi EITB, C/Capuchinos de Basurto 2, 48013 Bilbao, Bizkaia. lamecanicadelcaracol@eitb.eus

Resumen: Este trabajo presenta un ejemplo de divulgación de la Geología a través del medio radiofónico, centrado en difundir las aplicaciones sociales de las Ciencias de la Tierra al público general. Para ello se están realizando once capítulos que forman parte de la serie "Aplicaciones sociales de la Geología", que tratan aspectos de máximo interés actual entre la población, tales como climatología, medio ambiente, recursos geológicos, patrimonio geológico o geología planetaria. En un intento por mostrar la Geología como una ciencia amena y divertida, a la par que básica para el desarrollo social, en cada capítulo se usan ejemplos de la cultura popular (mitología, historia, música, cine, literatura, series de animación, etc.) que permitan introducir la explicación científica pertinente. Este formato tan flexible lo convierte en un buen modelo a seguir para otras iniciativas similares dedicadas a la divulgación y la didáctica de las Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: divulgación científica, geología aplicada, medio radiofónico, comunicación social.

Abstract: *This paper presents an example of popularization of Geology through the radio, focused on disseminating the social applications of Earth Sciences to the lay public. For this purpose, eleven chapters are being made that are part of the series "Social Applications of Geology", which deal with aspects of current interest among the population, such as climatology, environment, geological resources, geological heritage or planetary geology. In an attempt to show Geology as a fun and entertaining science, at the same time basic to the development of society, examples of popular culture are used in each chapter (mythology, history, music, cinema, literature, animated series, etc.) to introduce the relevant scientific explanation. This flexible format makes it a good role model for other similar initiatives dedicated to the popularization and teaching of Earth Sciences.*

Keywords: *science popularization, applied geology, radio, social communication.*

INTRODUCCIÓN

A pesar de ser una de las cinco ciencias básicas, la Geología es la gran desconocida para el público general. Esta falta de formación básica en Ciencias de la Tierra por parte de la población es la principal causa de la existencia y propagación de interpretaciones erróneas sobre temas de máxima actualidad, como cambio climático, variaciones del nivel del mar o desarrollo sostenible. Este desconocimiento causa también que la sociedad llegue a considerar la Geología como una ciencia poco útil o práctica para el desarrollo humano.

La solución más fácil y rápida es incrementar las actividades de divulgación de la Geología para público general. Los medios de comunicación generalistas son la mejor herramienta para llegar a un gran público, fomentando el interés por las Ciencias de la Tierra. Por supuesto es preciso que esta transmisión de saber la desarrollen especialistas en Geología con experiencia en divulgación y comunicación científica.

En este trabajo se presenta un ejemplo de transmisión del conocimiento geológico empleando una serie de capítulos de radio referentes a las aplicaciones sociales de la Geología, que permiten poner en valor la labor de los geólogos en temas de máximo interés en la actualidad.

DIFUSIÓN DE LA GEOLOGÍA APLICADA A TRAVÉS DE LAS ONDAS DE RADIO

Se han elaborado once capítulos de entre 20 y 30 minutos de duración cada uno que tratan sobre las aplicaciones prácticas de los estudios geológicos (Tabla I), formando parte de la sección "Aplicaciones sociales de la Geología", retransmitidos una vez al mes entre septiembre de 2019 y noviembre de 2020 en el programa "La Mecánica del Caracol", de Radio Euskadi, conducido por Eva Caballero (https://www.eitb.eus/es/radio/radio-euskadi/programas/la-mecanica-del-caracol/).

El objetivo de esta sección es mostrar la Geología como una ciencia transversal y multidisciplinar básica para el desarrollo de nuestra sociedad. Es decir, responder a la pregunta "¿Para qué sirve la geología?" de manera didáctica, divulgativa, amena y divertida.

Para ello en cada capítulo se utilizan ejemplos de la cultura popular que puedan dar lugar a una explicación sobre una o varias aplicaciones sociales de la Geología. En concreto se seleccionan acontecimientos históricos, mitos, leyendas, canciones, series de televisión, dibujos animados u obras literarias que incluyan un contenido geológico y que permitan introducir una explicación científica relacionada

con investigaciones concretas y de máxima actualidad. Por ejemplo, los hechos relatados en la película "El día de Mañana" (The Day After Tomorrow, Roland Emmerich, 2004) permiten introducir de manera directa y cercana los trabajos relativos a paleoclimatología y paleoceanografía.

El empleo de este formato tan distendido e informal busca conseguir dos propósitos: 1) generar una herramienta didáctica que aporte conocimientos relativos tanto a las Ciencias de la Tierra como a temáticas de la "cultura general" (historia, mitología, literatura, música, sociología, etc.) y que pueda ser empleada por los docentes preuniversitarios, y 2) hacer más amena la escucha de los capítulos, de tal manera que los oyentes adquieran conocimientos geológicos sin considerar la Geología como una ciencia aburrida.

Nº	TEMÁTICA	EMISIÓN
1	Disciplinas geológicas	09/2019
2	Climatología	10/2019
3	Oceanografía	11/2019
4	Hidrología de agua dulce	12/2019
5	Medio ambiente	01/2020
6	Recursos geológicos	02/2020
7	Geodinámica interna	05/2020
8	Riesgos geológicos	07/2020
9	Geotecnia	09/2020
10	Patrimonio geológico	10/2020
11	Geología planetaria	11/2020

TABLA I. Capítulos que conforman la serie "Aplicaciones sociales de la Geología".

¿SERIE DE CAPÍTULOS O CAPÍTULOS EN SERIE?

El orden establecido para los capítulos (Tabla I) no es aleatorio, ya que se hacen referencias constantes a los ejemplos vistos en programas previos y se adelantan contenidos de los capítulos sucesivos, de tal manera que quede en evidencia la interdisciplinaridad y el uso de las herramientas geológicas para dar respuesta a diferentes necesidades del ser humano. Así el primer capítulo sirve como introducción de la sección, mostrando con ejemplos de personajes de la cultura popular las diferentes disciplinas geológicas como herramientas de estudio en el ámbito más aplicado de las Ciencias de la Tierra. De este modo en los siguientes capítulos puede aludirse directamente a las disciplinas usadas en cada ejemplo práctico al que se haga referencia, sin complicar las explicaciones con demasiados tecnicismos.

En los siguientes ocho capítulos se hace hincapié en la importancia del conocimiento geológico para el desarrollo de la sociedad, mostrando la transversalidad de la Geología como ciencia que da respuesta a cuestiones referentes a otras disciplinas afines, como biología, historia o arqueología. Las materias a las que se refieren cada uno de estos capítulos se han elegido de acuerdo a los temas de máximo interés actual por parte de la sociedad. Además se hacen continuas alusiones a la importancia del desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente, intentando transmitir cómo los procesos de alteración antrópica del medio natural repercuten directamente en nuestra especie a escala humana, no en el planeta a escala geológica.

El último capítulo se reserva para la Geología planetaria, mostrando la importancia de las técnicas geológicas en la exploración espacial. Así se pueden extrapolar los ejemplos y metodologías explicadas con mayor detalle a lo largo de los capítulos precedentes al estudio de la formación e historia geológica de otros cuerpos celestes, aludiendo a temas de tanta actualidad como la búsqueda de agua o de vida en otros planetas y satélites del Sistema Solar.

RESULTADOS ESPERADOS

Con el desarrollo de esta serie de capítulos se pretende dar a conocer la aplicación práctica de la Geología como ciencia básica para el desarrollo social humano y se espera conseguir una serie de objetivos secundarios inherentes al formato elegido:

i) Mostrar la Geología como una ciencia amena y divertida que se halla en todo lo que nos rodea, incluida la cultura popular, despertando la curiosidad y el interés por las Ciencias de la Tierra entre el público general.

ii) Transmitir el conocimiento geológico con rigor científico, pero evitando tecnicismos complejos, de modo que la sociedad comprenda la importancia de los estudios geológicos en nuestra vida cotidiana sin que el contenido sea demasiado complicado de entender.

iii) Luchar contra los bulos o ideas acientíficas sobre temas de máxima actualidad, tales como cambio climático, variaciones del nivel marino o desastres humanos asociados a eventos geológicos extremos, fomentando el pensamiento crítico de la población.

iv) Mostrar un ejemplo de herramienta didáctica y divulgativa de contenidos geológicos que pueda ser empleada por el profesorado docente preuniversitario como apoyo al currículo formal de Ciencias de la Tierra.

v) Conseguir mayor valorización social del trabajo de los geólogos, para que sea la propia población la que demande más proyectos de investigación geológica, tanto básica como aplicada, y más presencia de la Geología en eventos de divulgación científica.

vi) Visibilizar el papel de las geólogas y normalizar la presencia de mujeres en las Ciencias de la Tierra. Este objetivo se ha fomentado al colaborar sólo geólogas especialistas en diferentes disciplinas en el desarrollo de los capítulos. Este formato se ha consensuado con numerosos compañeros que han participado en la elaboración de los capítulos, pero que han decidido mantenerse en segundo plano y permitir que sólo se escuchen las voces de sus compañeras mujeres.

vii) Intentar promover vocaciones científicas en las Ciencias de la Tierra, al mostrar a los más jóvenes salidas profesionales relacionadas con la Geología.

¿UNA IMAGEN VALE MÁS QUE MIL PALABRAS?

En ciencias, en general, y en Geología, en particular, es casi obligatorio el uso de imágenes (fotografías, esquemas, dibujos, diagramas, etc.) que acompañen y complementen las explicaciones. Esta ausencia de la imagen, *a priori*, supondría una importante limitación del medio radiofónico como vehículo de transmisión del conocimiento geológico. Sin embargo, en realidad es una de sus mayores virtudes.

La ausencia de apoyo visual obliga a realizar una buena narración que apele a la imaginación de los oyentes (San Martín, 2017). Es preciso usar frases claras, cortas y sencillas, un lenguaje accesible y comprensible, sin divagaciones, y enfatizar las ideas más importantes del discurso (Gadda, 2006; Fernández Bayo *et al.*, 2018). Y una excelente manera de captar la atención del público es relacionar los conceptos científicos con ejemplos de la vida cotidiana que interesen y afecten directamente a los oyentes (San Martín, 2017; Fernández-Bayo *et al.*, 2018).

Esta flexibilidad a la hora de explicar las temáticas científicas utilizando la imaginación del público es una de las principales ventajas de la radio frente a otros medios de comunicación como vehículo de transmisión del conocimiento científico, pero no es la única. La radio es el único medio de comunicación compatible con la realización simultánea de cualquier otra actividad cotidiana (p.ej., conducir, cocinar o hacer deporte), ya que no exige una atención exclusiva o excluyente, sirviendo de acompañamiento al receptor en multitud de lugares y momentos diferentes. Esta ventaja permite que el mensaje científico llegue a gran número de oyentes y a una amplia diversidad poblacional, incluyendo estratos sociales y espectros de edad mucho más amplios que otros medios escritos o audiovisuales (Gadda, 2006; San Martín, 2017).

Por ello son cada vez más comunes las iniciativas de divulgación de la Geología a través de la radio que consiguen aglutinar miles de oyentes. Ya sea en formato podcast independiente, como Geocastaway (https://geocastaway.com/) o la serie Geology Rocks: Exploring the Earth Sciences de Fun Kids (https://www.funkidslive.com/podcast/geology-rocks-exploring-the-earth-sciences/#), o en formato clásico, como las Master Class de Nahúm Méndez en Onda Cero (https://www.ondacero.es/buscador?searchTerm=Nah%C3%BAm%20m%C3%A9ndez) o la serie "Breve Historia de la Tierra" de la Mecánica del Caracol (https://mujeresygeologia.wixsite.com/mujeresygeologia/breve-historia-tierra).

CONCLUSIONES

La participación en un programa de radio ampliamente conocido permite una importante difusión de las aplicaciones sociales de la Geología, llegando a un público potencial muy amplio y diverso.

El formato consistente en una serie de capítulos enlazados entre sí, así como la utilización de ejemplos comunes presentes en la cultura popular para introducir la información científica, se ha revelado como una importante herramienta para transmitir conocimiento basada en el rigor científico, que muestra la Geología como una ciencia amena, divertida y cotidiana.

Esta serie de capítulos puede ser empleada como modelo a seguir por otras iniciativas similares basadas en la divulgación y didáctica de las Ciencias de la Tierra.

AGRADECIMIENTOS

Esta serie no habría sido posible sin la inestimable ayuda de una larga lista de compañeros y compañeras que han aportado ideas y bibliografía, revisado los guiones y participado en la grabación de los capítulos.

REFERENCIAS

Fernández Bayo, I., Mecha, R. y Milán, M. (2018): *La comunidad científica ante los medios de comunicación. Guía de actuación para la divulgación de la ciencia*. Univ. Complutense de Madrid, https://www.ucm.es/data/cont/docs/1334-2018-05-04-Gu%C3%ADa%20de%20actuaci%C3%B3n%20WEB.pdf

Gadda, C.E. (2006): *The radio. En: Communicating science, a scientist's survival kit* (G. Carrada, ed.). EC,https://www.livingknowledge.org/fileadmin/Dateien-Living-Knowledge/Dokumente_Dateien/Toolbox/LK_C_Communicating_Science_Kit.pdf

San Martín, F.J. (2017): *La divulgación científica a través de la radio. Estudio comparativo entre diferentes modelos.* Tesis Doctoral, Univ. País Vasco, 992 p.

Geology rocks: la Geología con música (Heavy Metal) entra

Geology rocks: Geology with (Heavy Metal) music you shall learn

B. Martínez-García[1], J. Mendicoa[2] e I. Guede[3]

1 Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro Geo-Q, Mendibile kalea, 48940 Leioa, Bizkaia. blancamaria.martinez@ehu.eus
2 IES Bernardino de Escalante, C/Duque de Ahumada, 5, 39770 Laredo, Cantabria. jmendicoal01@educantabria.es
3 Dpto. Química Aplicada, Facultad de Química, Paseo Manuel Lardizábal, 3, 20018 Donostia, Gipuzkoa. iranzulaura.guede@ehu.eus

Palabras clave: divulgación, geología, música, humor, Semana de la Ciencia.

Resumen

En el año 2015 Manuel González y Natalia Ruiz crearon la "Astrocopla", una manera novedosa, amena y divertida de divulgar ciencia al público en general. Se trata de versionar canciones de la copla tradicional con letras referentes a la investigación más actual en astrofísica. Desde entonces este nuevo formato se ha revelado como una herramienta divulgativa de lo más eficiente, siendo ampliamente demandada por la sociedad para aumentar su conocimiento sobre los secretos del Universo. Este éxito hizo que nos planteásemos comprobar su utilidad en la divulgación de la Geología, considerada habitualmente por el público general como una de las más inaccesibles y desconocidas de las ramas científicas tradicionales. Por eso cualquier novedad didáctica y divulgativa que pueda cambiar este concepto de las Ciencias de la Tierra es más que bienvenida. Para ello decidimos probar este nuevo formato en el mejor foro posible, los monólogos científicos que conforman la actividad Zientzia Club, enmarcada dentro de la Semana de la Ciencia / Zientzia Astea del País Vasco, en sus ediciones de 2018 y 2019. El formato que hemos llevado a cabo es muy sencillo: una corta presentación que explique los conceptos geológicos más relevantes de los que trata la actuación, culminada por una canción que haga referencia a los mismos. El estilo musical elegido es el Heavy Metal, principalmente en su variante conocida como Power Metal, ya que sus estribillos cortos y muy repetitivos nos permiten hacer hincapié numerosas veces en el concepto científico principal o las palabras geológicas clave que pretendemos sean recordadas por el público. Además una de las novedades presentadas es la utilización de música de piano en directo sobre el escenario a cargo de Jone Mendicoa. En estos dos años hemos versionado tres canciones muy conocidas dentro de este género y hemos conseguido una interacción directa con el público, que ha coreado los estribillos y acompañado la música con palmas, realizando comentarios muy favorables con respecto a nuestras actuaciones, tanto personalmente como a través de las redes sociales. Por tanto versionar canciones conocidas con letras geológicas se ha manifestado como un formato muy útil para la divulgación de la Geología que puede ser tomado como modelo a seguir en otros eventos similares de divulgación científica.

Abstract

In 2015, Manuel González and Natalia Ruiz created the "Astrocopla", a new entertaining and funny way to popularize science among the general public. These are song covers of the traditional Spanish copla with lyrics referring to the most current research in astrophysics. From then onwards, this new format has revealed as a very efficient popularization tool, being much in demand by society to increase their knowledge about the secrets of the Universe. This success led us to try its usefulness in the popularization of Geology, which is usually perceived by the lay public as one of the most unapproachable and unknown among the traditional sciences. Therefore, any educational and informative novelty that can help change this perception of Earth Sciences is more than welcome. Thus, we decided to try this new format in the best possible forum, the scientific monologues of the Zientzia Club conducted in 2018 and 2019, which are organized by the University of the Basque Country within the Science Week / Zientzia Astea. The format we have conducted is very simple: a short presentation explaining the most relevant geological concepts that the show is about, culminated by a song that reinforces them. Heavy Metal, in particular Power Metal, has been chosen, because it consists of short and repetitive choruses, which allow us to repeatedly highlight the main scientific concept or the geological Keywords that we expect the public to internalize. Moreover, one of the novelties included is the use of live piano music on the stage by Jone Mendicoa. In these two years, we have versioned three well-known songs within the scope of Heavy Metal and we have achieved a direct interaction with the public, which has chanted the choruses and accompanied the music with palms, making very favourable comments regarding our show, both personally and through social media. In conclusion, covering well-known songs with geological lyrics has revealed as a very useful tool for the popularization of Geology that can be taken as a role model in other similar events of popular science.

Geocharlas: divulgación de la Geología con perspectiva de género

Geocharlas: Geology outreach with a gender perspective

B. Martínez-García[1,2], A. Ruiz-Constán[1,3] y M. Chamizo[1,4]

1 Comisión Mujeres y Geología, Sociedad Geológica de España. Pz. de la Merced s/n, Salamanca. mujeresygeologia@gmail.com
2 Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro Geo-Q, Mendibile kalea, 48940 Leioa, Bizkaia. blancamaria.martinez@ehu.eus
3 Instituto Geológico y Minero de España, Urbanización Alcázar del Genil 4, 18006 Granada. a.ruiz@igme.es
4 UTE-Planageo, IGME, LNEG, Impulso, S.A., c/La Calera, 128760 Tres Cantos (Madrid). manu.chamizo@hotmail.com

Palabras clave: Ciencias de la Tierra, igualdad de género, impacto social de la ciencia.

Resumen

¿Es posible divulgar Geología durante todo el año y, a la vez, visibilizar el papel de las mujeres en esta ciencia? Así surgió *Geocharlas*: una red de especialistas en diversas ramas de la Geología repartidos por toda la geografía española, que ponen su conocimiento al servicio de la sociedad a través de una oferta pública de actividades (https://mujeresygeologia.wixsite.com/mujeresygeologia/geocharlas). Charlas, talleres y salidas de campo gratuitas que permiten mostrar la Geología como una ciencia útil para la sociedad. Además la gran proporción de mujeres (~60%) permite llevar a las aulas ejemplos actuales de geólogas, que pueden constituir referentes científicos para niñas y jóvenes. Desde que *Geocharlas* se puso en marcha en noviembre de 2018, más de 70 profesionales se han sumado a ella y más de 4000 personas han asistido a sus actividades. El público de *Geocharlas* engloba personas de edad y formación diversa: estudiantes de Primaria, Secundaria, Bachillerato y adultos de asociaciones culturales. A pesar de la buena acogida inicial, aún quedan rincones del territorio nacional donde *Geocharlas* no tiene presencia o donde la oferta de actividades es muy limitada. El reto futuro consiste en ilusionar a más profesionales de la Geología para que se unan a esta red de divulgación. No se ama (ni se solicita) lo que no se conoce, y en nuestra mano está que cualquier colectivo que demande una charla sobre Geología encuentre un lugar de referencia donde hacerlo. Es nuestro deber facilitar el acceso a los avances científicos, sin distinción de edad, género o condición social, máxime en una ciencia tan desconocida como la Geología. Y ya lo estamos haciendo los 366 días del año. Esta actividad cuenta con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia e Innovación.

Abstract

Is it possible to communicate Geology throughout the year and, at the same time, make visible the role of women in this science? That is how Geocharlas emerged: a network of specialists in different geology branches spread throughout the Spanish geography that put their knowledge at the service of society through a public offer of activities (https://mujeresygeologia.wixsite.com/mujeresygeologia/geocharlas). Free talks, workshops and field trips that show Geology as a useful science for society. In addition, the large proportion of women (~60%) can bring current examples of female geologists to the classroom, which may constitute scientific role models for girls and young students. Since Geocharlas was launched in November 2018, more than 70 professionals have joined it, and more than 4000 people have attended its activities. Geocharlas audience includes people of diverse age and education: Primary, Secondary and High School students and adults of cultural associations. Despite the good beginning, there are still areas of the national territory where Geocharlas has no presence or where the activity offer is very limited. Our challenge is to encourage more Geology professionals to join this outreach network. It is not loved (or demanded) what is not known and it is in our hands to be a reference point for those who demand a geology talk. It is our duty to facilitate access to scientific advances, regardless of age, gender or social status, mainly in a science as unknown as Geology. And we are already doing it during the 366 days of the year. This activity has the collaboration of the Spanish Foundation for Science and Technology - Ministry of Science and Innovation.

"Mujeres con los Pies en la Tierra": abordando la desigualdad de género en la Paleontología

"Mujeres con los Pies en la Tierra": addressing gender asymmetries in Palaeontology

I. Menéndez[1, 2, 3], A.R. Gómez-Cano[1, 4], P.M. Carro-Rodríguez[1, 2, 3], P. López-Guerrero[1], A. Oliver[1], S. Gamboa[1, 2, 3], E. Cuesta[1] y D. Sanz-Pérez[1, 2, 3]

1 Asociación Mujeres con los Pies en la Tierra. Fac. Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, C/José Antonio Novais 12, 28040 Madrid. irismene@ucm.es; ar.gomezcano@transmittingscience.org; patcarro@ucm.es; palomalopez@geo.ucm.es; adriaoli@ucm.es; saragamb@ucm.es; elenacuestaf@gmail.com; dasanz01@ucm.es; mujerestierrampt@gmail.com

2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología (GEODESPAL), Fac. Ciencias Geológicas, Universidad Complutense.

3 Dpto. Geología Sedimentaria y Cambio Medioambiental, Instituto de Geociencias (UCM-CSIC), Madrid.

4 Transmitting Science, C/Gardenia 2 - Urb. Can Claramunt, 08784 Piera (Barcelona).

Resumen: La asociación "Mujeres con los Pies en la Tierra" surge de la necesidad de abordar asuntos sobre la discriminación que sufrimos las mujeres en entornos científicos y académicos. Los principales problemas que propician la discriminación hacia las científicas son: (1) techo de cristal, (2) ausencia de referentes, (3) falta de transparencia en los criterios de evaluación, (4) opacidad en los procesos de selección/promoción, (5) invisibilización y (6) sobrecostes personales, sobre todo relacionados con la maternidad y la crianza. Para visibilizar, evaluar y proponer soluciones a estas problemáticas llevamos a cabo actividades de difusión y concienciación. Entre ellas, hemos elaborado una visita guiada al yacimiento paleontológico de Somosaguas (Madrid) resaltando los hitos más relevantes de diferentes científicas. Otra de nuestras actividades divulgativas ha sido la creación del juego de mesa "Científicas Reunidas", donde pretendemos ampliar el conocimiento de los jugadores sobre científicas en Ciencias Naturales. También participamos en mesas redondas y realizamos investigaciones para valorar la posición de la mujer en la academia. Con estas actividades pretendemos dar a conocer al público general las aportaciones que han tenido las mujeres en ciencia a lo largo de los años y que durante mucho tiempo han quedado en las sombras.

Palabras clave: mujer y ciencia, discriminación, feminismo, geología, STEM.

Abstract: *The association "Women with their Feet on the Ground" arises from the need to address discrimination issues about women in the scientific and academic environments. Main problems towards scientists are: (1) glass ceiling, (2) lack of references, (3) absence of transparency in evaluation criteria, (4) opacity in selection/promotion processes, (5) invisibility and (6) personal costs, especially related to motherhood and nursing. To make these problems visible, evaluate them and propose solutions, we carry out dissemination and awareness-raising activities. We have prepared a guided visit to the paleontological fossil site of Somosaguas (Madrid), highlighting the most relevant achievements of different women scientists. Another outreach activity has been the creation of the board game "Científicas Reunidas", whose aim is to broaden the knowledge of women in the natural sciences. We also participate in round tables and research to value the position of women in Academia. With these activities we try to make known to the general public the contributions that women have made in science over the years, which have long remained in the shadows.*

Keywords: *women in science, discrimination, feminism, geology, STEM.*

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la carrera investigadora de cualquier mujer surgen numerosas situaciones de discriminación, muchas de las cuales ni siquiera se identifican como tal. Es después, al compartir las experiencias con otras mujeres, cuando se puede identificar que estos problemas afectan de manera general a muchas mujeres, independientemente de la institución, región o país en el que se encuentren. La asociación "*Mujeres con los Pies en la Tierra*" surge de la necesidad de crear espacios de confianza para tratar asuntos sobre discriminación en entornos científicos y académicos. En este contexto empezamos a identificar los principales problemas que propician la existencia de discriminación hacia las científicas, tales como: techo de cristal, ausencia de referentes, falta de transparencia en los criterios de evaluación, opacidad en los procesos de selección y promoción, invisibilización y sobrecostes personales, sobre todo relacionados con la maternidad y la crianza. Con la intención de poner en conocimiento algunas de estas problemáticas, en 2017 comenzamos a organizar actividades de difusión y divulgación acerca del importante papel de la mujer en la paleontología. Más adelante ampliamos las actividades para visibilizar a la mujer en las Ciencias Naturales en general. Además realizamos estudios cuantitativos sobre la representación de

la mujer en la ciencia, presentando los resultados en diversos congresos científicos. Finalmente decidimos constituirnos como asociación, para que otras personas interesadas puedan unirse y sigamos organizando actividades que pongan en valor a la mujer en las Ciencias Naturales.

ACTIVIDADES Y MATERIAL DESARROLLADO

Desde el año 2017 hemos desarrollado una serie de actividades de divulgación que repetimos a lo largo del año, especialmente durante la Semana de la Ciencia y en el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia. También participamos activamente en eventos científicos y mesas redondas donde se discute cómo se puede mejorar la situación actual. Además desarrollamos material divulgativo sobre mujeres en Ciencias Geológicas que repartimos después de cada actividad y que puede ser descargado de manera gratuita en nuestro blog "Mujeres con los pies en la Tierra".

Paleopaseo Feminista

Entre las actividades dirigidas al público general hemos realizado una visita guiada al yacimiento paleontológico de Somosaguas, en la Comunidad de Madrid. Esta visita centra cada una de las paradas en una de las investigaciones llevadas a cabo por científicas vinculadas al proyecto paleontológico de Somosaguas o científicas (históricas y actuales) relevantes en paleontología, geología o en el estudio de la evolución, cuyos trabajos son base de muchas de las investigaciones desarrolladas por el equipo científico que trabaja en este yacimiento (Fig. 1A). Al finalizar la actividad entregamos chapas y folletos de geólogas, paleontólogas y naturalistas, con el objetivo de aumentar las referentes en estos campos científicos, y un *fanzine* donde se recogen las problemáticas a las que se enfrentan las mujeres en este campo (Fig. 1B).

Científicas Reunidas

Hemos creado un juego de mesa titulado "Científicas Reunidas". Se trata de un juego de tipo "preguntas y respuestas", estructurado en seis categorías que ponen a prueba nuestros conocimientos sobre científicas (Figs. 1C y 1D). Actividades de este tipo nos permiten acercarnos a audiencias de todo tipo para dar visibilidad a científicas y promover referentes, a la vez que evidencian las cifras y datos del problema existente.

Participación en eventos científicos

Además de las actividades dirigidas a público general consideramos muy importante dar a conocer los datos y situaciones en el entorno científico (Fig. 2). Por ello participamos activamente en mesas redondas y realizamos ponencias sobre problemas de la mujer en la ciencia. Entre otros hemos contribuido en el simposio "Women in Science" de 2017 en el congreso de la *European Association of Vertebrate Palaeontologists* (EAVP). También cabe destacar la participación en la jornada que tuvo lugar en el Congreso de los Diputados en julio de 2019, en la que fuimos invitadas para explicar los problemas relacionados con la mujer en la ciencia.



FIGURA 1. A) Imágenes del Paleopaseo Feminista. B) Libretos o fanzines repartidos durante las actividades. C) Fotografía de la partida de "Científicas Reunidas". De izquierda a derecha: biografías, geología, números, biología. D) Detalle de las fichas del juego, historia y cultura general.

Además hemos desarrollado estudios cuantitativos para evaluar la representación de la mujer en congresos y yacimientos de paleontología, especialmente en cargos de alta responsabilidad (Carro-Rodríguez *et al.* 2019; López Guerrero *et al.* 2019), evidenciando un claro sesgo que, en muchas ocasiones, pasa desapercibido.



FIGURA 2. A) Parte del colectivo "Mujeres con los pies en la Tierra" en el congreso internacional de la Palaeontological Association de diciembre de 2019. B) Póster presentado en las Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología celebrado en octubre de 2019.

IMPACTO Y EVALUACIÓN

Desde nuestra experiencia en la difusión del papel de las científicas, en especial, en el área de Paleontología, hemos registrado un paulatino aumento de la participación que, además, integra a personas con diferentes motivaciones y que provienen de ámbitos muy diferentes. Cabe destacar que en la mayoría de las actividades que hemos realizado la audiencia estaba conformada en su mayor parte por mujeres. Además hemos observado un sesgo de edad entre la audiencia, con una participación notablemente menor de adolescentes y jóvenes en edad universitaria con respecto a otros grupos de edad. Es posible que el conocido diagrama "en tijera", que muestra una mayor representación de las mujeres en los primeros estadios de las carreras científica y académica que mengua drásticamente tras el doctorado, dé lugar a una falsa sensación de equidad entre el alumnado más joven. Las actividades dirigidas a una audiencia más específica, y en concreto las desarrolladas en ambientes académicos y científicos, han suscitado interés tanto en hombres como en mujeres, pero desde perspectivas diferentes. Las mujeres muestran mayor interés por corroborar los resultados, así como por crear y fomentar redes de apoyo, mientras que el interés de los hombres deriva del desconocimiento previo de la situación o de los datos que proporcionamos en los trabajos.

Todas estas actividades han resultado altamente constructivas, tanto para las personas participantes como para nosotras. Consideramos importante mantener actividades dirigidas al público general al tiempo que mantenemos una labor de difusión y divulgación de la situación de las mujeres dentro del ámbito profesional académico y científico. De la misma manera, creemos que es necesaria la implementación de protocolos, organismos y espacios de comunicación que permitan abordar los problemas de carácter social que tienen lugar en las instituciones académicas y científicas.

CONCLUSIONES

El desarrollo de estas actividades ha permitido dar a conocer a científicas en las Ciencias Naturales, especialmente en Paleontología, visibilizar su trabajo de campo y poner en valor sus estudios y descubrimientos, fomentando las vocaciones científicas en las nuevas generaciones. Además nuestros trabajos cuantitativos que evalúan la participación de la mujer en eventos científicos manifiestan la necesidad de incluir la perspectiva de género en el ámbito académico mediante la publicación de datos de participación de mujeres en charlas, inscripciones y ponencias invitadas a congresos para visibilizar e identificar posibles sesgos. Estas actividades ayudan a desarrollar una conciencia sobre este problema en el colectivo científico.

AGRADECIMIENTOS

La Universidad Complutense de Madrid ha financiado a I.M. y S.G. (CT27/16-CT28/16), así como a P.M.C.R. (CT42/18-CT43/18). Este trabajo se ha financiado a través del Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades (proyecto PGC2018094955-A-I00).

REFERENCIAS

Carro-Rodríguez, P.M., Cuesta, E., Ríos, M., Oliver, A., Gamboa, S., Domingo, L., Menéndez, I., Hernández-Ballarín, V. y Gómez Cano, A.R. (2019): *Women in Palaeontology: how are they represented at meetings? 63rd Palaeontological Association Annual Meeting*. Valencia, Spain.

López-Guerrero, P., Gómez Cano, A., Carro-Rodríguez, P.M., Domingo, L., Gamboa, S., Menéndez, I., Ríos, M., Sualdea, L.R. y Oliver, A. (2019): *Roles y género en el yacimiento Paleontológico de Somosaguas. Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*. Granada, España.

Tierra de Temblores: un recurso didáctico sobre geología de terremotos

Earthquake Land: An Outreach Resource on Earthquake Geology

M. Ortuño[1], E. Masana[1], R. Pallàs[1], M. Ferrater[1, 2] y J. Bordonau[1]

1 Grupo RISKNAT, Institut Geomodels, Universitat de Barcelona, c/Martí i Franquès s/n, Barcelona. maria.ortuno@ub.edu
2 Instituto ESO-Bachiller Manel de Cabanyes, Av. Francesc Macià 110-114, Vilanova i la Geltrú, Barcelona.

Palabras clave: paleosismología, educación sísmica, terremoto de Lorca, aprendizaje experiencial

Resumen

Concienciar a la población sobre los terremotos que potencialmente les pueden afectar es uno de los mayores retos para Protección Civil y para la comunidad científica que trabaja en la reducción del riesgo sísmico. Presentamos una guía didáctica asociada a un corto documental sobre geología de terremotos elaborado por el grupo RISKNAT (UB) y *Paral·leles Audiovisuales*, con la finalidad de incrementar la sensibilidad al peligro sísmico del alumnado de Educación Primaria y Secundaria. La guía pretende ser de utilidad en el currículum docente y en el espacio de tutorías que trabajen simulacros de terremoto. Se estructura siguiendo el guion del documental: 1) Concienciación sobre el riesgo sísmico mediante la alusión a sismos recientes en las noticias o más antiguos en las huellas que éstos dejaron en los edificios y monumentos; 2) Exploración de las causas de los sismos mediante juegos de rompecabezas de las placas tectónicas y de los bloques tectónicos de la península ibérica, incluyendo la aplicación de esfuerzos y la observación de los movimientos resultantes; 3) Comprensión del ciclo sísmico mediante la llamada "máquina de los terremotos" y su impacto en el paisaje; 4) Observación de la amplificación del movimiento del terreno relacionada con cambios en los materiales mediante el uso de materiales accesibles, como bizcocho y gelatina; 5) Concienciación sobre el riesgo sísmico mediante la observación del paisaje y el registro geológico en trincheras y afloramientos naturales.

Abstract

Sensitize people to the exposure to potential earthquakes is a major challenge for the Civil Protection and the scientific community devoted to earthquake risk reduction. To help increase the seismic awareness in the Iberian Peninsula, we completed a teacher's guide (for Primary and Secondary Schools) linked to a short documentary on earthquake geology produced by the RISKNAT group (UB) and Paral·leles Films. The guide aims to be useful as a curricular activity and as a support for earthquake drills during mentoring. It is structured following the script of the short documentary: 1) Becoming aware of the seismic risk by recalling the consequences of recent earthquakes in the news and older ones in the imprints left in buildings and monuments; 2) Exploring the causes of earthquakes through playing with plate tectonics and the Iberian Peninsula tectonic blocks puzzles, including the experience of applying forces and observing the resulting relative movements; 3) Understanding the seismic cycle with the "earthquake machine" and its impact in the landscape; 4) Observing ground motion amplification related to changing materials by using accessible materials, such as gelatin and cake; 5) Seismic risk awareness though the observation of the seismic landscape and the geological record in trenches and natural exposures.

Referencias

RISKNAT (2020). *Tierra de Temblores, un corto documental sobre geología de terremotos*, disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=4ZrmgHA6y1g

Contar la geología a través de este y otros mundos. ¿Cómo empezar a difundir la ciencia desde 0?

Telling Geology through this and other Worlds. How to start in science outreach from 0?

L.M. Parro[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. lmparro@ucm.es

Palabras clave: Geología, técnicas de divulgación, medios de comunicación, formación, experiencia.

Resumen

Pese a la baja percepción social que existe comúnmente de la Geología (y de todos sus estudios afines), es tanto posible, como necesario y motivador, comunicar y divulgar esta ciencia en distintos medios que puedan llegar a los diferentes sectores que conforman nuestra sociedad. Asimismo dicha transferencia de conocimiento puede realizarse a diferentes escalas y niveles de detalle. Y gracias a que la Geología es una ciencia altamente visual y diversa, que abarca el estudio de la Tierra y de otros mundos, su difusión puede adaptarse a multitud de canales y soportes de divulgación científica: desde las redes sociales y soportes digitales hasta la televisión, radio, libros de divulgación y artículos de prensa, charlas presenciales, actividades experimentales, concursos de divulgación, salidas al campo, etc. Partiendo de esta realidad, y en base a la experiencia personal propia tras varios años de dedicación y aprendizaje en comunicación científica, se mostrarán ejemplos siguiendo tres premisas básicas para desarrollar la actividad divulgativa: formación, experimentación y perfeccionamiento. Los ejemplos y métodos de divulgación expuestos podrán servir de modelo para elaborar futuras actividades propias, iniciarse en el mundo de la divulgación científica, o también como guía para adaptarse al variado programa de iniciativas de divulgación que existen actualmente en nuestro país.

Abstract

Despite the low social perception that commonly exists about Geology (and all its related studies), it is possible, as well as necessary and motivating, to communicate and promote this science in different media that can reach the different sectors that make up our society. Likewise, such transfer of knowledge can be done at different scales and levels of detail. Thanks to the fact that Geology is a highly visual and diverse science that encompasses the study of the Earth and other worlds, its dissemination can be adapted to a multitude of channels and supports for the science outreach: from social networks and digital supports to television, radio, books and press articles, lectures and talks, experiments, outreach contests, field trips, etc. Starting from this reality, and based on my own personal experience in scientific communication after several years of dedication and learning, I present examples following three basic premises for the development of outreach activities: training, testing and improving. The examples and methods of outreach presented may serve as a model for developing future activities on their own, to start in the world of scientific outreach, or also as a guide to adapt to the varied program of outreach initiatives that currently exist in our country.

Puesta en valor de la geología del Camino de Santiago: Camino Francés a su paso por Aragón

Highlighting the geology of St. James Way: The French Way on its path through Aragón

A. Pascual[1], B. Martínez-García[2] y A. García-Artola[1]

1 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Fac. Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apdo. 644, 48080 Bilbao. ana.pascual@ehu.eus; ane.garcia@ehu.eus

2 Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro Geo-Q, Mendibile kalea, 48940 Leioa, Bizkaia. blancamaria.martinez@ehu.eus

Resumen: Este trabajo describe, para los peregrinos que atraviesan el Camino de Santiago francés a su paso por Aragón, las características geológicas de aquellos terrenos que pisan, así como la geología que observan en el paisaje. Se han establecido 10 paradas que permiten conocer las rocas, las unidades geológicas, la geomorfología y la historia de la formación de los Pirineos: (1) Somport, materiales del Pérmico y el Pirineo axial; (2) Rioseta, el Carbonífero y el Cretácico-Paleoceno, las Sierras Interiores; (3) Canfranc estación, el último Paleozoico y la deformación de las rocas mesozoicas; (4) Villanúa, la cueva de las Güixas y el karst eoceno en una megacapa; (5) Morrenas laterales y frontales de las glaciaciones cuaternarias bajo Aratorés; (6) Castiello de Jaca y el flysch del Eoceno; (7) Jaca: geomorfología fluvial y los icnofósiles del flysch; (8) Monte Cornaraña y la visión de la depresión intrapirenaica, la canal de Berdún; (9) Mianos, cárcavas en margas del Eoceno superior y geomorfología de vertientes; (10) Ruesta y el paso Eoceno-Oligoceno de paleoambientes marinos a continentales.

Palabras clave: geología, Camino de Santiago Francés, Aragón.

Abstract: *This work explains to the pilgrims using the French Way of St. James on its path through Aragon, the geological characteristics of the materials they walk on. It also describes the geology of the landscape they observe. We have established 10 stops to help understand the rocks, geological units, geomorphology and geological history of the Pyrenees: (1) Somport, Permian materials from the Axial Zone of the Pyrenees; (2) Rioseta, the Carboniferous and the Cretaceous-Paleocene boundary, Inner Ridges; (3) Canfranc station, the last Paleozoic and deformation of Mesozoic rocks; (4) Villanúa, the Güixas cave and the Eocene karst in a megabed; (5) Aratorés lateral and frontal moraines of the Quaternary glaciations; (6) Castiello de Jaca and the Eocene flysch; (7) Jaca: fluvial geomorphology and the flysch ichnofossils; (8) Cornaraña Mountain and the Intrapirenaic Depression, the Canal de Berdún; (9) Mianos, gullies from the Upper Eocene marls and slope geomorphology; (10) Ruesta and the Eocene-Oligocene transition from marine to terrestrial paleoenvironments.*

Keywords: *Geology, St. James Way -The French Way, Aragón.*

INTRODUCCIÓN

Según la tradición cristiana, la tumba de Santiago en Galicia fue descubierta en el año 820, extendiéndose a partir de ahí el culto al Apóstol y la peregrinación a Santiago de Compostela. En una primera etapa esta peregrinación se entendía en clave espiritual, como una petición a las reliquias del Santo de protección en la vida. Sin embargo, hoy en día, además de esta faceta espiritual, miles de peregrinos acuden a Santiago de Compostela empujados por diversos motivos, ya sean culturales, turísticos o deportivos. Así año tras año aumenta el número de personas que realizan la peregrinación: 3501 en 1988, 30126 en 1998, 125141 en 2008 y 327378 en 2018 (https://oficinadelperegrino.com/estadisticas/).

En el último año de censo completo (2018), fueron 186199 (56,88%) los peregrinos que siguieron el Camino Francés, que entra en España por dos puntos principales: Roncesvalles y Somport. Este Camino sigue el trayecto del sol de este a oeste y de noche el rastro marcado por la Vía Láctea, de ahí la apelación de "Camino de las estrellas". Fue declarado Primer Itinerario Cultural Europeo por el Consejo de Europa en 1987 y Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1993. A lo largo del mismo afloran todo tipo de rocas con distintas edades, desde el Paleozoico al Cuaternario. Sin embargo, son escasas las guías donde aparezca reflejada la riqueza geológica que pisan los peregrinos. Así Jiménez-Martínez y Díaz-Martínez (2013) describen la naturaleza y procedencia de las rocas de los monumentos históricos de Galicia en las etapas del Camino entre O Cebreiro y Santiago de Compostela. Sáenz-Ridruejo (1999, 2009) describe el patrimonio geológico del Camino de Santiago, aunque muchos de los puntos a observar se encuentran muy alejados del Camino, hasta 12 km.

Los peregrinos que caminan cargados con sus pertenencias no suelen alejarse del Camino señalado oficialmente con las flechas amarillas. Por esto este trabajo pretende acercar al caminante las características geológicas del Camino que

pisa, así como la geología inmersa en el paisaje que contempla en su recorrido.

LOCALIZACIÓN

El Camino de Santiago que pasa por Aragón es el final de la Vía de Arlés o Vía Tolosana, que fue la ruta más utilizada en las primeras etapas de peregrinación, hasta que se creó el hospital de Roncesvalles en 1132 (Pombo, 2015). Penetra en España por el puerto de Somport y desciende los Pirineos en dirección N-S hasta Jaca siguiendo el curso del río Aragón, torciendo posteriormente hacia el oeste (Fig. 1). A este ramal del Camino Francés se le denomina Camino Aragonés, y en las guías clásicas del Camino aparece estructurado en cuatro etapas (Pombo, 2015): Somport-Jaca, Jaca-Arrés, Arrés-Ruesta y Ruesta- Sangüesa (Navarra).

La primera etapa, Somport-Jaca, discurre paralela a la Ruta Geológica Transpirenaica (http://rgtp.geolval.fr) en su tramo Aspe-Alto Aragón. Ésta presenta una serie de paneles explicativos sobre la historia geológica del Pirineo Occidental, que se hallan muy deteriorados, como ocurre con varias de las principales rocas de la ruta expuestas en Jaca, junto al Camino Aragonés.

METODOLOGIA

Se ha realizado el Camino Aragonés siguiendo la guía del Camino de Pombo (2015), estableciendo 10 paradas (Fig. 1). Éstas permiten observar la geomorfología del Camino, las rocas más representativas y las diferentes unidades geológicas. Una pequeña explicación adicional sobre algunos términos geológicos utilizados, tectónica y cambios paleoambientales permite además conocer brevemente la evolución geológica de los Pirineos.

RECORRIDO GEOLOGICO A LO LARGO DEL CAMINO DE SANTIAGO ARAGONES

1.- Somport: 42º47'43.97" N - 0º31'30.66"O, altitud 1633 m. El Monumento al Peregrino, punto oficial del comienzo del Camino, se encuentra sobre lutitas y areniscas rojas de la serie de Somport de la base del Pérmico, interpretadas como depósitos de llanuras lutíticas de sistemas aluviales distales de clima cálido (Teixell *et al.*, 1994). Bajando el puerto afloran las calizas arrecifales de la Foratata (Ríos-Aragüés *et al.*, 1990) o calizas con corales del Tobazo (Teixell *et al.*, 1994), del Devónico Medio. Desde el punto de vista estructural la zona se sitúa en el Pirineo Axial, donde se encuentran los materiales más antiguos, que han sufrido tanto la orogenia Varisca como la Alpina o Pirenaica.

2.- Rioseta: 42º46'35.98" N - 0º30'45.77"O, altitud 1377 m. Aquí afloran calizas negras masivas o tableadas y areniscas del Carbonífero (Ríos-Aragüés *et al.*, 1990). Además una visual sobre el campamento militar permite ver, enfrente del Camino, calizas del Devónico y sobre ellas calizas masivas blancas y grises, así como calizas arenosas y areniscas margosas de Marboré, ambas del Cretácico. Coronando éstas se observan calizas del Paleoceno. Estas rocas muy resistentes generan un escarpado relieve, presentando abundantes restos paleontológicos de origen marino. Por último, en el talud de la carretera N-330 que atraviesa Rioseta, se encuentra una morrena lateral del Cuaternario. Esta parada se sitúa en el comienzo de la unidad estructural denominada Sierras Interiores.

3.- Canfranc Estación (Los Arañones): 42º45'20.52" N - 0º30'50.74"O, altitud 1203 m. La entrada al túnel ferroviario de Somport, utilizado en el pasado por la línea Pau–Canfranc, se encuentra excavada en calizas negras masivas o tableadas y areniscas del Carbonífero. Canfranc Estación se sitúa sobre grauvacas y pizarras (facies Culm) y la zona sur en pizarras con niveles arenosos del Devónico (Ríos-Aragüés *et al.*, 1990). Éstas constituyen el último afloramiento de materiales paleozoicos en el Camino de Santiago aragonés. Según desciende el Camino hacia el sur, por la margen izquierda del río Aragón, atraviesa materiales del Cretácico Superior formados en ambientes de plataforma marina externa y de talud: calcarenitas ferruginosas y calizas nodulosas, margas y calizas de Zuriza, areniscas de la Tuca Blanca y Areniscas de Marboré (Teixell *et al.*, 1994). Todos presentan numerosas fallas y esquistosidad producto de la compresión sufrida por el empuje de las placas Ibérica y Euroasiática en la orogenia Alpina.

4.- Villanúa (cueva de las Brujas/Güixas): 42º41'02.32" N - 0º31'51.54"O, altitud 978 m. La cueva se sitúa en la base del macizo de Collarada, que forma parte del dominio geológico de las Sierras Interiores, constituidas principalmente por calizas, cuya disolución generada por el agua ha originado un modelado kárstico El modelado externo (exokarst), constituido por un lapiaz, se ve a lo largo del Camino. En cuanto al endokarst, presenta numerosas cavidades, entre ellas la de las Güixas, con forma alargada y dirección OSO-ENE de 1100 m de recorrido y 67 m de desnivel, con diversos espeleotemas (Giménez y Ezquerro, 2016).

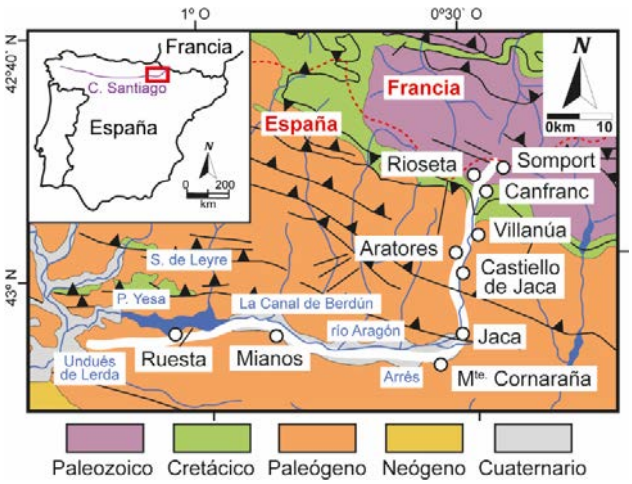


FIGURA 1. Recorrido geológico a lo largo del Camino de Santiago Aragonés (modificado del Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Escala 1:1.000.000).

Esta cueva se desarrolla en el contacto entre las calizas con nódulos de sílex y las megabrechas con clastos de calizas

y margas pertenecientes a la base de la Megacapa 3 o de Villanúa, en facies turbidítica (Eoceno inferior) (Teixell *et al.*, 1994). A partir de este punto el Camino desciende hacia Villanúa, en paralelo a la carretera N-330, atravesando gravas, arenas y limos aluviales del Cuaternario.

5.- Variante derecha GR-65.3 (bajo Aratorés): 42º39'23.17"N - 0º33'42.31"O, altitud 961 m. El Camino discurre por un sendero situado 50 m por debajo de Aratorés (Fig. 1), sobre una morrena glaciar lateral formada por bloques angulosos de diferentes tamaños, arenas y arcillas. Desde este sendero se observan, además, las morrenas frontales junto a Castiello de Jaca, constituidas por depósitos arrastrados por el glaciar, de 22 km de longitud, que ocupó el fondo del valle del Aragón en las etapas glaciares cuaternarias. Estas morrenas han sido datadas en 171 y 68 ka (Marine Isotope Stages MIS 6 y MIS 4), y en 20 a 18 ka para el último ciclo glacial (García-Ruiz et al, 2013). A continuación el Camino se dirige hacia Castiello de Jaca atravesando capas alternantes de lutitas y areniscas de facies turbidíticas (flysch eoceno), formadas como consecuencia de la inestabilidad tectónica provocada por el acercamiento de las placas Ibérica y Euroasiática, que originó un desequilibrio en los fondos marinos. Así los sedimentos que se encontraban en la plataforma marina fueron transportados por corrientes a lo largo del talud y depositados en los fondos abisales. Cuando las corrientes fueron más fuertes se formaron las megaturbiditas denominadas «megacapas».

6.- Sur de Castiello de Jaca (debajo de Bergosa): 42º37'19.23"N - 0º32'43.73"O, altitud 840 m. En Castiello de Jaca el Camino tuerce de nuevo a la izquierda del rio Aragón, atravesando afloramientos con materiales del Eoceno, concretamente una serie flysch compuesta por lutitas y areniscas en facies turbidíticas. A partir del puente de Torrijos (42º36'18.88''N-0º32'36.88''O, altitud 814 m) y hasta Jaca, se pueden observar otros materiales del flysch: areniscas en capas gruesas y lutitas; la Megacapa 8 o de Embrún-Jaca; areniscas, conglomerados y lutitas (complejo del Rapitán) (Teixell, 1994). Sobre la serie turbidítica se encuentran depositadas, en los alrededores de Jaca, margas con niveles delgados de areniscas (Margas de Larrés) que se han interpretado como el resultado de la colmatación del surco turbidítico y por tanto de origen marino somero (Teixell, 1994). Desde el punto de vista estructural el Camino entra así en la depresión intrapirenaica, en la cuenca de Jaca.

7.- Jaca, Paseo de las Canteras: 42º34'33.58"N - 0º33'12.68"O, altitud 826 m. El Camino asciende a Jaca a través de un glacis. Desde el Paseo de las Canteras se diferencian varias terrazas fluviales. Éstas son franjas de terreno horizontal limitadas en uno de los lados por una escarpada pendiente descendente y en el otro por una ascendente, ambas utilizadas como zonas de cultivo. Están formadas por gravas y arcillas que a lo largo del Cuaternario han sido depositadas por el río Aragón. Estas terrazas son el resultado de la evolución de la red fluvial con episodios en los que el río deposita, seguidos de otros de erosión con el progresivo ahondamiento del valle y el rebajamiento general del relieve, encajándose el cauce en su llanura aluvial y quedando las terrazas adosadas a las laderas del valle. Las rocas más duras del flysch eoceno (areniscas y calcarenitas) han sido tradicionalmente utilizadas en el valle del Aragón en la construcción como ornamentación de fachadas y de solados. En ellas aparecen numerosos icnofósiles, rastros en el sedimento dejados generalmente por invertebrados marinos, en momentos de calma tras las corrientes de turbidez. Estos rastros se deben a actividades de los organismos como la reptación, alimentación o morada. En Jaca son numerosas las calles pavimentadas con estas rocas donde se pueden observar icnofósiles. Así en la Plaza Cortes de Aragón (42º34'11.04''N-0º33'05.00''O, altitud 821 m) se pueden diferenciar: *Granularia, Thalassinoides, Paleodictyon o Lorenzinia*.

En la segunda etapa el Camino tuerce hacia el oeste a partir de Jaca, siguiendo la carretera N-240, atravesando gravas y arcillas del Cuaternario sobre un glacis y una terraza alta. Posteriormente atraviesa margas azules (Margas de Pamplona) y, según se asciende por la ladera del monte Cornaraña, areniscas y lutitas (Formación Belsué-Atarés) del Eoceno superior. Las margas de Pamplona se han interpretado como depósitos de talud marino en relación con medios deltaicos. Por su parte la Formación Belsué-Atarés son facies deltaicas y litorales progradantes sobre las margas (Teixell, 1994).

8.- "Mirador" monte Cornaraña: 42º33'23.75"N - 0º39'10.36"O, altitud 723 m. Un claro en el bosque del monte permite tener una muy buena visión de la canal de Berdún (Fig. 1). Situada en la depresión intrapirenaica, es una zona amplia erosiva donde el rio Aragón se ha encajado fácilmente al atravesar rocas blandas, como las margas. La canal tiene una dirección este-oeste y está limitada por materiales más resistentes: al norte por la sierra calcárea de Leyre (Fig. 1) y al sur por la Formación Campodarbe, formada por lutitas y areniscas de color rojo, denominada molasa, de edad Eoceno-Oligoceno. Tras la bajada del monte Cornaraña el Camino atraviesa de nuevo margas azules y gravas aluviales del Cuaternario, como en las cercanías de Puente la Reina de Jaca (Fig. 1), donde los peregrinos realizan esculturas con los cantos rodados del río Aragón. A continuación, en la subida a Arrés (fin de la etapa), el Camino cruza las areniscas de Yeste-Arrés, con ripples de oleaje que indican medios someros de lagoon (Teixell, 1994). El pueblo se encuentra sobre las lutitas y areniscas rojas de la Formación Campodarbe, originada en medios fluviales. Se pasa por tanto en la cuenca de Jaca-canal de Berdún de ambientes marinos a continentales, como consecuencia del progresivo levantamiento de los Pirineos entre el Eoceno medio/superior y el Mioceno.

A través de pistas agrícolas de la canal de Berdún, la tercera etapa del Camino Aragonés transcurre por la margen izquierda del río Aragón y del pantano de Yesa (Fig. 1) atravesando conglomerados y limos cuaternarios y las margas azules de Pamplona del Eoceno superior.

9.- Cruce de subida a Mianos: 42º35'21.74"N - 0º56'59.71"O, altitud 579 m. En esta etapa se suceden afloramientos de margas azules de Pamplona con una geomorfología en cárcavas, formas erosivas (badlands)

producidas por las aguas de escorrentía en las zonas carentes de vegetación. Tras el cruce a Artieda (42º35'32.15''N-1º01'24.95''O, altitud 497 m) aparecen nuevas cárcavas. Desde este punto hacia el norte se aprecia la sierra de Leyre y la geomorfología asociada al modelado de vertientes: escarpe, talud de derrubios y glacis. El Camino prosigue hacia el oeste entre aluviales y margas acarcavadas hasta el final de etapa en Ruesta.

10.- Ruesta: 42º35'27.91''N - 1º04'38.00''O, altitud 552 m. En la carretera de entrada a este pueblo abandonado aparece un afloramiento donde se observan margas y un flysch del Eoceno superior formado en ambientes marinos neríticos que, hacia techo, se somerizan (Rojas-Tapias y Martínez-Díaz, 1973). Por encima aparecen areniscas y margas de facies continentales del Eoceno superior - Oligoceno inferior que denotan ambientes sedimentarios parálicos. A la salida de Ruesta, camino de Undués de Lerda, afloran margas arcillosas de tonos rojizos y amarillentos alternándose con bancos de areniscas calcáreas del Oligoceno, que fueron depositadas en lagos someros de medios continentales oxidantes (Rojas-Tapias y Martínez-Díaz, 1973). Tras el paso por Undués de Lerda el Camino de Santiago Aragonés finaliza, al entrar en Navarra, atravesando areniscas con niveles margosos del Oligoceno medio.

CONCLUSIONES

Este trabajo pretende acercar el patrimonio geológico del Camino de Santiago Francés a los peregrinos que lo atraviesan por Aragón. Se describen las rocas y las unidades geológicas y estructurales que pisan los peregrinos, así como la geología que muestra el paisaje de los lugares y localidades por donde pasa. Se establecen diez paradas con buenas condiciones de observación que permiten conocer la historia de la formación y evolución de los Pirineos. Desde Somport a Undués de Lerda, en el límite de Navarra, las paradas en el Camino muestran materiales desde el Carbonífero al Cuaternario, atravesando el Pirineo Axial, las Sierras Interiores y la depresión intrapirenaica de la canal de Berdún.

AGRADECIMIENTOS

A todos los peregrinos que nos han acompañado en nuestros Caminos, en especial a M.O: ¡buen camino! Este trabajo ha sido financiado por HAREA-Coastal Geology Research Group (EJ/GV; IT976-16).

REFERENCIAS

García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Peña-Monné, J.L., Sancho, C., Rhodes, E.J., Valero-Garcés, B., P. González-Sampériz, y Moreno, A. (2013): Glacial and fluvial deposits in the Aragón Valley, central-western Pyrenees: chronology of the Pyrenean late Pleistocene glaciers. Geografiska Annaler. Series A, *Physical Geography*, 95:15-32.

Giménez, R. y Ezquerro, L. (2016): Aspectos geológicos y morfológicos de la Cueva de las Güixas (Villanúa, Huesca). En: *VI Congreso Español sobre Cuevas Turísticas,* 205-216.

Jiménez-Martínez, R. y Díaz Martínez, E. (2013): Las piedras del Camino de Santiago en Galicia. IGME, Madrid, *Colección Guías Geológicas*, 268 p.

Pombo, A. (2015): *Guía del Camino de Santiago. Camino francés*. Anaya Touring, Madrid, 389 p.

Ríos-Aragüés, L.M., Galera-Fernández, J.M., Barettino-Fraile, D. y Lanaja del Busto, J.M. (1990): *Mapa Geológico de España 1:50000, hoja 145 (Sallent)*. IGME, Madrid.

Rojas-Tapias y Martínez Díaz (1973): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 175 (Sigüés)*. IGME, Madrid.

Sáenz-Ridruejo, C. (1999): *Patrimonio Geológico del Camino de Santiago.* IGME. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 171 p.

Sáenz-Ridruejo, C. (2009): Geología e historia del Camino de Santiago. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid. C*olección Ciencias, Humanidades e Ingeniería,* 251 p.

Teixell, A. (1994): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 176 (Jaca)*. IGME, Madrid.

Teixell, A., García-Sansegundo, J. y Zamorano, M. (1994): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 144 (Ansó).* IGME, Madrid.

Diez años acercando la Geología a la discapacidad desde la Universidad del País Vasco/EHU

Ten years bringing Geology closer to disability from the University of the Basque Country/ EHU.

A. Pascual[1] y X. Murelaga[1]

1 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Fac. Ciencia y Tecnología, Univ. del País Vasco UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n, 48940 Leioa, Bizkaia. ana.pascual@ehu.eus; xabier.murelaga@ehu.eus

Resumen: En este trabajo se exponen las adaptaciones de las prácticas de campo, llevadas a cabo en los últimos diez años, a los alumnos con discapacidad motora en la asignatura de Geología que se imparte en la Universidad del País Vasco/EHU, en los grados de Biología y Geología. Las adaptaciones curriculares han permitido a estos alumnos conseguir las competencias esenciales de la materia, logrando su integración total en estas salidas. Para ello se han elegido Lugares de Interés Geológico (LIG) de Bizkaia y Gipuzkoa, cuyo grado de accesibilidad ha sido previamente revisado. Por otro lado, se ha potenciado el acercamiento de la Geología al público general ajeno a la universidad, incluidas personas con discapacidad. Con el lema "Geología para todos" se han realizado varias actividades durante la Semana de la Ciencia en colaboración con la ONCE. Así mismo se han diseñado itinerarios geológicos urbanos con accesibilidad universal e itinerarios adaptados donde observar la geología inmersa en el paisaje de las Reservas de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia) y Bardenas Reales de Navarra. Todas estas iniciativas se enmarcan dentro del Plan de Acción de la Estrategia Española sobre Discapacidad 2014-2020.

Palabras clave: educación, geología, discapacidad, inclusión, accesibilidad universal.

Abstract: *This work shows the adaptations of the field practices, carried out during the past ten years, for students with motor disabilities. This is part of the Geology subject, taught at the University of the Basque Country/EHU, in the BSc of Biology and Geology. The curricular adaptations have allowed these students to achieve the essential competences of the subject and their total integration in these practices. In this way some Points of Geologic Interest (POGI) of Bizkaia and Gipuzkoa, whose degree of accessibility was previously reviewed, have been chosen. In addition, the accessibility of Geology has been facilitated to the lay public outside university with different capacities. With the motto "Geology for all", various activities have been carried out during the Science Week in collaboration with ONCE. Moreover, urban geological routes with universal accessibility and adapted itineraries have been designed to observe the geology immersed in the landscape of two Biosphere Reserves, Urdaibai (Bizkaia) and Bardenas Reales de Navarra. All these initiatives are part of the Action Plan of the Spanish Strategy on Disability 2014-2020.*

Keywords: *Education, Geology, Disability, Inclusion, Universal Accessibility.*

INTRODUCCIÓN

Hace diez años se pusieron en marcha en la universidad española los nuevos Grados adaptados al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), que entre otras medidas contempla la transversalidad entre planes de estudios, compartiendo asignaturas. Este es el caso de los grados de Geología y de Biología ofertados por la Universidad del País Vasco/EHU, con una asignatura en común en el primer curso: Geología. Hasta ese momento ningún alumno con discapacidad motora había cursado una asignatura de Geología en la UPV/EHU porque los planes de estudio de Geológicas tienen una gran carga lectiva práctica, en la que se incluyen salidas al campo. Sin embargo, en el curso académico 2010-2011 un alumno del grado de Biología con discapacidad motriz cursó por vez primera la asignatura de Geología, lo que conllevó adaptar la asignatura para dar respuesta a las necesidades especiales que presentaba dicho alumno, pues se trasladaba en silla de ruedas. Posteriormente se han matriculado en esta asignatura ocho estudiantes con discapacidades diversas: motriz, visual y encubierta, a los que se les ha realizado una Adaptación Curricular Individual (ACI) no significativa, sin afectar a los contenidos curriculares.

Con esta medida se ha pretendido evitar el abandono de la universidad de estos alumnos, como marca el Plan de Acción de la Estrategia Española sobre Discapacidad 2014-2020, instrumento de desarrollo de la Estrategia Española sobre Discapacidad 2012-2020, al cumplir con el eje de actuación nº 3 (Educación) que pretende "*Reducir la tasa de abandono escolar y aumentar el número de personas con discapacidad con educación superior*". Para ello propone la medida estratégica nº 6: "*Avanzar en la inclusión de asignaturas que ayuden a garantizar los derechos de las personas con discapacidad*", objetivo de este trabajo.

Una vez lograda la adaptación de las salidas al campo, el siguiente objetivo fue facilitar la accesibilidad a la Geología de cualquier persona con movilidad reducida. Con el lema "Geología para todos" se han realizado actividades variadas en la Semana de la Ciencia (Tabla I). Además se han confeccionado recorridos geológicos urbanos adaptados (Pascual y Murelaga, 2017/2018) y en las Reservas de la Biosfera de Urdaibai y Bardenas Reales de Navarra (Pascual y Murelaga, 2019).

En este trabajo se presentan las adaptaciones llevadas a cabo en los últimos diez años por la UPV/EHU para acercar la Geología a la discapacidad (Tabla I).

ADAPTACIÓN DE ELEMENTOS BÁSICOS DEL CURRÍCULUM NO SIGNIFICATIVOS: SALIDAS AL CAMPO

La asignatura de Geología tiene dos salidas al campo de día completo, que del curso 2010/2011 al 2016/2017 tenían como destinos la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia) y la playa y acantilados de Zumaia (Gipuzkoa). La adaptación curricular para estas salidas se llevó a cabo a lo largo de cuatro etapas (Tabla I):

1.- Etapa de eliminación de las salidas al campo. El primer curso en el que estuvo matriculado un alumno con discapacidad motora (2010/2011) se optó por aplicar una adaptación significativa sustituyendo las salidas al campo por un trabajo de campo virtual mediante la utilización de películas con imágenes de las zonas a visitar. Este trabajo se realizó siguiendo los estándares e indicadores de buenas prácticas para la atención a estudiantes universitarios con discapacidad (Díez et al., 2011).

2.- Etapa de adaptación a la integración. Antes de efectuar las adaptaciones de las salidas al campo es necesario consultar al alumno su disposición a realizarlas (Arnaiz-Sánchez, 2000). Si no desea llevarlas a cabo, se evalúan las competencias de la asignatura mediante un trabajo de campo virtual. Por el contrario, si el alumno desea realizar las salidas al campo, es necesario adaptar los recorridos y medio de transporte (autobús adaptado) para que pueda participar en las mismas junto con el resto de la clase, siempre que sea posible.

Durante el curso 2011/2012 se adaptó la salida a la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia), organizada en dos paradas, para que cualquier alumno con discapacidad pudiera realizarla, con ciertas limitaciones, acompañando al resto de sus compañeros de clase (Pascual y Murelaga, 2012). En la primera parada, "Playa de Laga", se comenzó con una explicación al grupo sobre la geomorfología que se observa desde un mirador. A continuación sus compañeros bajaron a la playa, no accesible y peligrosa para una silla de ruedas. En sustitución el alumno permaneció en el mirador, junto con su auxiliar, estudiando las muestras de mano de las rocas aflorantes que los profesores le acercaron. La segunda parada, "Cantera de Ereño" (Lugar de Interés Geológico, LIG), se pudo realizar con todo el grupo de clase sin necesidad de efectuar ninguna adaptación.

	Curso	Adaptación de elementos básicos del currículo no significativos: salidas al campo
Grados de Geología y Biología	2010/2011	1. Eliminación de las dos salidas al campo. 2. Trabajo de campo virtual, visionando imágenes de las zonas a visitar.
	2011/2012	1. Adaptación de una salida: Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia). 2. Sustitución de salida a playa y acantilados de Zumaia (Gipuzkoa) por otra exclusiva para el alumno con discapacidad: límite Cretácico/Paleógeno de Urrutxua (Bizkaia). 3. Itinerarios geológicos adaptados por el campus de Bizkaia y por Bilbao.
	2012/2013 2013/2014 2014/2015	1. Revisión, análisis y actualización de los Lugares de Interés Geológico (LIG) desde el punto de vista de la accesibilidad universal. 2. Búsqueda de recorridos alternativos para las dos salidas al campo, con vistas a la integración total de los alumnos con discapacidad motriz.
	2015/2016	1. Integración total del alumnado con discapacidad motora con el resto del grupo. 2. Salidas a los LIG de la Reserva de Urdaibai y Zumaia.
	Año	**Geología y sociedad: Geología para todos**
Sociedad	2011	Semana de la Ciencia. Colaboración con la ONCE: taller conjunto con el Museo de Arqueología con fósiles y materiales arqueológicos de superficie rugosa para su identificación mediante el tacto.
	2012	Semana de la Ciencia. Colaboración con la ONCE: taller conjunto con Torre Madariaga y Museo de Arqueología, con fósiles, materiales biológicos y arqueológicos para su identificación por medio de otros sentidos.
	2013	Semana de la Ciencia. Inclusión del grupo de la ONCE en las visitas de los diferentes stands.
	2017/2018	Prácticas sostenibles en el Grado de Geología: los itinerarios urbanos.
	2019	Geología y paisaje accesibles en las Reservas de la Biosfera de Urdaibai y Bardenas Reales de Navarra.

TABLA I. Actividades llevadas a cabo en los últimos 10 años desde la Universidad del País Vasco UPV/EHU para acercar la Geología a la discapacidad.

Sin embargo, la segunda salida, a la playa y acantilados de Zumaia (Gipuzkoa), por su difícil acceso fue sustituida por otra de mejor acceso como el LIG "Límite Cretácico/Paleógeno de Urrutxua" (Bizkaia), donde el alumno realizó observaciones y medidas "*in situ*" en rocas de las mismas edades. Esta salida, tras evaluar los riesgos (Díez et al., 2011) y para proteger la integridad de todo el alumnado, no se efectuó en grupo, al tratarse de un afloramiento a pie de carretera. Por lo tanto con esta adaptación el alumno con discapacidad quedó alejado nuevamente del grupo de clase.

Puesto que el resto de compañeros realizó la salida a Zumaia, con afloramientos con más variedad de rocas, se ofrecieron al alumno con discapacidad dos itinerarios

geológicos como actividades complementarias de aprendizaje. Los itinerarios propuestos, a través del propio campus y por Bilbao, permiten observar una gran variedad de rocas y repasar lo visto en las salidas al campo (Pascual et al., 2014). Además al ser accesibles permitían al alumno con discapacidad su incorporación al grupo de clase y al trabajo en equipo. El itinerario por el campus de Leioa de la UPV/EHU permite visitar las rocas más representativas de Bizkaia y el de Bilbao sigue una ruta geomonumental en la que se estudian rocas de tres edificios, muchas de ellas procedentes de las zonas visitadas en las salidas al campo.

3.- Etapa de revisión de los Lugares de Interés Geológico (LIG). Buscando la integración total de los alumnos con discapacidad motriz en la asignatura se fueron estableciendo, desde 2012 hasta 2015, itinerarios alternativos para las dos salidas al campo en "Geología" que permitían dicha integración centrada en los LIG. En la descripción de un LIG (Mendia et al., 2010) se detalla el grado de accesibilidad según tres niveles: (1) sólo se puede acceder a pie; (2) pista o carretera asfaltada estrecha; (3) se puede ir en vehículo, incluso en autobús y acceso para discapacitados. Sin embargo, al constatar en algunos casos el mal estado de los accesos, incluso en los descritos con accesibilidad de nivel 3, los LIG de Urdaibai fueron analizados, revisados y actualizados desde el punto de vista de la accesibilidad universal (Pascual y Oñate, 2014). Para ello se siguió el modelo de trabajo del "*Catálogo de buenas prácticas en materia de accesibilidad en espacios naturales protegidos*", en el apartado de senderos (Muñoz-Santos et al., 2007).

4.- Etapa de accesibilidad universal. En el curso 2015/2016 se logró la integración total del alumnado discapacitado motriz con el resto del grupo. Para ello se procedió a revisar los LIG de Zumaia desde el punto de vista de la accesibilidad universal. En la playa y acantilados de Zumaia los LIG a visitar en grupo no tenían catalogado su grado de accesibilidad, por lo que hubo que describirlos por vez primera (Pascual et al., 2016). Todos ellos están situados en la playa de Itzurun, cuyos accesos al arenal disponen de escaleras y una rampa con una inclinación del 8%. Esta rampa permite visitar en grupo los siguientes LIG: nº 45 Paleoceno y GSSPs (Global Boundary Stratotype Section and Point) y LIG nº 48 Límite P/E en Zumaia; LIG 103 Conjunto geomorfológico de la playa de Itzurun y LIG 135 Icnofósiles del flysch eoceno de Zumaia-Getaria.

GEOLOGÍA Y SOCIEDAD: GEOLOGÍA PARA TODOS

Tras la experiencia adquirida en el aula, desde la Universidad del País Vasco/EHU se han ofertado a la sociedad múltiples actividades dirigidas a personas con diferentes capacidades que se describen a continuación.

Colaboración con la ONCE y otros organismos

Durante la Semana de la Ciencia (Tabla I) celebrada los años 2011, 2012 y 2013, se realizaron en colaboración con la ONCE varios talleres conjuntos para niños. En el taller de 2011 la UPV/EHU, junto con el Museo Arqueológico de Bilbao (Arkeologi Museoa), trabajó con fósiles y materiales arqueológicos de superficie rugosa para su identificación mediante el tacto. En 2012 la colaboración se amplió a un tercer integrante, la Torre Madariaga (Ekoetxea Urdaibai), por lo que el taller además de fósiles y materiales arqueológicos dispuso de materiales biológicos, para poder ser identificados por medio de otros sentidos. Por último en 2013 se prepararon en todos los stands de la Semana de la Ciencia actividades con distintos materiales adaptados a personas con discapacidad visual.

Prácticas sostenibles en el grado de Geología: los recorridos urbanos

Los itinerarios geológicos urbanos son un recurso didáctico que complementa las identificaciones de minerales, rocas y fósiles realizadas en las prácticas de laboratorio de la universidad y en las salidas al campo. Además resultan ser actividades atractivas en eventos culturales, tales como la Semana de la Ciencia o el Geolodía. Como ejemplo de esta actividad se creó un recorrido geológico que une los dos museos más emblemáticos de Bilbao, el de Bellas Artes y el Guggenheim, donde se describe la petrología de varios edificios y su contenido fósil (Pascual y Murelaga 2017/2018). Este recorrido geológico urbano, con accesibilidad universal, fue diseñado tras comprobar el ancho, la pendiente y los materiales de las aceras, así como el rebaje de las mismas en los cruces peatonales. Además las rocas ornamentales a visitar debían estar situadas de tal manera que permitieran la aproximación de una persona usuaria de silla de ruedas y que pudieran ser manipulables, es decir, a una altura entre 70 y 120 cm. Estos recorridos urbanos cumplen con el Plan de Acción de la Estrategia Española sobre Discapacidad 2014-2020, en sus ejes 3 (Educación) y 4 (Accesibilidad) (Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad, 2011). El eje 4 tiene como objeto "P*romover la accesibilidad universal en los bienes y servicios*" mediante la actuación nº 70 "P*romover medidas específicas de accesibilidad en ámbitos tales como el patrimonio natural o el medio ambiente urbano*".

Reservas de la Biosfera

Con el fin de acercar a las personas con discapacidad motora el trabajo en investigación y educación que se lleva a cabo en dos Reservas de la Biosfera (Urdaibai y Bardenas Reales de Navarra), se han revisado desde el punto de vista de la accesibilidad universal sus LIG. Así se han establecido varios itinerarios adaptados a lo largo de las reservas, estableciéndose cinco paradas donde explicar la geología de cada una de ellas. En esos puntos cualquier persona con discapacidad motora puede observar la geología apreciable en el paisaje que le rodea, sin necesidad de utilizar sillas todo terreno (senderismo o montaña) tipo "joëlette" (Pascual y Murelaga, 2019). Este trabajo se ha llevado a cabo siguiendo el modelo del "Catálogo de buenas prácticas en materia de accesibilidad en espacios naturales protegidos", en el apartado de senderos (Muñoz-Santos et al., 2007).

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta las actuaciones llevadas a cabo en los últimos diez años desde la Universidad del País Vasco/EHU, para acercar la Geología a las personas con capacidades diferentes. A lo largo de estos años se ha ido avanzando en la inclusión de la diversidad humana en la asignatura de Geología del 1er curso de los Grados de Biología y Geología, al realizarse Adaptaciones Curriculares Individuales no significativas para los alumnos con discapacidad motriz en las prácticas de campo. Así se ha pasado de la eliminación de las salidas al campo y la realización de un trabajo de campo virtual, visionando imágenes de las zonas a visitar, a la integración total del alumnado discapacitado. Para conseguirlo previamente se han reevaluado los grados de accesibilidad de diversos LIG del País Vasco.

Desde el punto de vista educativo este trabajo cumple con la Estrategia Española sobre Discapacidad, al incluir la diversidad humana en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la geología, contribuyendo a evitar el abandono de la universidad por los alumnos con discapacidad. La experiencia alcanzada con las adaptaciones en los grados universitarios nos ha permitido ofrecer a la sociedad en general un acercamiento a la Geología, bajo el lema "Geología para todos". Así se han realizado talleres paleontológicos en colaboración con varios colectivos, como la ONCE, en la Semana de la Ciencia. Además se ha diseñado un itinerario geológico urbano en Bilbao con accesibilidad universal y dos recorridos adaptados donde observar la geología y el paisaje de las Reservas de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia) y Bardenas Reales de Navarra.

Este trabajo cumple con dos de los ejes de actuación del Plan de Acción de la Estrategia Española sobre Discapacidad 2014-2020: educación y accesibilidad, y aborda tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030: 3-salud y bienestar, 4-educación de calidad y 10-reducción de las desigualdades.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por HAREA: Grupo de Investigación en Geología litoral (EJ/GV, IT976-16).

REFERENCIAS

Arnaiz-Sánchez, P. (2000): Las Adaptaciones en el Currículum Universitario. *Boletín del Real Patronato sobre Discapacidad,* 4: 151-168.

Díez, E., Alonso, A., Verdugo, M.A., Campo, M., Sancho, I., Sánchez, S., Calvo, I. y Moral, E. (2011): *Espacio Europeo de Educación Superior: estándares e indicadores de buenas prácticas para la atención a estudiantes universitarios con discapacidad*. Publicaciones del INICO (Instituto Universitario de Integración en la Comunidad Universidad de Salamanca). Colección Investigación, 6, 2011 p.

Mendia, M., Aranburu, A., Carracedo, M., González, M. J., Monge-Ganuzas, M. y Pascual, A. (2010): *Lugares de Interés Geológico de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai.* Gobierno Vasco. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/informe_estudio/ligs_de_urdaibai_2010/es_doc/adjuntos/INVENTARIO%20de%20LIGs%20de%20URDAIBAI.pdf

Muñoz-Santos, M., Gómez Limón, J. y Arias, F. (2007): EUROPARC-España. 2007. *Catálogo de buenas prácticas en materia de accesibilidad en espacios naturales protegidos.* Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid, 343 p.

Pascual, A. y Murelaga, X. (2012): Adaptación de las prácticas de campo de la asignatura "Geología" para alumnos con discapacidad motora. En: *I Congreso Internacional Universidad y Discapacidad.* Comunicaciones.

Pascual, A. y Murelaga, X. (2017/2018): Prácticas sostenibles en el grado de Geología: los recorridos urbanos. *Forum de Sostenibilidad*, 08: 81-93.

Pascual, A. y Murelaga, X. (2019): Geología y paisaje accesibles en las Reservas de la Biosfera de Urdaibai y Bardenas Reales de Navarra. En: *I Congreso Internacional: creando puentes entre la ciencia y la gestión en Reservas de la Biosfera*. Libro de resúmenes, 49.

Pascual, A. y Oñate, L. (2014): Geología para todos. En: *II Congreso Internacional Universidad y Discapacidad*. Libro de Actas, 2, 1110-1119.

Pascual, A., Martínez-García, B. y Oñate, L. (2014): Geología y discapacidad. Adaptaciones curriculares en la universidad. En: *XVIII Simposio sobre la enseñanza de la geología.* Libro de comunicaciones: 237-247.

Pascual, A., Berreteaga, A. y Baceta, J.I. (2016): Hacia una universidad inclusiva en los grados científicos: el ejemplo de la asignatura "Geología" en la Universidad del País Vasco UPV/EHU. *III Congreso Internacional Universidad y Discapacidad*. Abstracts Volumen, Grupo de trabajo 2 Accesibilidad curricular y deporte inclusivo, 37-47.

Trabajo de Investigación de Bachillerato y divulgación en Geología: Proyecto FORCES (UB)

High School Research Work and Geology dissemination: FORCES Project (UB)

E. Playà[1], L. Casas[2], T. Bover-Arnal[1], I. Cantarero[1], W.P. de Haan[1], A. Travé[1], J. Ibáñez[3], R. Giralt[2], L. Bayès[1], O. Ferrer[1], G. Alías[1], M. T. Garcia-Vallès[1], M. Ortuño[1], V. Pinto[1] y J. Herrero[1]

1 Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona. eplaya@ub.edu, telm.boverarnal@ub.edu, i_cantarero@ub.edu, atrave@ub.edu, laurabayes@ub.edu, joferrer@ub.edu, galias@ub.edu, victorpinto@ub.edu
2 Institut de Desenvolupament Professional-ICE, Universitat de Barcelona, 08035 Barcelona. lcasas@ub.edu, rosa.giralt@ub.edu
3 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (CSIC), 08028 Barcelona. jibanez@ictja.csic.es

Palabras clave: Trabajo de Investigación, Bachillerato, método científico, transferencia de conocimiento, futuros universitarios.

Resumen

El Trabajo de Investigación de Bachillerato es una de las herramientas de divulgación y enseñanza de las Ciencias de la Tierra para alumnos preuniversitarios interesados en esta ciencia. La potenciación desde la Universidad hacia los centros educativos de Enseñanza Secundaria de la transferencia del conocimiento científico en el ámbito de la Geología, así como de otras ciencias, es el eje principal que se presenta en el Proyecto FORCES (*Foment de la Recerca en els Centres de Secundària*; http://www.ub.edu/cere/forces/). Desde el Instituto de Desarrollo Profesional de la Universitat de Barcelona (UB) se han creado puentes entre facultades de la UB y dichos centros educativos, presentándose el caso de la Facultat de Ciències de la Terra. En FORCES se facilitan las herramientas para vincular el Trabajo de Investigación obligatorio de Bachillerato; el estudiante cuenta con el apoyo de su tutor y con el seguimiento de uno o varios profesores-investigadores del ámbito universitario. Ello amplia el marco de trabajo del alumno y le ofrece focos de interés no disponibles en los centros de Educación Secundaria, abriendo la posibilidad de colaboraciones científicas con el grupo investigador y disponer de sus herramientas, conocimientos e instrumental. Unir a la docencia universitaria la experiencia del contacto con futuros estudiantes enriquece la visión del profesorado, al situarlo en el punto de vista del estudiante de bachillerato, facilitando la comunicación de conocimientos e incorporando nuevas metodologías didácticas. Los temas geológicos tratados son amplios, teniendo como eje común la visión geológica de procesos cotidianos o próximos al alumno de Bachillerato.

Abstract

The High School Research Work is one of the tools of dissemination and teaching of Earth Sciences to pre-university students. The strengthening from the University to Secondary School of the transfer of scientific knowledge in the field of Geology, as well as other sciences, is the aim of the FORCES Project (Promotion of Research in High Schools; http://www.ub.edu/cere/forces/). The Professional Development Institute (IDP-ICE) of the University of Barcelona (UB) has forged close ties between these educational centers and the different faculties of the UB, including the Faculty of Earth Sciences. FORCES provides the necessary tools to link the compulsory Research Work of the Baccalaureate students, so that the student not only has the support of his advisor, but also the follow-up of one or several professors and/or researchers. This broadens the student's work frame and helps her/him focusing on possible areas not achievable in the context of Secondary School centers, such as establishing scientific collaborations with university research groups and thus using their tools, knowledge and analytical instruments. On the other hand, meeting prospective students enriches the professors' vision by placing it in the mind of the High School student, improving the communication of knowledge in a more meaningful way and incorporating new teaching methodologies. Geological topics addressed are broad, having as a common thread the geological vision of everyday processes or scientific issues close to the Baccalaureate student's daily life.

Minerales alienígenas: modelos de formación en la Tierra

Alien minerals: genetic models on Earth

J.P. Rodríguez-Aranda[1] y M.E. Sanz-Montero[2]

1 IES Camilo José Cela, Av. Monte 16, 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid). juanparo@ucm.es
2 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Univ. Complutense Madrid, 28040 Madrid mesanz@ucm.es

Palabras clave: exobiología, biomineral, modelos de bolas, laguna, didáctica.

Resumen

La astrobiología se ocupa de comprender la posible existencia de vida fuera de nuestro planeta asumiendo que, si los microorganismos son el tipo de vida más común en la Tierra, probablemente también lo serán en los distintos astros de la Vía Láctea. Los microbios pueden fabricar minerales y rocas, biominerales y estromatolitos, que se encuentran a lo largo del registro geológico desde hace miles de millones de años. Estas rocas microbianas podrían hallarse también en astros con vida alienígena actual o antigua. Como suele ser más fácil localizar las obras de los seres vivos que a ellos, los análisis de rocas extraterrestres podrían identificar indicios de vida alienígena, pues las biofirmas de los microbios podrían detectarse en análisis especializados. Las duras condiciones ambientales en otros astros guardan similitud con las de los ecosistemas terrícolas donde viven microorganismos extremófilos. Las lagunas hipersalinas de Lillo (Toledo) y las alcalinas de Coca (Segovia) constituyen excelentes laboratorios naturales para estudiar las biofirmas que podrían encontrarse en diferentes planetas y lunas. Se propone realizar una actividad didáctica para visualizar la precipitación de biominerales usando modelos de bolas (partículas) que representan disoluciones. Los cationes (bolas de acero) tendrán pegados dos cuadraditos de velcro de ganchitos y los aniones (canicas de nácar) velcro de terciopelo. Las moléculas de agua (canicas de vidrio) no tendrán nada pegado o dos puntos de velcro para simular su carácter dipolar. Un imán (3x5 cm) se disfrazará de bacteria. Las bolas se pondrán en una bandeja de laboratorio que se agitará repetidamente, viéndose que formar minerales (grupos de canicas pegadas por velcro) tiene su dificultad. Después se pondrá el imán en la bandeja y se volverá a agitar, de modo que los cationes de acero se unirán a la pared celular bacteriana con cargas negativas residuales y se observarán biominerales alrededor de la bacteria. El modelo permite entender también estados de hidratación iónica y formación de fases hidratadas. Además puede simularse la evaporación quitando moléculas de agua, que favorece la precipitación.

Abstract

Astrobiology is concerned with understanding the possible existence of life outside our planet assuming that, if microorganisms are the most common type of life on Earth, they probably will be on different celestial bodies of the Milky Way. Microbes can make minerals and rocks, biominerals and stromatolites, which have been found along the Earth's geological record for billions of years. These microbial rocks might be found on celestial bodies with recent or ancient alien life. As it is often easier to locate the works of living beings than themselves, the study of extra-terrestrial rocks could allow identifying biosignatures of alien life in other worlds, since they could be detected in petrological analyses. Harsh environmental conditions that prevail in other celestial bodies are similar to those of the Earth's ecosystems where extremophiles subsist. The hypersaline lakes of Lillo (Toledo) and the alkaline ones of Coca (Segovia) are excellent natural laboratories to study the biosignatures that could be found on different planets and moons. We propose a didactic activity for visualizing biomineral precipitation using dynamic models of balls (particles) that represent solutions. Cations (steel balls) have two small squares of hook velcro attached and anions (pearl marbles) have loop velcro. Water molecules (glass marbles) have nothing stuck or little dots of velcro indicating its dipolar nature. A magnet (3x5 cm) represents a bacterium. Balls are placed on a laboratory tray, which is shaken repeatedly showing that mineral formation (groups of marbles stuck by velcro) is difficult. Then, the magnet is placed on the tray, which is shaken again, showing that steel cations glue to the bacterium cell wall by the residual charges that organic matter presents. Biominerals around the bacteria are thus observed. Evaporation can also be simulated by eliminating water molecules favouring mineral precipitation.

Itinerarios didácticos por el entorno del puerto de San Isidro y los lagos de Covadonga enfocados a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Educational trails in Puerto de San Isidro and Lagos de Covadonga designed for Earth Science teaching

L. Rodríguez-Rodríguez[1], S. González-Lemos[2], D. Ballesteros[3], P. Valenzuela[4], M. Domínguez-Cuesta[4] y M. Jiménez-Sánchez[4]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Av. los Castros 48, 39005 Santander. laura.rodriguezr@unican.es
2 ASCIEM consulting S.L.P., Centro de Empresas La Curtidora, c/Gutiérrez Herrero 52, 33402 Avilés. saulgonzalezlemos@gmail.com
3 UMR 6266 IDEES, Université de Rouen-Normandie/CNRS, Mont Saint-Aignan CEDEX, Francia. balledan@univ-rouen.fr
4 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo, c/Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. pvalenzuela@geol.uniovi.es, mjimenez@geol.uniovi.es, dominguezmaria@uniovi.es

Palabras clave: enseñanza, Ciencias de la Tierra, divulgación, itinerario, geología.

Resumen

Los itinerarios geológicos constituyen un recurso didáctico fundamental para despertar el interés individual de los estudiantes de secundaria por la Geología y las Ciencias de la Tierra. En esta contribución presentamos dos itinerarios geológicos por la cordillera Cantábrica centro-oriental (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2018 y 2019): del puerto de San Isidro a Puebla de Lillo (León) y una ruta circular por los lagos de Covadonga (Picos de Europa). Ambos han sido pensados para realizarse con alumnos de Educación Secundaria o Bachillerato. Cada uno consta de ocho paradas distribuidas a lo largo de un recorrido de 6-8 km (una jornada de campo), en las que se pueden realizar observaciones relativas a las rocas, las estructuras geológicas, la geomorfología y las interacciones geosfera- biosfera. La actividad puede ser complementada con una clase en el aula para que los alumnos construyan en grupo la historia geológica del territorio a partir de todas las observaciones que han realizado en la excursión, fomentando la puesta en práctica de los conocimientos teóricos y la discusión constructiva de observaciones.

Abstract

Geological trails are a key educational resource to awaken the interest on Earth Sciences of High School students. In this contribution we present two geological trails through the central-eastern Cantabrian Mountains (Rodríguez-Rodríguez et al., 2018 and 2019): from the San Isidro Pass to Puebla de Lillo (León) and a circular trail around Covandonga lakes (Picos de Europa). Each one is a one-day fieldtrip consisting of eight stops distributed along a 6-8 km route to do observations regarding rocks, geological structures, geomorphology, and geosphere-biosphere interactions. The activity might be complemented with a classroom exercise, so that students can build in group the geological history of the territory from all the observations they have made during the field trip, encouraging the implementation of theoretical knowledge and constructive discussion of observations.

Referencias

Rodríguez-Rodríguez, L., González-Lemos, S., Ballesteros, D., Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M.J. y Jiménez-Sánchez, M. (2018). *Reconocimiento del paisaje de los Lagos de Covadonga (Picos de Europa): interacción de los procesos geológicos, geomorfológicos y antrópicos*. Depósito Legal: AS-03529-2018.

Rodríguez-Rodríguez, L., González-Lemos, S., Domínguez-Cuesta, M.J., Ballesteros, D., Valenzuela, P. y Jiménez-Sánchez, M. (2019). *Excursión geológica guiada por el entorno del Puerto de San Isidro*. Depósito Legal: AS03145-2019.

Educación y divulgación geológicas en la cueva El Soplao (Cantabria)

Geological education and outreach in El Soplao cave guided tours

C. Rossi[1] y R.P. Lozano[2]

1 Área Petrología y Geoquímica, Dpto. Mineralogía y Petrología, Fac. Geología, Univ. Complutense, 28040 Madrid. crossi@ucm.es
2 Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, c/Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.

Palabras clave: espeleoturismo, guías turísticos, espeleotemas, divulgación geológica.

Resumen

La cueva El Soplao y las minas de la Florida (Cantabria) presentan una riqueza geológica extraordinaria. Con un excelente estado de conservación, la mina es ejemplo paradigmático de yacimiento de Pb-Zn tipo *Mississippi Valley*, abarcando tanto la zona de sulfuros primarios como la de oxidación. La cueva, descubierta accidentalmente por una galería minera, es la única en la que se han descrito espeleo-estromatolitos verdaderos, inducidos por microbios manganeso-oxidantes en paleo-niveles freáticos durante el Pleistoceno inferior (Rossi *et al.*, 2010). El Soplao contiene además abundantes espeleotemas de aragonito y calcita cristalizados de aguas químicamente diversas, ofreciendo la oportunidad de analizar en detalle los factores que deciden si se forma uno u otro polimorfo (Rossi *et al.*, 2016) o cómo ciertos parámetros en las estalagmitas registran el clima (Rossi *et al.*, 2018). Los guías del sector turístico de El Soplao juegan un papel importante en la divulgación de estas investigaciones, y también en la educación geológica de los numerosos visitantes (~200000/año). Con el fin de mejorar su preparación geológica, desde 2008 hemos impartido cinco cursos de formación para los guías (apoyados en parte por: Turismo de Nansa SL; El Soplao SL-Gobierno de Cantabria; proyectos ITC Soplao-IGME y RTI2018-094155 B-100). Los cursos incluyen clases interactivas (de temática variable en función de la actualidad), visitas a la cueva (en parte para discutir dudas de los propios guías) y tests de evaluación. Los cursos han dotado a los guías con bases más sólidas en espeleogénesis, formación de espeleotemas y origen de los estromatolitos, que les permiten responder con más rigor las preguntas de los visitantes, adecuar el nivel y temática de las explicaciones a los grupos concretos y en definitiva mejorar la calidad de las visitas.

Abstract

El Soplao cave and La Florida mines (Cantabria) have a very rich geology. The mine is a well-preserved, outstanding example of MVT Pb-Zn deposit. The cave, accidentally discovered by mining, contains unique speleostromatolites, induced by Mn-oxidizing microbes at paleo-water tables (Rossi et al., 2010). The cave also contains abundant aragonite and calcite speleothems and a diverse dripwater hydrochemistry, allowing detailed analysis of CaCO3 polymorphism (Rossi et al., 2016) and high-resolution paleoclimate studies (Rossi et al., 2018) founded on ongoing cave monitoring. The guides of the show-cave section of El Soplao contribute to disseminate this scientific research, and provide some geological education to the numerous visitors (~200000/year). To improve their geological background, five training courses have been given to the guides since 2008. The courses included interactive classes, cave visits (for in situ discussion of questions raised by the guides) and evaluation tests. These courses have provided the guides with stronger foundations on aspects such as speleogenesis, speleothem formation, and stromatolites, so that they can: better handle the questions from visitors; adequate the level of explanations to each particular visitor group; and increase the educational quality of the cave tour, thus enriching the entertainment experience of visitors.

Referencias

Rossi, C., Lozano, R.P., Isanta, N. y Hellstrom, J. (2010). *Geology* 38, 1119-1122.

Rossi, C., Villalaín, J.J., Lozano, R.P. y Hellstrom, J. (2016). *Geomorphology* 261, 57-75.

Rossi, C., Bajo, P., Lozano, R.P. y Hellstrom, J. (2018). *Quaternary Science Reviews* 192, 71-85.

¡Ábrete Tierra! Juguemos con el interior de nuestro planeta

Open Earth! Let's play with the inside of our planet

A. Ruiz-Constán[1], L. Moreno-Ruiz[2], A. Constán-Moreno[3], C. Fernández-Leyva[1] y R.M. Mateos-Ruiz[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Urbanización Alcázar del Genil, 4, Edificio Zulema bajo, 18006 Granada. a.ruiz@igme.es; c.fernandez@igme.es; rm.mateos@igme.es
2 CEIP Medina Elvira, C/Manuel de Falla s/n, 18230 Atarfe, Granada.
3 Centro San Agustín, Av. San Agustín 3, 18600 Motril, Granada. anaconstan1@gmail.com

Palabras clave: estructura interna, tectónica de placas, formación del relieve, educación infantil y primaria.

Resumen

El alumnado de Educación Infantil y primeras etapas de Educación Primaria no posee aún las herramientas necesarias (lectura, cálculo, análisis espacial) para abordar temas científicos complejos de forma tradicional. Sin embargo, el uso de recursos visuales y manipulativos permite desarrollar su curiosidad y sus ganas de investigar y conocer el mundo. La participación en talleres divulgativos que incorporan maquetas facilita la transmisión de conceptos como la estructura interna de la Tierra y los procesos geodinámicos a edades tempranas. El taller "¡Ábrete Tierra!" se ha desarrollado en el marco de la iniciativa de divulgación *Geocharlas*, que coordina la Comisión Mujeres y Geología de la Sociedad Geológica de España. En él hemos propuesto al alumnado de diversos centros educativos ejemplos de análogos de uso diario (plastilina, queso emmental, aguacate…) que han permitido interaccionar con ellos y conocer sus ideas previas acerca del interior de la Tierra. Posteriormente, mediante la parte "estática" de una maqueta del interior de la Tierra, el alumnado ha podido manipular las diferentes capas en las que se divide nuestro planeta y, con ello, trabajar los conceptos de tamaño, composición y temperatura. Esto nos permitió, mediante la mitad "dinámica" de la maqueta y un puzle de las placas tectónicas, abordar cómo se produce la formación del relieve y conocer los medios mediante los cuales tenemos acceso directa o indirectamente a información del interior de la Tierra (volcanes, terremotos, meteoritos…). Además de en centros educativos, la actividad fue presentada en *Ciencia en Acción 2018*, donde se le concedió el 1er premio de la modalidad Laboratorio de Geología.

Abstract

Preschool and early Elementary School students do not own yet the necessary tools (reading, calculation, spatial analysis) to address complex scientific issues in a traditional way. However, the use of visual and manipulative resources allows the development of their curiosity and their desire to investigate and explore the world. Participation in educational workshops that incorporate models facilitates the transmission of concepts, such as the internal structure of the Earth and the geodynamic processes, at an early age. The workshop "Open Earth!" has been developed within the framework of the Geocharlas dissemination initiative, coordinated by the Women and Geology Commission of the Geological Society of Spain. We have proposed to students of different educational centers examples of analogues of daily use (playdough, emmental cheese, avocado…) that have allowed us to interact with them and learn about their previous ideas about the interior of the Earth. Subsequently, through the "static" part of an Earth interior's model, students have been able to manipulate the different layers into which our planet is divided and work on the concepts of size, composition and temperature. This allowed us, through the "dynamic" half of the model and a puzzle of the tectonic plates, to address the landform formation and to know the means by which we have access directly or indirectly to information from inside the Earth (volcanoes, earthquakes, meteorites...). In addition to schools, the activity was presented in Ciencia en Acción 2018, where it was awarded the 1st prize in the Geology Laboratory modality.

El parque de rocas integrado en el paisaje y su papel como directorio del entorno geológico (Huerta de Valdecarábanos-Toledo)

Rock gardens integrated into the landscape and their role as a directory for the geological setting (Huerta de Valdecarábanos-Toledo)

M.E. Sanz-Montero[1], J.P. Rodríguez-Aranda[2], L. Fernández[3] y E. Rodríguez-Fernández[3]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Univ. Complutense de Madrid, 28040 Madrid. mesanz@ucm.es
2 IES Camilo José Cela, Av. Monte 16, 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid). juanparo@ucm.es
3 Estudios Territoriales Integrados, C/ Santísima Trinidad 8, 28010 Madrid. eti@estudiosterritoriales.net

Palabras clave: jardín de rocas, Mioceno, cuenca de Madrid, geodivulgación.

Resumen

La utilización de jardines o parques de rocas como recurso didáctico o divulgativo de la geología se está generalizando. Se trata de que el público vea los materiales geológicos de cerca e incluso los toque directamente. Además los ejemplares de rocas se suelen acompañar, por un lado, de paneles explicativos sencillos y atractivos que facilitan la comprensión de los conceptos geológicos complicados. Y por otro lado, de códigos QR que permiten el acceso a información de internet usando teléfonos móviles para ampliar las explicaciones. En este trabajo se ilustra el caso del parque de rocas de Huerta de Valdecarábanos (Toledo), situado en la zona sur de la cuenca cenozoica de Madrid. El jardín de rocas se encuentra en la parte superior del cerro de la Ermita Nª Sª del Rosario de los Pastores y consta de 18 puntos de observación de muestras tomadas en los alrededores del pueblo, con sus correspondientes carteles identificativos y códigos QR. Los especímenes se complementan con dos grandes paneles explicativos donde se especifican la geología general de la cuenca de Madrid y las peculiaridades de la zona. La particularidad de este parque radica en que desde cada estación se puede visualizar el afloramiento donde fueron tomados los ejemplares. De este modo el cerro constituye un directorio real y tangible de la geología del área considerada. Otro factor añadido importante es que el jardín, al tratarse de una colección de rocas, forma parte del patrimonio geológico mueble, máxime si se tiene en cuenta que los ejemplares de dos de las estaciones pertenecen a sendos LIG: TM100 "Yesos de la Unidad Intermedia del Mioceno" y TM096 "Paleokarst y calcretas del límite Mioceno-Plioceno en Cabañas de Yepes".

Abstract

The use of rock gardens as an educational or informative resource of geology is becoming widespread. The public can see geological materials up close and even touch them directly. In addition, rock specimens are usually accompanied, on the one hand, by simple and attractive explanatory panels, which facilitate the understanding of complicated geological concepts, and, on the other hand, by QR codes, which allow access to internet information using smart phones that further explain these concepts for the most interested people. In this study, the case of Huerta de Valdecarábanos rock garden (Toledo province), located in the southern zone of the cenozoic Madrid Basin, is illustrated. The rock garden is at the top of the hill of Nª Sª del Rosario de los Pastores Hermitage and consists of 18 observation points of rock samples taken around the town, with their corresponding ID signs and QR codes. Two large explanatory panels that specify the general geology of the Madrid Basin and the peculiarities of the area complement specimens. The particularity of this geoscience garden is that the outcrop where the specimens were taken can be visualized from each station. In this way, the hill represents a real and tangible directory of the geology of the area. The importance of this garden is also evident in the fact that the garden, being a rock collection, is part of the movable geological heritage, especially if we consider that the specimens of two of the stations belong to two POGI: TM100 "Detrital gypsum deformed at the base of the Miocene Intermediate Unit" and TM096 "Paleokarst and laminar calcrete of the Miocene-Pliocene boundary in Cabañas de Yepes".

Salir con una Geóloga: el "Geocómic" cómo método de entretenimiento y divulgación de las Ciencias de la Tierra

Dating a Geologist: "Geocomic" as an entertainment and outreach tool in Earth Sciences

S. Schamuells[1]

1 Dept. Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Univ. Barcelona. Marti Franques s/n, 08028, Barcelona. sschamuells@gmail.com

Palabras clave: Salir con una Geóloga, divulgación, cómic, geología, entretenimiento.

Resumen

Las Ciencias de la Tierra son citadas en innumerables ficciones, como por ejemplo en el cómic. Sin embargo, éstas no suelen profundizar demasiado en cuanto a geología se refiere. El universo "Salir con una Geóloga" (@salirconunageologa) nace no sólo como método de divulgación, sino también para dotar a la ciencia ficción de un mundo protagonizado íntegramente por las Ciencias de la Tierra. Para ello la autora de estos cómics, o *geocómics*, se vale de una protagonista geóloga, Nia Stone, y un mundo inclusivo y *no binario* en el que los personajes viven aventuras que muestran cómo funciona el mundo de "*les geólogues*" de manera divertida y cercana. Además de las historias originales, destacan también las adaptaciones de escenas míticas de películas, cuya finalidad es dar a conocer el extenso mundo geológico que puede haber detrás de la ficción consumida por el público general. Hasta la fecha la página de divulgación ha publicado un total de 17 historietas a color de aproximadamente seis viñetas, entre las que destacan capítulos como "*La Feria*" o "*Anécdotas Geológicas*". A lo largo de 2020 la página se ha ido haciendo un hueco en el mundo de la divulgación, llegando a contar con más de 10300 seguidores y un alcance máximo de 37000 usuarios en *Instagram* en la actualidad. Más allá de las publicaciones periódicas de cómics, "Salir con una Geóloga" realiza activamente otros métodos divulgativos como charlas, dibujos, figuras, animaciones y humor, acercando y explicando toda clase de procesos geológicos al público general y especializado.

Abstract

Earth Sciences are often a side topic in a lot of fictions, such as comics. However, stories that surround geosciences are usually trivial. The universe of "Dating a Geologist" (@salirconunageologa) was born not only as an outreach tool, but also because of the need of a universe lead by Earth Sciences. The author creates a world with a main she-geologist character, Nia Stone, in an inclusive-genderqueer universe where every character lives adventures that show how the Earth runs from the point of view of a geologist. In addition to the original episodes, the series count with some very special crossovers adapting classic scenes from fictions showing the geological background of all the content that the general public consumes. Seventeen episodes have been realized, standing out publications as "The fair" or "Geologist anecdotes". During 2020 this media page has reached 37k users on Instagram, counting about 10.3 k followers at the present time. Furthermore, "Dating a Geologist" publishes periodically other kinds of creative content, such as hilarious drawings, scientific figures, and animation short films that explain Earth Sciences using an easy-language that fits the audience.

GEODA: Comisión de Divulgación de la Sociedad Geológica de España

GEODA: Geological Society of Spain Outreach Commission

S. Schamuells[1,2], G. Sánchez[1,3], O. Sánchez[1,4], D. Sanz-Pérez[1,5] y O. Dorado[1,2,6]

1 Comisión de Divulgación de la Sociedad Geológica de España.
2 Dept. Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Univ. Barcelona. Marti Franques s/n, 08028 Barcelona, España. sschamuells@gmail.com
3 Dpto. Técnico CIMENTER Cimentaciones Especiales. gersango@gmail.com
4 Centro Oceanográfico de Málaga. Instituto Español de Oceanografía. osanchezguillamon@gmail.com
5 Facultad de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense de Madrid, España. dasanz01@ucm.es
6 Geosciences Barcelona, GEO3BCN-CSIC, Lluis Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España. olayadorado@gmail.com

Palabras clave: divulgación, asociación, SGE, Ciencias de la Tierra.

Resumen

Una de las tareas más relevantes de la ciencia es transmitir sus conocimientos más allá de lo estrictamente científico. La divulgación en Ciencias de la Tierra sigue siendo una tarea en desarrollo, una disciplina que en los últimos años ha ido ganando relevancia con la figura de las/os divulgadoras/es científicas/os. La Comisión de Divulgación de la Sociedad Geológica de España -GEODA- nace como respuesta a este movimiento en auge. Dentro de los objetivos de la Comisión se establece crear y compartir contenido único y original, con un lenguaje ameno, cercano e inclusivo, así como favorecer el intercambio de experiencias entre divulgadoras/es. Además pretende promover la divulgación geológica responsable y establecer mecanismos de difusión en todos los formatos disponibles que contribuyan a la información, formación, participación y sensibilización en la divulgación geológica y disciplinas afines. Se impulsará la creación y consolidación de un repositorio propio y base de datos web con las páginas de divulgación en Ciencias de la Tierra. A su vez se evaluará el desarrollo de acciones y estrategias de divulgación para crear vías de conexión con las administraciones públicas y demás instituciones sociales, científicas y medios de comunicación. Para todos estos fines se organizarán diversas actividades, como congresos y encuentros, charlas presenciales o virtuales, salidas de campo, actividades abiertas al público y encuentros de divulgadores. El contenido creado y compartido se publicará periódicamente en la web de GEODA y sus redes sociales (Instagram, Twitter y Facebook). Se realizarán reuniones de carácter divulgativo, publicaciones, investigaciones, estudios y artículos de interés general y cualquier otro medio que lleve a un mayor acercamiento y cooperación entre sus colaboradores y público, así como con grupos y asociaciones de características similares.

Abstract

One of the most important tasks of science is to transmit its knowledge beyond the scientific community. Earth Sciences outreach is still a work in progress, a discipline that in recent years has been gaining relevance with the figure of science communicators. The GEODA Outreach Commission of the Geological Society of Spain was born in response to this movement. One of the goals of the Commission is to create and share unique and original content, with a pleasant, friendly and inclusive language, and to promote the interchange of experiences between disseminators. In addition, to promote responsible geological outreach and to establish dissemination mechanisms in all formats that contribute to information, training, participation and awareness-raising in geological outreach and related disciplines. The consolidation and creation of a repository and web database of Earth Sciences outreach pages will be promoted. The development of dissemination actions and strategies will be evaluated in order to create and develop channels of connection with public administrations, social and scientific institutions and the media. For all these purposes, various activities will be organised: congresses and meetings, face-to-face or virtual talks, field trips, activities open to the public and meetings of disseminators. Contents created will be published periodically on the GEODA website and its social media (Instagram, Twitter and Facebook). The Commission will carry out informative meetings, research, scientific publications, studies and articles of general interest, and any other methods to strengthen the cooperation between GEODA's collaborators and the public or other groups/associations with similar characteristics.

Evolución de las concepciones de futuros maestros sobre la formación de montañas tras una secuencia de modelización que incluye trabajo de campo

Evolution of preservice teachers' conceptions about the mountain building after a modelling sequence that includes fieldwork

N. Seijas[1] y A. Uskola[1]

1 Dpto. Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales. Fac. Educación, Barrio Sarriena s/n, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea - UPV/EHU. nahiaseijas@gmail.com; araitz.uskola@ehu.eus

Resumen: Comprender el origen de las montañas ha supuesto grandes dificultades y controversias a lo largo de la historia de la geología, problema que, hasta el desarrollo de la teoría de la Tectónica de Placas, ya en el siglo XX, no había sido resuelto. Muchas de estas dificultades se hallan también en los modelos mentales del alumnado. El objetivo de este estudio es comprender las concepciones acerca del origen de las montañas y su evolución tras una secuencia didáctica de modelización que incluye trabajo de campo. Para ello se han analizado 130 representaciones de estudiantes del Grado de Educación Primaria de la UPV/EHU sobre el interior de las montañas. Los resultados muestran que la secuencia ha tenido un impacto positivo en la superación de las ideas alternativas iniciales. Se concluye que este tipo de secuencias, basadas en datos y observaciones reales, puede ayudar al alumnado a superar las preconcepciones habituales de esta ciencia.

Palabras clave: origen de las montañas, ideas alternativas, salidas de campo, modelización.

Abstract: *Understanding mountain building has been very difficult and controversial during the history of geology, and this problem has not been solved until the development of the Plate Tectonics theory in the 20th century. Many of these difficulties persist in students' mental models too. The objective of this study is to understand students' conceptions about the origin of mountains and also the evolution of these conceptions after a modelling didactic sequence that includes fieldwork. To this end, 130 representations of the inside of a mountain have been analysed, made by Primary School Teaching students from UPV/EHU students. Results show the sequence has been useful to help students improving their previous ideas. Sequences like this, based on real data and observations, can help students to overcome typical misconceptions of this science.*

Keywords: *mountain building, previous ideas, field trips, modelling.*

MARCO TEÓRICO

La teoría de la Tectónica de Placas es un paradigma fundamental en las Ciencias de la Tierra, ya que permite explicar todos los fenómenos geológicos de manera integradora, desde una visión sistémica del planeta Tierra. Por ello esta teoría constituye una de las ideas clave de la propuesta curricular "Alfabetización en Ciencias de la Tierra" (Pedrinaci *et al.*, 2013) y es uno de los contenidos geológicos que más presencia tiene en el currículo oficial de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato.

Aunque esta teoría pueda explicar una variedad enorme de procesos geológicos, entre los que destaca el origen del relieve terrestre (formado por la interacción entre la dinámica de las placas litosféricas, la gravedad y el flujo térmico), en el aula de ciencias habitualmente se relaciona únicamente con los eventos geológicos catastróficos para el ser humano, fundamentalmente con la actividad sísmica y volcánica (Alfaro *et al.*, 2013).

De hecho varios estudios han observado que el alumnado presenta ideas inmovilistas cuando es preguntado por el origen de las montañas (Pedrinaci, 1987; Lillo, 1993), lo que denota que no se logra conectar el modelo de la tectónica de placas con la formación de los elementos del relieve.

Una de las formas de hacer que el alumnado exprese su modelo mental para la formación de las montañas de manera indirecta es pedirle un dibujo del interior de ésta, puesto que detrás de cada representación del interior de una montaña subyace una idea sobre su origen, como se verá en este estudio.

El objetivo de esta investigación es conocer las ideas previas de alumnado del Grado de Educación Primaria sobre el origen de las montañas, así como su evolución tras el desarrollo de una secuencia didáctica de modelización que incluye salida de campo.

METODOLOGÍA

Se ha desarrollado una secuencia didáctica de modelización basada en la construcción del modelo de cambio geológico (Bach y Márquez, 2017), incluyendo una salida de campo. El objetivo de la secuencia era que el alumnado

reconstruyese la historia geológica del diapiro de Orduña y comprendiese el funcionamiento del sistema hidrogeológico a escala de valle. Esta secuencia, con algunas modificaciones, se ha llevado a cabo dos años consecutivos con alumnado de 4º curso del Grado de Educación Primaria de la UPV/EHU (cursos 2018-19 y 2019-20), y en las dos ocasiones se le ha pedido que represente una montaña por dentro, antes y después de la secuencia (en el pre-test y el post-test).

El curso 2018-19 la salida de campo se programó al inicio de la secuencia, y las observaciones y datos recogidos en ella, con la ayuda de un mapa, se utilizaron para construir posteriormente dos maquetas: la mitad de los grupos elaboraron maquetas sobre el sistema hidrogeológico de la zona y la otra mitad sobre la evolución del diapiro de Orduña.

En el curso 2019-20 se incorporaron mejoras a la secuencia: todos los grupos empezaron construyendo una primera maqueta sobre el sistema hidrogeológico de Orduña antes de la salida. Posteriormente, tras estar en el campo, debían evaluar y modificar sus maquetas iniciales para hacerlas coherentes con lo observado en la realidad. Por último se trabajó con mapas para reconstruir la evolución del diapiro y se les pidió elaborar un vídeo que lo explicase.

En este trabajo se ha denominado "montaña" a toda elevación respecto del relieve circundante, delimitada por laderas con grandes pendientes y con relieve abrupto (Carcavilla, 2018), de modo que no sólo se incluyen los orógenos.

RESULTADOS

Para analizar las respuestas de los estudiantes se han interpretado conjuntamente los dibujos y explicaciones escritas, categorizando las representaciones en cinco grupos, que se describen y ejemplifican en la Tabla I. Tan sólo se han analizado las representaciones de aquellos estudiantes que hicieron ambos test, por lo que la muestra es de 35 estudiantes en el curso 2018-19 y 30 en el curso 2019-20.

Los modelos de formación de montañas que se extraen de estas representaciones son principalmente dos:

1. Montaña como acumulación: CAT 1-2-3.
2. Montaña como cuerpo rocoso formando parte de la corteza terrestre: CAT 4-5.

Algunas representaciones que no han podido ser identificadas en este esquema se han categorizado como "otros". Los resultados obtenidos tras categorizar las respuestas del alumnado, de acuerdo con la clasificación de la Tabla I, se muestran en las Figuras 1 y 2.

Agrupando las representaciones de montaña como cuerpo rocoso (CAT 4-5) y el resto de representaciones (CAT 1-2-3 y "otros"), se puede observar que en los dos cursos la mayoría de estudiantes parte con una idea de montaña bastante alejada de la realidad, que mejora sustancialmente en el cuestionario final (Tabla II). Como se aprecia, tan sólo el 37% de las respuestas del pre-test del curso 2018-19 y el 13% del curso 2019-20 dibujan montañas formadas por rocas. El resto son, en su mayoría, representaciones de material no consolidado (CAT 1 y 2) que suman un 51% de las representaciones del pre-test del curso 2018-19 y un 73% de las del curso 2019-20. Tras la secuencia se observa que la situación se invierte, y que la mayoría de estudiantes representa montañas formadas por rocas: el 66% del curso 2018-19 y 80% del curso 2019-20

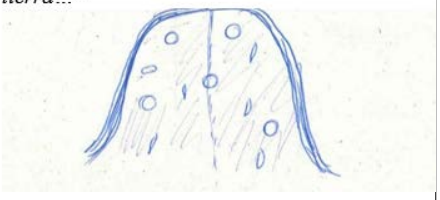
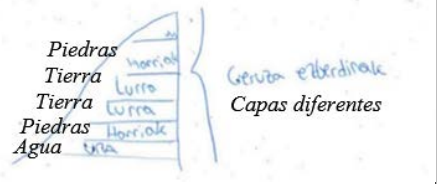
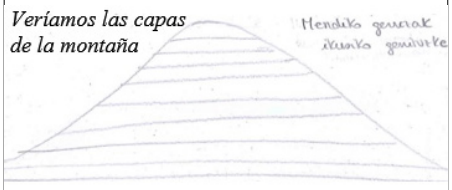
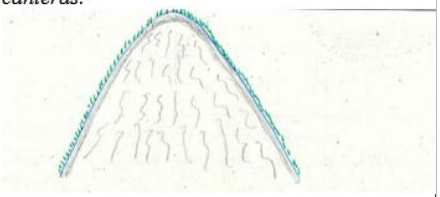
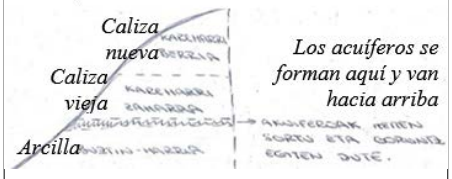
CATEORÍA	EJEMPLO
CAT1. Montañas de material no consolidado (tierra, cantos rodados, sedimentos)	"*Si cortásemos una montaña por la mitad, veríamos el interior de la montaña: piedras, tierra…*" 
CAT2. Montañas de material no consolidado (tierra, cantos rodados, sedimentos) dispuesto en capas	"*Hay tierra, piedras… sedimentos y capas diferentes, y también seres vivos y agua.*" 
CAT3. Montañas formadas por capas (sin especificar material)	*Veríamos las capas de la montaña* 
CAT4. Montañas formadas por un cuerpo de roca	*"En la primera capa habría tierra dependiendo del sitio y de la montaña, y después todo lo demás sería piedra, como se ve en las canteras."* 
CAT5. Montañas formadas por estratos de roca	*"Una montaña está formada por piedra, de hecho la montaña de Orduña está formada de caliza y arcilla."* 

TABLA I. Clasificación de las representaciones de estudiantes del Grado de Educación Primaria sobre el interior de las montañas. Se han identificado 5 tipos principales.

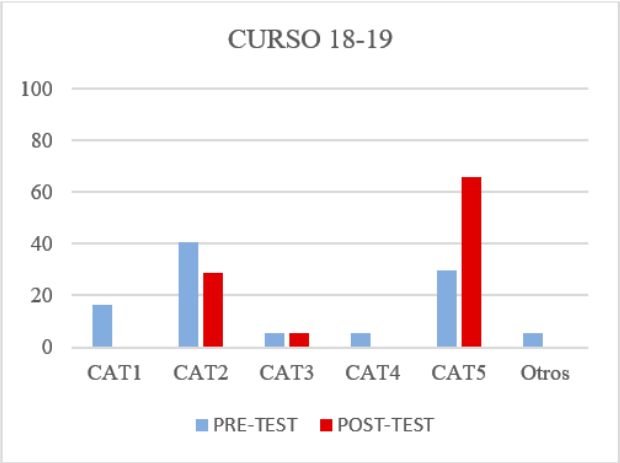


FIGURA 1. Porcentaje de representaciones del interior de una montaña hechas por estudiantes del Grado de Educación Primaria (curso 2018-19), por categoría. Se muestran los resultados antes y después de la secuencia didáctica (pre-test y post-test).

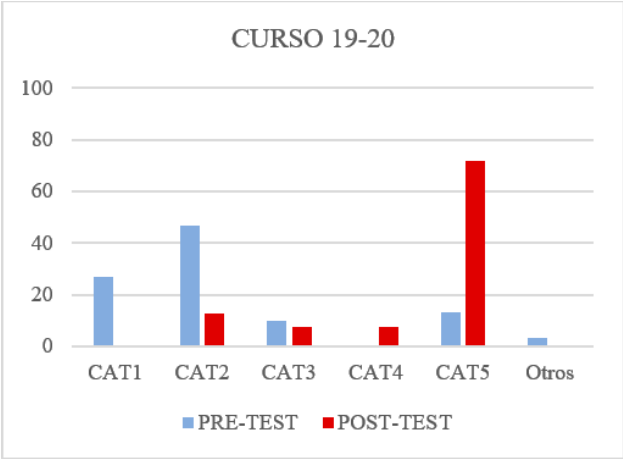


FIGURA 2. Porcentaje de representaciones del interior de una montaña hechas por estudiantes del Grado de Educación Primaria (curso 2019-20), por categoría. Se muestran los resultados antes y después de la secuencia didáctica (pre-test y post-test).

	CURSO 2018-19		CURSO 2019-20	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Roca (CAT 4-5)	37%	**66%**	13%	**80%**
Resto (CAT 1-2-3 y "otros")	**63%**	34%	**77%**	20%

TABLA II. Evolución de las respuestas del alumnado sobre el interior de las montañas antes y después de la secuencia didáctica, para los cursos 2018-19 y 2019-20. En ambos cursos se observa que las montañas representadas como cuerpos rocosos son minoritarias en el pre-test y mayoritarias en el post-test.

Dentro de las representaciones de material no consolidado llama la atención el gran número de estudiantes que dispone este material en capas (CAT2), dando a entender un proceso de adición a lo largo del tiempo. En el pre-test el 37% de las representaciones del curso 2018-19 y el 47% del 2019-20 se han incluido en esta categoría, disminuyendo este porcentaje en el post-test, con el 29% de las representaciones del curso 2018-19 y el 13% en el curso 2019-20.

A pesar de no tener mucho peso porcentual (5% de las representaciones del pre-test en el curso 2018-19 y 3% del curso 2019-20), los esquemas categorizados como "otros" son interesantes para observar la incorporación cuestionable de la teoría de la Tectónica de Placas en los esquemas mentales inmovilistas del estudiantado. Como se muestra en los ejemplos de la Figura 3, se representan placas litosféricas rígidas a escala espacial perceptible para el ser humano (la montaña es la placa), que colisionan entre sí sin apenas deformarse, y donde los huecos entre ellas se rellenan por material no consolidado, como tierra o cantos rodados.

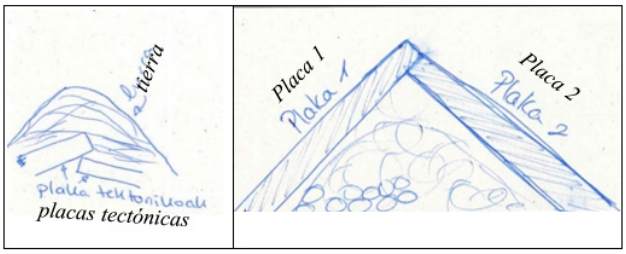


FIGURA 3. Ejemplos de representaciones de montañas hechas por dos estudiantes (pre-test del curso 2018-19). En ambos dibujos se representan placas litosféricas rígidas colisionando entre sí para formar las montañas. A ellas se le añade por encima (izquierda) o por debajo (derecha) material no consolidado.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con el análisis de los cuestionarios iniciales (pre-test) dejan patentes ciertos aspectos sobre las ideas previas del alumnado en cuanto a los procesos de formación de montañas, que se pueden resumir en tres puntos:

1. El alumnado intuye que las montañas se han formado por acumulación y no por interacción. Esta visión tiene similitudes con las tesis neptunistas de los siglos XVII-XIX y deja patentes las ideas fijistas que subyacen en sus modelos mentales. La dificultad para interpretar los fenómenos naturales como producto de procesos de interacción se ha relacionado con la falta de visión sistémica (García, 2001) y tanto esto como el pensamiento fijista han sido obstáculos epistemológicos de la historia de la Geología, y también parecen ser obstáculos para nuestros estudiantes (Pedrinaci, 2003).

2. El alumnado parece tener problemas para comprender el proceso de diagénesis, ya que un elevado número de ellos representa capas, mostrando así una historicidad, pero de materiales no consolidados (tierra, piedras, sedimentos). Esto significa que asimilan los procesos sedimentarios (erosión, transporte, sedimentación) y entienden que se suceden a lo largo del tiempo (poco tiempo, al parecer) depositándose las capas más nuevas encima de las más viejas, pero les cuesta entender el paso de sedimento a roca sedimentaria. Comprender el concepto

de diagénesis ha supuesto muchas dificultades históricamente y ha constituido un obstáculo de primera magnitud para interpretar los fósiles (Pedrinaci, 1992).

3. Las representaciones analizadas reflejan que las montañas no se entienden como parte del sistema de la corteza terrestre, y por tanto tampoco se ve que estén bajo la influencia de los esfuerzos corticales. Más bien parece que se perciben como material adicional superpuesto a un relieve que, de origen, se intuye llano. Esta concepción tiene mucha relación con la idea aristotélica de que el reposo es el estado natural de los objetos y también concuerda con las explicaciones pre-científicas del siglo XVII, que entendían las montañas como elementos super-puestos o alteraciones creadas por el Diluvio Universal sobre una regularidad antigua, formada durante la Creación (García, 2007). La idea de que los materiales terrestres son tan antiguos como el propio mundo, que sostenía el Creacionismo, es un gran obstáculo epistemológico que impide el cuestionamiento sobre el origen de las rocas y el relieve, y que se encuentra a menudo en los modelos mentales de los estudiantes (Pedrinaci, 2003).

Como se ha señalado con los ejemplos de la Figura 3, los estudiantes muestran dificultades cuanto tratan de introducir las placas litosféricas en el proceso de formación de montañas, algo que también señalan otros estudios (Pedrinaci, 1987; Lillo, 1993). En nuestra opinión, antes de trabajar esta teoría en el aula convendría cerciorarse de que se comprende que la corteza terrestre (¡y el manto!) está formada por roca sólida y competente, que sin embargo a grandes escalas de tiempo, y bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, puede actuar de manera plástica y deformarse en estado sólido.

En esta secuencia el alumnado ha reconstruido la historia geológica del valle de Orduña y cómo funciona el sistema hidrogeológico de la zona gracias a los datos recogidos en una salida a la zona. Los resultados del cuestionario final (post-test) muestran una evolución muy positiva de la concepción de montaña del alumnado después de esta secuencia: en ambos cursos la mayoría representa montañas formadas por rocas en el post-test.

En este punto cabe destacar que la evolución ha sido más acusada en el curso 2019-20. Parece que los cambios introducidos en la secuencia didáctica en dicho curso han influido en esta mejoría, en concreto el hecho de que el alumnado haya realizado maquetas de la montaña antes de salir al campo, que después de lo observado en Orduña ha tenido que evaluar y modificar. De hecho todas las maquetas anteriores a la salida fueron realizadas con tierra o materiales análogos, algo que en la salida se comprobó erróneo y que tuvo que modificarse al volver al aula.

CONCLUSIONES

Consideramos que ser consciente de la composición y estructura de las montañas es un paso fundamental (aunque no único) para comprender la geosfera de manera sistémica; esto es, llena de interacciones entre sus diferentes subsistemas y con el resto de sistemas terrestres. Como se concluye de este estudio, las secuencias didácticas contextualizadas que incluyen salidas de campo pueden ser muy efectivas para lograrlo, ya que favorecen la observación y la extracción de datos reales que sirvan para poner en conflicto las pre-concepciones habituales sobre el origen del relieve.

AGRADECIMIENTOS

Al alumnado que participó en esta investigación.

REFERENCIAS

Alfaro, P., Alonso-Chaves, F.M., Fernández, C. y Gutiérrez-Alonso, G. (2013): La tectónica de placas, teoría integradora sobre el funcionamiento del planeta. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2): 168-180.

Bach, J. y Márquez, C. (2017): El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3): 302-309.

Carcavilla, L. (2018): Ideas-clave para entender la formación de las montañas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 26(1): 11-22.

García, C.M. (2007): El origen de las montañas. I. Del mito y la superstición al neptunismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1): 16-29.

García, J.E. (2001): La construcción de la noción de interacción. *Alambique*., 27: 92-106

Lillo, J. (1993): Errores conceptuales de los alumnos de la EGB sobre la formación de las montañas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(2): 98-106.

Pedrinaci, E. (1987): Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la Escuela*, 2: 65-74.

Pedrinaci, E. (1992): Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las ciencias,* 10(2): 216-222.

Pedrinaci, E. (2003): La enseñanza y el aprendizaje de la geología. En: *Enseñar ciencias* (M.P. Jiménez-Aleixandre, ed.). Graò, Barcelona, 147-174.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013): Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2): 117-129.

Enseñanza y divulgación a través del Canal Geología & Historia

Education and Dissemination through the Geology & History Channel

E. Vindel[1] y M.A. Miñón[2]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid. evindel@ucm.es
2 Aulas de la Experiencia de Álava, Universidad del País Vasco, UPV/EHU. m.angelminon@gmail.com

Palabras clave: Canal Geología e Historia, enseñanza multidisciplinar, divulgación.

Resumen

La relación entre la Geología y la Historia se inició en los comienzos de la Humanidad. A pesar de ello, la enseñanza interdisciplinar entre Geología y Humanidades tiene escasa o nula presencia en los planes de estudios universitarios y pre-universitarios. En 2009 un grupo de profesoras y profesores se interesó por esta temática y comenzó a trabajar en varios proyectos sucesivos "Innova-Docencia" de la UCM, realizando una de serie de videos educativos y divulgativos rodados en diversas áreas geográficas. En ellos se refleja la decisiva influencia de la Geología en la Historia, como por ejemplo el uso del oro por culturas andinas, el de la turquesa por los nativos del suroeste norteamericano, la presencia determinante del cobre en la cultura tartesia del suroeste de la península ibérica, la utilización del jade por los maoríes en Nueva Zelanda o el espato de Islandia, posible clave en la navegación de los vikingos islandeses por el mar del Norte. Así mismo, y como complemento, se han recreado distintos procesos geológicos, como la dorsal meso-atlántica en Islandia, la formación del ámbar, la zona de subducción y los procesos volcánicos en Nueva Zelanda o la creación del flysch de Zumaia. Este último sirvió también como marco para una experiencia de divulgación geológica inclusiva para personas con sordoceguera. Los 17 vídeos producidos hasta el momento están reunidos en un canal temático de nombre "Geología & Historia" (https://www.youtube.com/channel/UCYGKijud1L0MeSwuU1-jeBA), útil tanto en docencia como en divulgación. Desde su creación en 2013 el canal ha alcanzado más de 106000 visitas y 624 suscriptores, lo que corrobora la enorme difusión que se alcanza con el uso de plataformas digitales, como puede ser YouTube. En esta comunicación se presenta la actividad del Grupo de Trabajo y se visionará un pequeño vídeo resumen que recoge las contribuciones más relevantes del Canal Geología & Historia.

Abstract

The relationship between Geology and History began at the dawn of Humanity. In spite of this fact, an interdisciplinary approach between Geology and Human Sciences is not included in academic studies. In 2009, a group of professors interested in this topic began to work in successive "Innova-Docencia" projects of the Complutense University of Madrid, carrying out several educational and science communication videos filmed in different parts of the Earth to show the relevant influence of Geology in History. Among other topics, the series shows the use of gold by ancient Andean cultures and turquoise by Southwestern Native Americans, the great presence of copper in the Tartessian culture of the Southwestern Iberian Peninsula, the use of jade by Maori people in New Zealand or the probable influence of Iceland spar in Vikings' sailing. In the videos, different geological processes have also been simulated, such as the Mid-Atlantic Ridge in Iceland, volcanism in New Zealand or the Zumaia flysch. In the last one, it also included an experience with deafblind people to promote functional diversity in science. The 17 videos have been gathered in the Geology & History Channel, which currently has 624 subscribers and over 106000 views (https://www.youtube.com/channel/UCYGKijud1L0MeSwuU1-jeBA). A short video that summarizes the most relevant contributions of the Channel will be presented at the meeting.

Paleomagnetic constraints on the kinematics of inverted passive margins with salt diapiric structures. Preliminary results from syndiapiric overburden rocks of the northern margin of the Basque-Cantabrian extensional Basin.

Control paleomagnético de la cinemática de márgenes pasivos invertidos con estructuras salinas diapíricas. Resultados preliminares en sedimentos sindiapíricos del margen norte de la cuenca extensional Vasco-Cantábrica.

E. Beamud[1,2], E. Roca[1], R. Soto[3], C. Peigney[1], E. L. Pueyo[3]

1 Geomodels UB Research Institute, Dept. de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona. betbeamud@ub.edu, eduardroca@ub.edu; c.peigney@ub.edu

2 Paleomagnetic Laboratory CCiTUB-Geo3BCN CSIC, 08028 Barcelona.

3 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala 44, 9ºB, 50006 Zaragoza. r.soto@igme.es, unaim@igme.es

Abstract: *Salt levels deposited prior to deformation in either passive margins or orogenic settings generate a decoupling in deformation, with differential deformation in layers above and below the salt detachment. Distribution of salt detachments controls differential shortening and formation of orogenic arcs; and widespread diapirism can generate isolated minibasins which may record vertical axis rotations during their development. Our study aims to unravel the kinematics of salt diapiric structures by means of a paleomagnetic study of a portion of the Basque Arc, in the northern margin of the Basque-Cantabrian extensional Basin, where the salt overburden appears compartmentalized by several salt walls (Bakio, Bermeo, Guernica and Mungia diapirs). In this setting, 65 paleomagnetic sites from the overburden sequence have been analyzed. Predominant anticlockwise rotations with some clockwise and anticlockwise rotations in opposing flanks of the salt walls are observed. Fold tests reveal that some of the sites are clearly remagnetized, whereas some other sites show a prefolding magnetization. These observations are confirmed by magnetic hysteresis and back-field experiments in part of the studied rocks. Although further analyses will be necessary to explain the origin and distribution of the remagnetization, a preliminary kinematic model for the suprasalt deformation together with the underlying decoupled autochtonous materials can be established.*

Keywords: *Paleomagnetism, vertical axis rotation, salt tectonics, remagnetization, Basque-Cantabrian Basin.*

Resumen: Los niveles salinos depositados antes de la deformación, tanto en márgenes pasivos como en contextos orogénicos, producen una deformación diferencial en los niveles por encima y por debajo del despegue salino. La distribución de los despegues salinos controla el acortamiento diferencial y la formación de arcos orogénicos y el diapirismo puede generar minicuencas asociadas a rotaciones de ejes vertical durante su desarrollo. Nuestro estudio, con 65 estaciones paleomagnéticas, pretende deducir la cinemática de estructuras salinas mediante el estudio de una porción del Arco Vasco, en el margen norte de la Cuenca extensiva Vasco-Cantábrica, donde la cobertera de la sal está compartimentada por varias paredes salinas (diapiros de Bakio, Bermeo, Guernica y Mungia). Los resultados muestran rotaciones antihorarias predominantes y rotaciones horarias y antihorarias en flancos opuestos de los diapiros. Los test del pliegue revelan que algunas estaciones están remagnetizadas mientras otras muestran magnetizaciones "prefolding". Los experimentos de magnetismo de rocas en parte de las muestras estudiadas confirman estas observaciones. A pesar de que son necesarios más análisis para entender el origen y la distribución de las remagnetizaciones, es posible establecer un modelo cinemático preliminar de la deformación suprasal junto a los materiales despegados infrayacentes.

Palabras clave: Paleomagnetismo, rotación de eje vertical, tectónica salina, remagnetización, Cuenca Vasco-Cantábrica.

INTRODUCTION

The presence of salt levels deposited prior to deformation in either passive margins or orogenic settings generates a decoupling in deformation, which promotes differential deformation in layers above and below the salt detachment. The distribution and thickness of salt detachment levels controls differential shortening during thrust displacement which can lead to formation of orogenic arcs with associated vertical axis rotations. Moreover, widespread diapirism and halokinetic activity can generate isolated

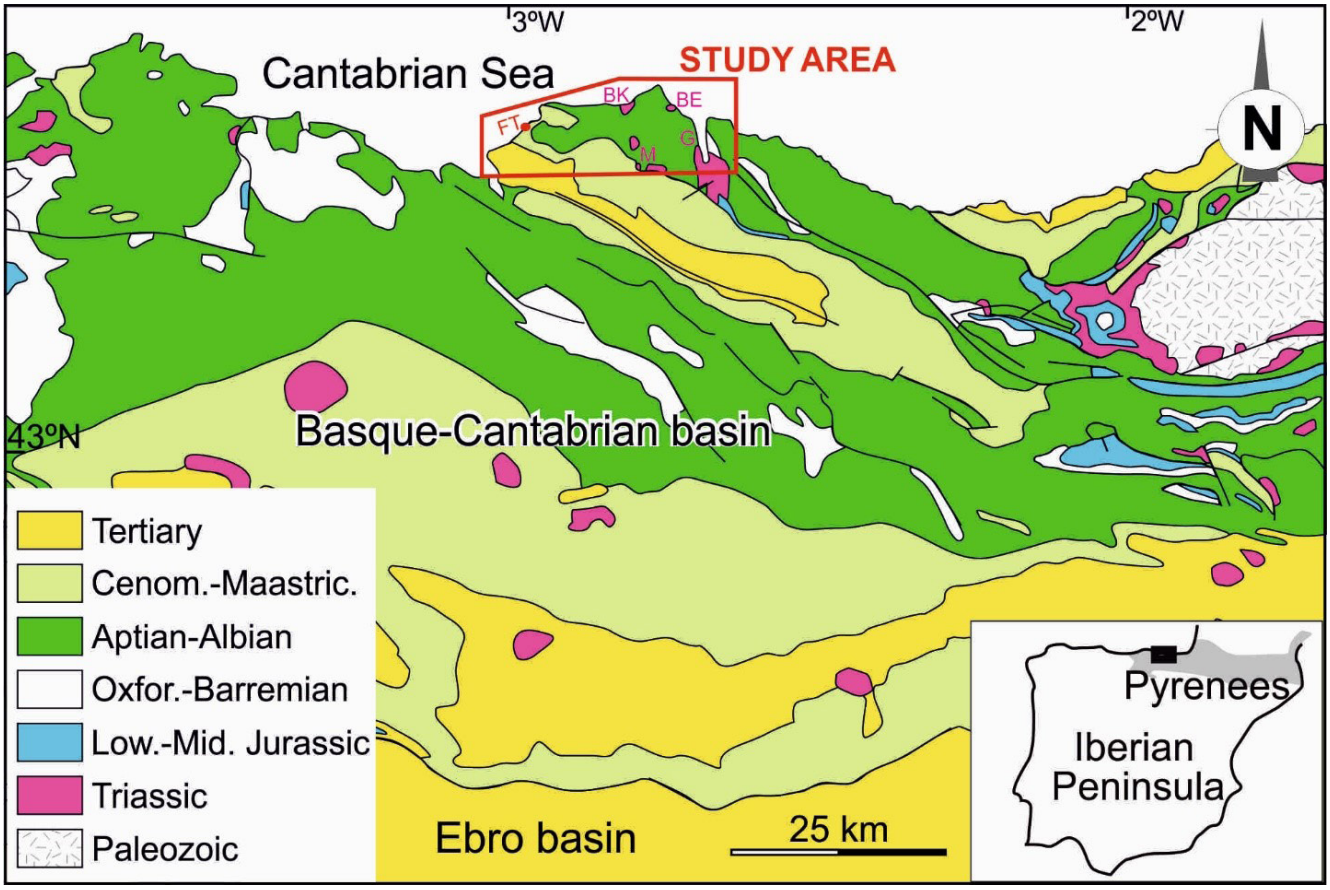


FIGURE 1. Simplified geological map of the Basque-Cantabrian Basin with location of the study area and the studied salt walls: BK: Bakio, BE: Bermeo, G: Guernica and M: Mungia. FT indicates the location of the fold test shown in Figure 3.

minibasins which record significant vertical axis rotations during their development either in extensive or contractive settings. In this work we aim to shed some light on the kinematics of salt diapiric structures by the study of a portion of the Basque Arc (Feuillée and Rat, 1971; Calvo et al, 2007), located at the northern margin of the Basque-Cantabrian extensional Basin (Figure 1). There, the salt overburden (Jurassic to Eocene in age) is displaced several km northwards and appears compartmentalized by several N-, NNE- and WNW-trending salt walls (Bakio, Bermeo, Guernica and Mungia diapirs) (Figure 1). Our paleomagnetic study is designed to detect and quantify vertical axis rotations recorded during both the extensional and later contractional reactivation of the basin margin.

GEOLOGICAL SETTING

The Basque-Cantabrian Basin is a hyperextended uppermost Jurassic to middle Cretaceous basin that formed as the result of the opening of the Bay of Biscay (García-Mondéjar et al., 1996). It was floored by an extremely thinned lithosphere with exhumed mantle, and involved a pre-rift thick Upper Triassic salt layer. This layer decoupled the extensional deformation and generated salt diapirs in both basin margins (Figure 1).

From late Santonian (Late Cretaceous), the Basque-Cantabrian Basin was inverted during the Pyrenean orogeny forming the Basque Pyrenees. The architecture of the Basque Pyrenees was largely determined by the extensional crustal structure of the precursor Basque-Cantabrian Basin and the distribution and geometry of the stretched overlying Upper Triassic salt layer (Ferrer et al., 2008; Ferrer et al., 2014). This last layer, where present, generated a thin-skinned contractional deformation with thrusts and folds that, in the northern basin margin, usually are placed over the subsalt extensional faults (Gómez et al., 2002)

In this scenario, the salt diapirs, formed during the early-middle Cretaceous at the northern margin, were partially or totally squeezed and passively transported towards the north in the hangingwall of the northern Pyrenean thrust system during Cenozoic times. Also they nucleate the suprasalt contractional deformation generating narrow stripes of variable orientations in which the overburden appears strongly deformed by tight detachment folds and minor thin-skinned thrusts.

The study area is located in the central part of this reactivated northern margin of the Basque-Cantabrian Basin (Fig. 1). Specifically, it is located at the northwestern edge of the large North-Biscay and Biscay synclinorium where this structure is well depicted. Here, the diapirs, at surface, are recorded by widespread outcrops of sub-volcanic tholeiitic rocks and red clays intruded by secondary gypsum veins; and the overburden by: a thin Jurassic carbonate

layer, thick Aptian to lower Santonian syn-diapiric carbonate to terrigenous halokinetic sequences with some thick volcanic interbeds, and upper Santonian to Eocene synorogenic deposits.

PALEOMAGNETIC RESULTS

In this regional setting, 65 paleomagnetic sites have been sampled and analyzed in the overburden sequence. Of these, 61 sites were located in the Aptian, Albian and Cenomanian marls, marly limestones and fine grained sandstones, one in upper Albian-lower Cenomanian pillow lavas, another one in the Cenomanian basaltic rocks interstratified with marls and, finally, 2 sites were sampled in Eocene sandstones and marly limestones. Characteristic components of sites composed by sedimentary rocks are usually defined between 200-450 ºC (Figure 2) pointing to titanomagnetite or fine grained magnetite as the main remanence carrier.

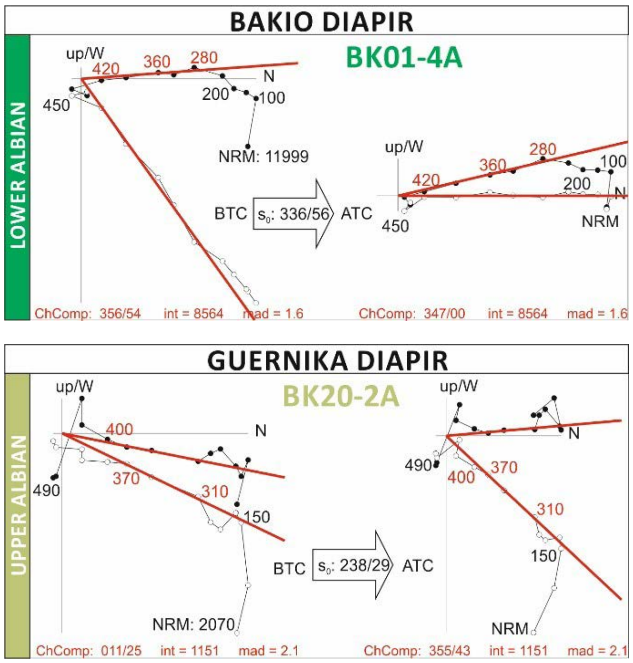


FIGURE 2. Demagnetization diagrams of representative samples of the Bakio Diapir (BK01-4) and Guernika Diapir (BK20-2a). Red line represents the characteristic component obtained for the selected range of temperatures, also indicated in red.

Mean directions at site level show predominant anticlockwise rotations with some clockwise and anticlockwise rotations in opposing flanks of the salt diapirs. All directions yield normal polarity, as expected by the age of the rocks, which (except the Eocene sites) coincide with the Cretaceous superchron C34n. However, some of the sites are clearly remagnetized as they yield negative fold tests (Figure 3), whereas some other sites show a prefolding magnetization (Figure 4).

Several rock magnetism experiments (IRM acquisition, Lowrie test, hysteresis analyses and back field experiments) have been conducted in order to understand the remagnetization mechanism

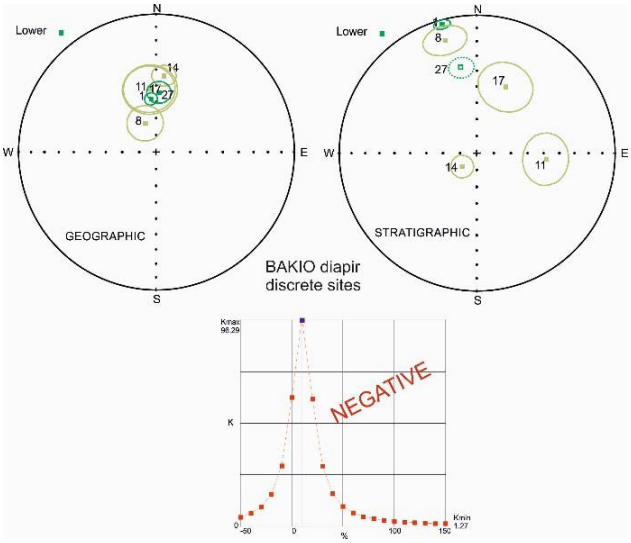


FIGURE 3. Fold test for the Aptian-Albian successions on the Bakio Diapir (BK in Figure 1). A better grouping is attained in geographic coordinates, revealing a negative fold test and a postfolding magnetization.

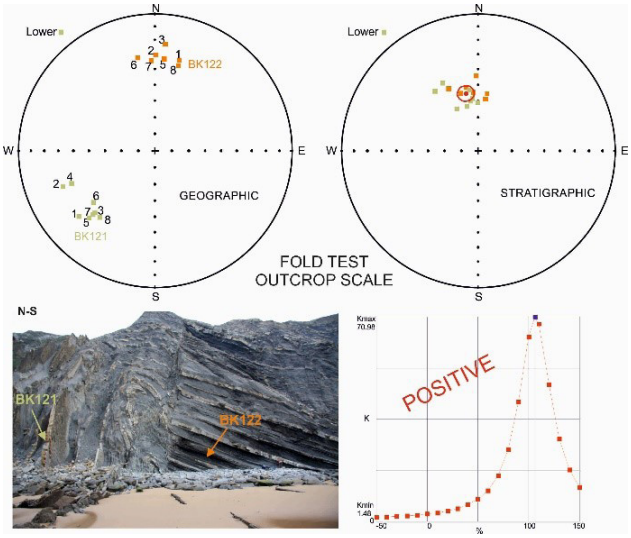


FIGURE 4. Fold test at outcrop scale (FT, in Figure 1). Sampled materials correspond to Upper Cenomanian-Coniacian marls and marly limestones. Site 121 was sampled in the northern flank of the anticline and site 122, in the southern one. A better grouping is attained in stratigraphic coordinates, revealing a positive fold test and a prefolding magnetization.

DISCUSSION

The spatial location of remagnetized rocks does not show a distinct structural pattern and further analyses will be necessary in order to explain the origin and distribution of the remagnetization. The age of the observed remagnetization is difficult to assess, since the folds affecting the studied materials were formed at separated moments by two different mechanisms:

1) Synsedimentary origin linked to the growth of the diapirs (Aptian-Albian)

2) Folds related to the Pyrenean deformation (late Santonian-middle Miocene)

Partial remagnetization has also been faced in Maastrichtian rocks from the Sopelana and Zumaia magnetostratigraphic sections, near the study area (Moreau et al., 1994; Batenburg et al, 2012). These authors observed that marls are more often affected by remagnetization in these sections, and they explain it as an effect of postdepositional selective diagenetic processes.

Although the aforementioned uncertainties, the obtained results allow establishing a preliminary kinematic model for the suprasalt deformation together with the underlying decoupled autochthonous materials, since the observed vertical axis rotations in either in situ or corrected coordinates follow the same pattern.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by the project SALTCONBELT-CGL2017-85532-P, funded by Agencia Estatal de Investigación (AEI) and FEDER. Some of the authors are members of the consolidated research group of Geodynamics and Basin Analysis 2017SGR596 of the Generalitat de Catalunya.

REFERENCES

Batenburg, S., Sprovieri, M., Gale, A.S., Hilgen, F.J., Hüsing, S., Laskar, J., Liebrand, D., Lirer, F., Orue-Etxebarría, X., Pelosi, N., Smit, J. (2012). *Earth and Planetary Science Letters* 359-360, 264-278.

Calvo-Rathert, M., Cuevas, J., Tubía, J.M., Bógalo, M.F. y Gogichaishvili, A. (2007). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 96, 1163–1178.

Ferrer, O., Roca, E., Benjumea, B., Muñoz, J., Ellouz, N., MARCONI-Team (2008). *Marine and Petroleum Geology* 25, 714–730.

Ferrer, O., Arbués, P., Roca, E., Giles, K., Rowan, M.G., de Matteis, M. y Muñoz, J.A. (2014). *AAPG 2014 Annual Convention and Exhibition*, Search and Discovery Article #41385.

Feuillée, P., Rat, P. (1971). En: *Histoire structurale du Golfe de Gascogne*. (Debyser J, Le Pichon X, Montadert L. Eds), Technip Ed. 1.1–1.48.

García-Mondéjar, J., Agirrezabala, L.M., Aranburu, A., Fernández-Mendiola, P.A., Gómez-Pérez, I., López-Horgue, M., Rosales, I. (1996). *Geological Journal* 31,13–45.

Gómez, M., Vergés, J., Riaza, C. (2002). *Bulletin de la Societe Geologique de France* 173, 449–459.

Moreau,M-G., Cojan,I., Ory,J. (1994). *Earth and Planetary Science Letters* 123, 15–37.

Descenso rápido de la intensidad del campo geomagnético: nuevos datos de arqueointensidad para el I milenio AEC en Uzbekistán.

Rapid decrease of the geomagnetic field intensity: new archaeointensity data for the First Millenium BCE in Uzbekistan.

R. Bonilla-Alba[1,2], M. Gómez-Paccard[2], F. J. Pavón-Carrasco[1], J. del Río[2], E. Beamud[3], V. Martínez-Ferreras[4], J. M. Gurt-Esparraguera[4], E. Ariño-Gil[5], A. Palencia-Ortas[1,2], F. Martín-Hernández[1,2], A. Chauvin[6], M. L. Osete[1,2]

1 Department of Physics of the Earth and Astrophysics, Complutense University of Madrid (UCM), Avd. Complutense s/n, 28040-Madrid, Spain. raquelbo@ucm.es, fjpavon@ucm.es, ali@ucm.es, fatima@ucm.es, mlosete@ucm.es
2 Institute of Geosciences IGEO (CSIC-UCM), Spanish National Research Council, c/ del Doctor Severo Ochoa 7, Edificio Entrepabellones 7 y 8, 28040, Madrid, Spain. mgomezpaccard@csic.es, j.delrio@csic.es
3 Paleomagnetic Laboratory CCiTUB-ICTJA CSIC, Barcelona, Spain betbeamud@ub.edu
4 ERAAUB, Department of Ancient History and Archaeology, University of Barcelona, Carrer de Montalegre, 6-8, 08001 Barcelona, Spain. vmartinez@ub.edu, jmgurt@ub.edu
5 Department of Prehistory, Ancient History and Archaeology, University of Salamanca, Salamanca, Spain. argil@usal.es
6 Univ Rennes, CNRS, Géosciences-Rennes - UMR 6118, F-35000, Rennes, France. Annick.Chauvin@univ-rennes1.fr

Palabras clave: Paleointensidad, arqueomagnetismo, anomalía geomagnética.

Resumen

Reciente estudios arqueomagnéticos han detectado una caída en la intensidad del campo en torno al 3000 BP (Shaar *et al.*, 2016). Este fenómeno se ha observado en distintas partes del mundo, como en Israel, Europa, y Corea. El principal objetivo de este estudio es ampliar nuestro conocimiento acerca del comportamiento espacial y temporal de dicho evento en la región de Asia central durante el I milenio AEC. Para esto se ha utilizado el protocolo de paleointensidad de Thellier en el tratamiento de 141 fragmentos cerámicos procedentes del sur de Uzbekistán. Los experimentos de magnetismo de rocas indican que los principales portadores magnéticos de las muestras son la magnetita y la titanomagnetita. Los resultados obtenidos confirman una caída drástica de la intensidad entre el 400 y el 100 AEC en la zona de Asia central. Por último, se han comparado los valores del Momento Dipolar Virtual Axial (VADM) con el valor del momento dipolar obtenido a partir del modelo global SHA.DIF.14k (Pavon-Carrasco *et al.,* 2014).

Abstract

Recent archaeomagnetic studies has been identified an important intensity bump of the geomagnetic field about 3000 years ago (Shaar et al.., 2016). This phenomenon has been observed in several parts of the world as Israel, Europe and Korea. The main objective of this study is to increase our knowledge about the temporal and spatial behavior in Central Asia and from the first millennium BCE. With this purpose in mind, classical Thellier paleointensity experiments were conducted over a collection of 141 ceramic fragments from South Uzbekistan. Rock magnetic experiments indicate that magnetite and Ti-magnetite are the main magnetic carriers in the studied samples. The new archaeointensity results obtained confirm a drastic fall of the geomagnetic intensity between 400 BCE and 100 BCE in Central Asia. Finally, the virtual axial dipole moment (VADM) values have been compared with the dipolar moment variation predicted by the SHA.DIF.14k global model (Pavon-Carrasco et al., 2014).

Referencias

Pavón-Carrasco, F. J., Osete, M. L., Torta, J. M., & De Santis, A. (2014). A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters*, 388, 98–109.

Shaar, R., Tauxe, L., Ron, H., Ebert, Y., Zuckerman, S., Finkelstein, I., and Agnon, A. (2016). *Earth and Planetary Science Letters* 442: 173–85. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.02.038.

Analizando la cinética de las remagnetizaciones por enterramiento. El caso de la Cuenca turbidítica de Jaca (Pirineos occidentales).

Kinetics of burial remagnetization process. The case of the turbiditic Jaca Basin (Western Pyrenees).

P. Calvín[1], E.L. Pueyo[1], J.C. Larrasoaña[1], R. Egli[2], A. Rodríguez-Pintó[3], E. Izquierdo-Llavall[4], B. Oliva-Urcia[5], E. Beamud[6], A. Payros[7], M.P. Mata[8], A. Orera[9], E. Bellido[8], A. Luzón[10], I. Gil-Peña[8], G. Bernaola[11], M. Montes[8], J.M. Samsó[12] y R. Toro[10]

1 Instituto Geológico y Minero de España, 50006 Zaragoza. p.calvin@igme.es, unaim@igme.es, jc.larra@igme.es
2 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, A-1190 Vienna, Austria. ramon.egli@zamg.ac.at
3 Investigador independiente. 50006 Zaragoza. adrianaropi14@gmail.com
4 Université de Pau et des Pays de l´Adour, E2S Pau, France. esther.izquierdo-llavall@univ-pau.fr
5 Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid. belen.oliva@uam.es
6 Paleomagnetic Laboratory CCiTUB-Geo3Bcn, Geociencias Barcelona (CSIC). 08028 Barcelona. betbeamud@ub.edu
7 Dpto. Geología, Fac. Ciencias, Universidad del País Vasco, 48080 Bilbao. a.payros@ehu.eus
8 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos. p.mata@igme.es, e.bellido@igme.es, m.montes@igme.es
9 Dpto. Ciencias de Física de la Materia Condensada, 50009 Zaragoza. aorera@unizar.es
10 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. aluzon@unizar.es
11 Dpto. Ingeniería Minera, Escuela de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco, 48013 Bilbao. Gilen.bernaola@ehu.eus
12 Investigador independiente. 22700 Jaca. josemsamso@gmail.com

Palabras clave: Remagnetización química, diagénesis, Cuenca de Jaca-Pamplona.

Resumen

Las remagnetizaciones químicas regionales relacionadas con procesos de enterramiento y diagénesis son un proceso ampliamente extendido en cuñas orogénicas y cuencas sedimentarias. Este proceso conlleva la neoformación autigénica de minerales ferromagnéticos s.l. en relación con el aumento de temperatura asociado al enterramiento. Sin embargo, todavía no se conoce bien la cinética de estos procesos, debido en parte a que la mayoría de las remagnetizaciones de este tipo descritas en la literatura científica se produjeron durante supercrones magnéticos. Los materiales turbidíticos eocenos de la Cuenca de Jaca (Pirineos Occidentales) muestran una remagnetización química de doble polaridad, registrando varios crones a lo largo de la secuencia sedimentaria remagnetizada. Dentro del proyecto UKRIA4D (PID2019-104693GB-I00/CTA), se va a realizar un estudio multidisciplinar para relacionar temperatura de enterramiento, mineralogía magnética y edad de la remagnetización con la que evaluar de manera empírica las relaciones cinéticas entre los distintos factores.

Abstract

Burial related chemical remagnetizations are a common process in sedimentary basins and orogenic wedges worldwide. It involves authigenic formation of ferromagnetic minerals s.l. related with enhanced temperature conditions during burial. However, the kinetic of these processes remains unsolved partially because most of the best-documented cases occurred during magnetic superchrons. The sedimentary sequence of the Eocene Jaca turbiditic Basin (Western Pyrenees) displays a dual polarity record of a burial remagnetization that records different chrons along the sedimentary sequence. This outstanding case study offers the possibility to carry out a multidisciplinary study relating temperature, magnetic mineralogy and remagnetization time in the frame of the UKRIA4D project (PID2019-104693GB-I00/CTA).

Arqueomagnetismo en "*fumiers*" recreados experimentalmente: ¿Son registros fiables del campo magnético terrestre?

Archaeomagnetism on experimentally recreated "fumiers": Are they reliable records of the Earth's magnetic field?

Á. Carrancho[1], B. Bradak-Hayashi[2], J. M. Vergès[3,4]

1 Área de Prehistoria. Dpto. de Historia, Geografía y Comunicación. Edificio I+D+I. Universidad de Burgos. Plaza Misael Bañuelos s/n. 09001. Burgos (España). acarrancho@ubu.es
2 Dpto. de Física. Universidad de Burgos. Escuela Politécnica Superior (Campus Vena). Avda. Cantabria s/n, 09006. Burgos (España).
3 IPHES, Institut Catal a de Paleoecologia Humana i Evoluci o Social, C/Marcel.lí Domingo s/n, Campus Sescelades (Edifici W3), 43007, Tarragona, Spain.
4 Area de Prehistoria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya, 35, 43002, Tarragona, Spain

Palabras clave: variación secular, arqueología, arqueología experimental, termorremanencia.

Resumen

Los sedimentos quemados de cuevas-redil holocenas (*cf. fumiers*), se han propuesto como buenos registros direccionales del campo magnético terrestre. Son materiales quemados, bien datados y notablemente antiguos (desde el Neolítico). Sin embargo, los procesos tafonómicos que pueden afectar su registro arqueomagnético son diversos y no han sido aún estudiados. Con el fin de evaluar el impacto de estos procesos, se recogieron muestras para análisis direccionales y de propiedades magnéticas en *fumiers* recreados experimentalmente bajo condiciones controladas (Vergès *et al.* 2016). El principal portador de la magnetización es magnetita pseudo-monodominio (PSD), aunque con contribuciones altas y variables de granos superparamagnéticos según facies. Los valores de anisotropía de la susceptibilidad magnética son significativamente bajos. No obstante, los estereoplots muestran cierto control en la alineación de los ejes principales de susceptibilidad, sugiriendo que algún factor influye en la formación de la fábrica. El comportamiento direccional de las muestras varía según facies, pero se caracteriza por muestras intensas y estables de polaridad normal.

Abstract

It has been proposed that burnt sediments from Holocene cave-pen sites (cf. fumiers), are suitable recorders of the Earth´s magnetic field direction in the past. These are burnt, well-dated and remarkably old materials (from the Neolithic). However, the taphonomic processes affecting their archaeomagnetic record are diverse and have not been studied yet. In order to evaluate the impact of these processes, samples from experimentally recreated fumiers under controlled conditions (Vergès et al. 2016) were collected for directional and magnetic properties analyses. The main magnetization carrier is pseudo-single domain (PSD) magnetite with high but variable contributions of superparamagnetic grains depending on facies. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) values are significantly low. However, the stereoplot analysis indicated some control in the alignment of the principal susceptibility axes, suggesting the influence of some factor in the formation of the fabric. The directional behaviour varies by facies but is characterized by intense and stable normal polarity samples.

Referencias

Vergès, J.Mª., Burguet-Coca, A., Allué, E., Expósito, I., Guardiola, M., Martín, P., Morales, J.I., Burjachs, F., Cabanes, D., Carrancho, Á., Vallverdú, J. (2016). *Quaternary International* 44, 304-315.

Anisotropía de susceptibilidad magnética fuera-de-fase: una metodología no estándar para la determinación de subfábricas ferromagnéticas.

Anisotropy of out-of-phase magnetic susceptibility: a non-standard methodology for ferromagnetic subfabrics determination.

C. Cruz[1*], H. Sant'Ovaia[1], W. McCarthy[2] y F. Noronha[1]

1 FCUP. Earth Sciences Institute – Porto Pole. Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal. *claudiacruz@fc.up.pt, hsantov@fc.up.pt
2 School of Earth & Environment Sciences, Irvine Building St Andrews, United Kingdom. wm37@st-andrews.ac.uk

Palabras clave: AMS fuera-de-fase, AMS en fase, parámetros escalares, mineralogía magnética.

Resumen

La susceptibilidad magnética medida en un campo alterno se puede descomponer en componentes en fase (in-phase) y fuera-de-fase (out-of-phase). La AMS en fase (ipAMS) mide la respuesta general de todos los minerales en una muestra; sin embargo, la AMS fuera-de-fase (opAMS) es sensible solo a los minerales ferromagnéticos como la hematites, la titanomagnetita y la magnetita ultrafina. La opAMS se puede utilizar como herramienta para la determinación directa de subfábricas magnéticas definidas por minerales ferromagnéticos (Hrouda *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2020). Este trabajo se centra en 3 plutones portugueses con magnetita: Lamas de Olo, Lavadores-Madalena y Santa Eulália. Los resultados muestran que: (i) Susceptibilidad magnética, K es menor en opAMS (opAMS aísla el aporte de una subsección de cada muestra de minerales ferromagnéticos); (ii) Grado de AMS, P% es mucho mayor en opAMS (opAMS aísla la contribución de minerales con anisotrópias intrínsecas de la matriz paramagnética - la hematites tiene un amplio rango de grado de anisotropía y la magnetita ultrafina tiene una fuerte anisotropía de forma); (iii) Forma de elipsoide, T no tiene diferencias significativas en opAMS o ipAMS, e indica principalmente elipsoides achatados (magnetita alineada con planos de clivaje de biotita). Los tensores ipAMS y opAMS son en general coaxiales, lo que indica que el fábrica AMS estándar es paralela al subfábrica de minerales ferromagnéticos.

Abstract

The magnetic susceptibility measured in an alternating field can be resolved into in-phase and out-of-phase components. In-phase AMS (ipAMS) measures the bulk response of all minerals in a sample however, out-of-phase AMS (opAMS) is sensitive to only ferromagnetic minerals such as hematite, titanomagnetite, and ultrafine magnetite. The opAMS can be used as a tool for the direct determination of magnetic subfabrics defined by ferromagnetic minerals (Hrouda et al., 2017; Cruz et al., 2020). This work focuses on 3 Portuguese plutons with magnetite: Lamas de Olo, Lavadores-Madalena, and Santa Eulália. The results show that: (i) Magnetic susceptibility, K is lower in opAMS (opAMS isolates the contribution of a subsection of each samples ferromagnetic minerals); (ii) Degree of AMS, P% is much higher in opAMS (opAMS isolates the contribution of minerals with intrinsic anisotropic from the paramagnetic matrix - hematite has a wide range of anisotropy degree and ultrafine magnetite has a strong shape anisotropy); (iii) Elliposid shape parameter, T has no significant differences in opAMS or ipAMS, and indicates mostly oblate ellipsoids (magnetite is aligned with biotite cleavage planes). The ipAMS and opAMS tensors are in general coaxial, pointing out that standard AMS fabric is parallel to the subfabric of ferromagnetic minerals.

Referencias

Cruz, C., Sant'Ovaia, H., McCarthy, W. and Noronha, F. (2020). En: *X CJIG, LEG*. Livro de Actas: 8-11.

Hrouda, F., Chadima, M., Jezek, J. and Pokorný, J. (2017). *Geophysics Journal International*, 208: 385-4

La EGMA (Eastern Galicia Magnetic Anomaly) y las anomalías magnéticas en contextos extensionales: nuevos hallazgos.

The EGMA (Eastern Galicia Magnetic Anomaly) and magnetic anomalies in extensional contexts: recent findings.

M. Durán Oreja[1], P. Ayarza[1], J.J. Villalaín[2], J.R. Martínez Catalán[1], F. Álvarez Lobato[1†] y P. Calvín[2]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca Plaza de los Caídos s/n 37008 Salamanca. manuduor@usal.es, puy@usal.es, jrmc@usal.es.
2 Dpto. de Física, Universidad de Burgos Avda. Cantabria s/n 09006 Burgos. villa@ubu.es, pcalvin@ubu.es.

Palabras clave: Arco Centro Ibérico, magnetización, contexto extensional, remanencia.

Resumen

La Anomalía Magnética de Galicia Oriental (EGMA), una de las anomalías más distintivas y mejor estudiadas del Arco Centro Ibérico (ACI), se superpone a los domos gneísicos de Lugo y Sanabria, situados en el noroeste de España. La ventana tectónica de Xistral se localiza en la parte más septentrional del Domo de Lugo. En este contexto geológico tan singular es donde afloran los materiales más antiguos y estructuralmente más profundos de la zona, así como varios despegues extensionales resultantes de la tectónica extensional tardi-Varisca. En la ventana de Xistral también afloran algunas de las rocas fuente de la EGMA. La realización de un mapa magnético de alta resolución junto con una serie de análisis realizados sobre las rocas magnéticas ha demostrado que la magnetización está relacionada con la tectónica extensional tardi-Varisca y no con una litología específica (Martínez Catalán *et al*., 2018). Los primeros análisis de la magnetización remanente natural y de la anisotropía de la susceptibilidad magnética en las rocas portadoras de magnetita y hematites confirman que la magnetización se produjo durante el supercrón inverso Kiaman, en el Carbonífero Superior-Pérmico Inferior. Estos hallazgos nos permiten entender tanto la EGMA como las demás anomalías que delinean el ACI, todas localizadas sobre domos térmicos. Así mismo, abre la puerta para reinterpretar, a nivel global, otras anomalías situadas en contextos extensionales.

Abstract

The Eastern Galicia Magnetic Anomaly (EGMA), one of the most distinctive and best-studied magnetic anomalies of the Central Iberian Arc (CIA), overlaps onto the gneissic domes of Lugo and Sanabria, in northwest Spain. The Xistral tectonic window is placed in the northernmost part of the Lugo Dome. This is the place where the oldest and structurally deepest rocks in the area crop out. Also, extensional detachments resulting from late-Variscan extensional tectonics can be mapped in detail. Such a special geological context has allowed us to identify the rocks that are the source of this anomaly, which are also exposed there. High resolution mapping of the anomaly and analysis of the magnetic rocks have shown that magnetization is related to the late-Variscan extensional tectonics, and not to specific lithologies (Martínez Catalán et al., 2018). The first studies of natural remanent magnetization and anisotropy of the magnetic susceptibility in the source rocks carried out on magnetite and hematite-bearing samples, confirmed that magnetization occurred during the Kiaman reverse superchron, in the Upper Carboniferous-Lower Permian. These findings allow us to understand this and other anomalies that delineate the CIA and to re-interpret other magnetic features worldwide, which are also located in extensional contexts.

Referencias

Martínez Catalán, J. R., Ayarza, P., Álvarez Lobato, F., Villalaín, J. J., Durán Oreja, M., Martín Paramio, M., and Rodríguez Gómez, S. (2018). *Tectonics* 37: 4261-4284.

Datación arqueomagnética de la casa 1 del yacimiento arqueológico del Cerro de San Vicente (Salamanca, España).

Archaeomagnetic dating of house 1 of the archaeological site of El Cerro de San Vicente (Salamanca, Spain).

N. García-Redondo[1], Á. Carrancho[2], M. Calvo-Rathert[1], A. Goguitchaichvili[3], Iriarte, E.[4], A. Blanco-González[5] y J.J. Morales[3].

1 Laboratorio de Paleomagnetismo, Dpto. Física, Universidad de Burgos, Burgos, España. ngredondo@ubu.es
2 Área de Prehistoria, Departamento de Historia, Geografía y Comunicación, Universidad de Burgos, España. acarrancho@ubu.es
3 Servicio Arqueomagnético Nacional y Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural (LIMNA), Instituto Geofísica, Campus Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, México. avto@igeofisica.unam.mx; jmorales@geofisica.unam.mx
4 Laboratorio de Evolución Humana. Dpto. Historia, Geografía y Comunicación, Universidad de Burgos, España. eiriarte@ubu.es
5 GIR PREHUSAL. Departamento de Prehistoria, Hª. Antigua y Arqueología. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Salamanca. C/ Cervantes s/n, 37002 Salamanca. ablancoglez@usal.es

Palabras clave: Arqueomagnetismo, arqueointensidad, datación, hogar, Primera Edad del Hierro.

Resumen

Se presenta un estudio arqueomagnético sobre muestras quemadas de la casa 1 del Cerro de San Vicente (Salamanca). Se trata de un yacimiento fechado por métodos relativos en torno a finales de la Edad del Hierro I, una fase problemática de datar mediante radiocarbono. Con el fin de evaluar su idoneidad para datar por arqueomagnetismo, se recogieron muestras para análisis direccionales, de propiedades magnéticas y de arqueointensidad absoluta. Las muestras del hogar central exhiben un comportamiento estable y direccionalmente reproducible entre sí, obteniendo una dirección media (D = 15.1°; I = 52.5; *k* = 477.1; α95 = 5.6°). Los experimentos de arqueointensidad absoluta se realizaron comparando los métodos de Thellier-Coe (Thellier y Thellier, 1959; Coe *et al.*, 1978) y multiespecimen. Se obtuvieron valores de 72.7 ± 4.3 μT (fuego central) y de 48.2 ± 2.0 μT (escorias). La datación arqueomagnética mediante el modelo SHA.DIF.4k (Pavón-Carrasco *et al.*, 2021) y más coherente con el contexto, se sitúa entre los siglos VII-VI a.C, por lo que asociamos los altos valores intensidad al *Levantine Iron Age anomaly*.

Abstract

This contribution reports an archaeomagnetic study carried out on burnt samples from the hut 1 of El Cerro de San Vicente (Salamanca). This is an archaeological site dated by relative methods around the end of Iron Age I, a problematic period to apply radiocarbon dating. In order to assess its suitability for archaeomagnetic dating, various samples were collected for directional, magnetic properties and absolute archaeointensity analyses. Samples from the central hearth showed a stable and reproducible NRM behaviour, yielding a mean direction (D = 15.1°; I = 52.5°; k = 477.1; α95 = 5.6°). Absolute archaeointensity experiments were performed comparing Thellier-Coe (Thellier and Thellier 1959; Coe et al., 1978) and multispecimen methods. Values of 72.7 ± 4.3 μT (central hearth) and 48.2 ± 2.0 μT (slag samples) were obtained. The archaeomagnetic dating using the SHA.DIF.4k model (Pavón-Carrasco et al., 2021) and archaeologically most plausible, resulted in ca. VII-VI centuries BCE. We associate these high intensity values with the Levantine Iron Age anomaly.

Referencias

Thellier, E. and Thellier, O. (1959). *Annales de Géophysique,* 15, 285–376

Coe, P.C., Grommé, C.S., and Mankinen, E.A. (1978). *Journal of Geophysical Research*, 83, 1740–1756.

Pavón-Carrasco, F.J., Campuzano, S.A., Rivero-Montero, M., Molina-Cardín, A., Gómez-Paccard, M., Osete, M.L., (2021). *JGR Solid Earth.*

Variaciones temporales de miles de años en la intensidad del dipolo axial geomagnético en el Holoceno a partir de reconstrucciones paleomagnéticas.

Millennial changes in the axial dipole field intensity during the Holocene from paleomagnetic reconstructions.

A. González-López[1,2], S.A. Campuzano[2], A. Molina-Cardín[1,2], F.J. Pavón-Carrasco[1], A. De Santis[3] y M.L. Osete[1,2]

1 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avd. Complutense s/n, 28040, Madrid, España. aliciaglopez@ucm.es, amcardin@ucm.es, fjpavon@ucm.es, mlosete@ucm.es

2 Instituto de Geociencias IGEO (UCM – CSIC), Calle Severo Ochoa 7, Edificio Entrepabellones 7 y 8, 28040, Madrid, España. saioa.arquero@igeo.ucm-csic.es

3 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Via di Vigna Murata, 605, 00143, Roma, Italia. angelo.desantis@ingv.it

Palabras clave: Paleomagnetismo, Arqueomagnetismo, Campo Geomagnético, Variación Paleosecular

Resumen

Las reconstrucciones paleomagnéticas, basadas en datos paleomagnéticos y arqueomagnéticos, permiten conocer la historia pasada del campo magnético terrestre. En este trabajo se analizan las variaciones de largo periodo de la intensidad del dipolo axial durante los últimos 10000 años, a partir del uso de dos reconstrucciones paleomagnéticas: SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco *et al.*, 2014) y CALS10k.2 (Constable *et al.*, 2016). Estos modelos presentan dos intervalos de decrecimiento, entre el 7000 a.C. y el 4000 a.C., aproximadamente, y desde el 350 – 100 a.C. hasta la actualidad; y un único periodo creciente desde el 4000 a.C. hasta el 350 – 100 a.C. Este último crecimiento y decrecimiento se ha modelado como la combinación de un proceso difusivo, representado por un decaimiento exponencial y un pulso, considerado como una función normal asimétrica. El modelo obtenido proporciona tiempos característicos de decaimiento entre 11000 y 15000 años, que son compatibles con los tiempos de difusión del campo dipolar de estudios de geodinamo. Al comparar nuestro modelo con las variaciones del dipolo axial se observa que el proceso difusivo contrarresta el 50% del crecimiento que supondría el pulso.

Abstract

Paleomagnetic reconstructions based on paleomagnetic and archeomagnetic data allow us to know the geomagnetic field variability in the past. We analyse the long-term variations in the axial dipole intensity during the Holocene using two paleomagnetic reconstructions: SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco et al., 2014) and CALS10k.2 (Constable et al., 2016). They show two decay time intervals between 7000 BC and 4000 BC, approximately, and from around 350 – 100 BC to the present time. There is only one time interval when the strength of the axial dipole increases, between 4000 BC and 350 – 100 BC. We have modelled the last increase and decrease of the axial dipole field as a combination of a diffusive process (represented with an exponential decay) plus a pulse (a skewed normal function). Model results provide characteristic decay times between 11000 and 15000 yr, which are compatible with the diffusion times of the dipole field given by the geodynamo approaches. Comparing our model with the actual variations of the axial dipole field, we observed that the diffusion process takes nearly the 50% of the increase provided by the pulse.

Referencias

Constable, C., Korte, M. y Panovska, S. (2016). *Earth and Planetary Science Letters,* doi: 10.1016/j.epsl.2016.08.015

Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, M.J. y De Santis, A. (2014). *Earth and Planetary Science Letters,* doi: 10.3389/feart.2016.00040

Caracterización magnética de los diques alcalinos del Pérmico Superior del Sistema Central Español: Contribuciones a la cinemática de su emplazamiento y a la paleogeografía de Iberia.

Magnetic signature of Upper Permian alkaline dykes from the Spanish Central System: Contributions to their emplacement kinematics and to the paleogeography of Iberia.

M. Hernández[1], C. Dorado[1], D. Orejana[2], C. Villaseca[2,3] y V.C. Ruiz-Martínez[1,3]

1 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica. Fac. de CC. Físicas. Universidad Complutense de Madrid. Av. Plaza de Ciencias, 1. 28040 Madrid. merchern@ucm.es cdorado@ucm.es vcarlos@ucm.es
2 Dpto. de Mineralogía y Petrología. Fac. de CC. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis 12 28040 Madrid dorejana@ucm.es granito@geo.ucm.es
3 Instituto de Geociencias (CSIC, UCM). Fac. de Medicina. C/ del Dr. Severo Ochoa, 7. 28040 Madrid. granito@geo.ucm.es vcarlos@ucm.es

Palabras clave: Iberia, Diques alcalinos, Pérmico Superior, Paleomagnetismo, Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM).

Resumen

En el Sistema Central Español, compuesto generalmente por plutones graníticos, se encajan sistemas de diques alcalinos durante el Pérmico Superior (Villaseca *et al.*, 2004; Orejana *et al.*, 2008). Para este estudio se han muestreado diques de diferente composición y orientación (N-S en general). En ellos se han realizado experimentos de magnetismo de rocas y se ha evaluado el potencial de este magmatismo alcalino tanto para estudios de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) como de paleomagnetismo, apoyados por estudios petrográficos. A pesar de la variabilidad observada en los valores de susceptibilidad magnética o en las intensidades de su remanencia, los resultados preliminares aportan una valiosa información para comprender el emplazamiento magmático asociado (a partir de los indicadores cinemáticos de ASM) así como para refinar (a partir de las direcciones paleomagnéticas) la posición paleogeográfica de Iberia en el momento de adquisición de las remanencias registradas en estos diques.

Abstract

In the Spanish Central System, mainly composed of granitic plutons, alkaline dyke swarms are emplaced during the Upper Permian (Villaseca et al., 2004; Orejana et al., 2008). Dykes of different composition and orientation (N-S, in general) have been sampled. Rock-magnetism experiments have been carried out and the potential of this alkaline magmatism has been evaluated for both Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) and paleomagnetic studies, supported by related petrographic information. Despite the variability observed in magnetic susceptibility values or in remanence intensities, the preliminary results provide valuable information to understand the associated magmatic emplacement (from ASM kinematic indicators) as well as to refine (from the observed paleomagnetic directions) the paleogeographic position of Iberia at the time of acquisition of the remanences recorded in these dikes.

Referencias

Villaseca, C., Orejana, D., Paterson, B. A., Billstrom, K., y Pérez-Soba, C. (2004). *Comptes Rendus Geoscience*, 336, 877-888.

Orejana, D., Villaseca, C., Billström, K. y Paterson, B.A. (2008). *Petrogenesis of Permian alkaline lamprophyres and diabases from the Spanish Central System and their geodynamic context within western Europe. Contributions to Mineralogy and Petrology,* 156(4), 477-500.

Estudio arqueomagnético de seis episodios de combustión de la Cueva Estillín (Burgos, España)

Archaeomagnetic study of six combustion episodes from Estillín Cave (Burgos, Spain)

Á. Herrejón Lagunilla[1], J.J. Villalaín[1], Á. Carrancho[1,2], P. Sánchez Yustos[3]

1 Dpto. de Física. Universidad de Burgos. Escuela Politécnica Superior (Campus Vena). Avda. Cantabria s/n. 09006. Burgos (España). angelaherrejonlagunilla@gmail.com; villa@ubu.es; acarrancho@ubu.es
2 Área de Prehistoria. Dpto. de Historia, Geografía y Comunicación. Edificio I+D+I. Universidad de Burgos. Plaza Misael Bañuelos s/n. 09001. Burgos (España).
3 Universidad de Valladolid, Plaza del Campus s/n. 47011. Valladolid (España). policarpo.sanchez@uva.es

Palabras clave: arqueomagnetismo, fumiers, variación secular, arqueología.

Resumen

Se presenta el estudio arqueomagnético preliminar de seis episodios de combustión de la Cueva del Estillín. Forman parte de una secuencia de *fumiers*, un tipo de materiales que aparece en cuevas y abrigos vinculados a la estabulación de animales por parte de los humanos durante la Prehistoria reciente (Angelucci *et al.* 2009). Ante la escasez de datos direccionales para la península ibérica antes del primer milenio a.C., estos materiales son una fuente de datos de gran valor para mejorar las curvas de variación secular. Se han desmagnetizado más de 100 especímenes y se ha llevado a cabo la adquisición progresiva de la IRM, curvas de *backfield*, ciclos de histéresis y curvas termomagnéticas sobre muestras representativas. La magnetita es el principal mineral detectado y se ha observado un pico de incremento de magnetización hacia 200ºC durante el calentamiento en las curvas termomagnéticas para el cual no se ha obtenido aún una explicación definitiva.

Abstract

Results of the archaeomagnetic study of six combustion episodes from El Estillín Cave are reported. These episodes are part of a fumiers sequence, a type of materials that appears in caves and rock-shelters related to livestock stabling activities from the recent Prehistory (Angelucci et al. 2009). Considering the scarcity of geomagnetic directional data in Iberia before the first millennium BCE, these materials are a source of valuable data to improve and temporary extend secular variation records. The NRM of more than 100 oriented specimens was demagnetized. Additionally, IRM acquisition, backfield curves, hysteresis cycles and thermomagnetic curves were carried out on representative samples. Magnetite is the main ferromagnetic mineral detected and a magnetization increment (peak) around 200ºC was detected during the heating in the thermomagnetic curves. However, a definitive explanation for this phenomenon has not been yet determined.

Referencias

Angelucci, D.E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A.y Vergès, J.M. (2009). *World Archaeology* 41 (2), 191–214.

Buscando a C19n: el potencial de la Formación Mendiorotz (cuenca de Jaca-Pamplona, Pirineos occidentales) para el GSSP del Bartoniense.

Finding C19n: potential of the Mendiorotz Formation (Jaca-Pamplona basin, Western Pyrenees) for the Bartonian GSSP.

J.C. Larrasoaña[1], A. Payros[2], G. Bernaola[3], E.L. Pueyo[1], P. Calvín[1], M. Montes[4], A. Luzón[5], M.P. Mata[4], I. Gil-Peña[4], E. Izquierdo-Llavall[6], E. Bellido[4], R. Egli[7], A. Orera[8], J.M. Samsó[9] y R. Toro[5]

1 Instituto Geológico y Minero de España, 50006 Zaragoza. jc.larra@igme.es, unaim@igme.es, p.calvin@igme.es
2 Dpto. Geología, Fac. Ciencias, Universidad del País Vasco, 48080 Bilbao. a.payros@ehu.eus
3 Dpto. Ingeniería Minera, Escuela de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco, 48013 Bilbao. gilen.bernaola@ehu.eus
4 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos. m.montes@igme.es, p.mata@igme.es, i.gil@igme.es, e.bellido@igme.es
5 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. aluzon@unizar.es, ingrosibethtoro@gmail.com
6 Université de Pau et des Pays de l´Adour, E2S Pau, France. esther.izquierdo-llavall@univ-pau.fr
7 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, A-1190 Vienna, Austria. ramon.egli@zamg.ac.at
8 Dpto. Ciencias de Física de la Materia Condensada, 50009 Zaragoza. aorera@igme.es
9 Consulting Geologist, 22700 Jaca. josemsamso@gmail.com

Palabras clave: Límite Luteciense/Bartoniense, Cron C19n, Cuenca de Jaca-Pamplona, GSSP.

Resumen

El cron C19n es el principal marcador del límite Luteciense/Bartoniense, cuyo GSSP está todavía pendiente de ser determinado debido a la ausencia de secciones idóneas a nivel mundial. Aunque el Pirineo occidental alberga numerosas cuencas sedimentarias con formaciones marinas de edad Luteciense y Bartoniense, intentos anteriores de encontrar secciones potencialmente interesantes en dicha zona no han dado resultados satisfactorios (Payros *et al.*, 2014). En este resumen se presenta el trabajo de campo que se ha realizado en la parte occidental de la cuenca de Jaca-Pamplona con el objetivo de identificar series estratigráficas susceptibles de ser datadas mediante magnetobioestratigráfía y posicionar el límite Luteciense/Bartoniense. Fruto de este trabajo se ha explorado el sinclinal de Izaga, en cuya parte oriental afloran series de la Formación Mendiorotz, de edad Luteciense superior/Bartoniense inferior (Payros *et al.*, 1999), caracterizadas por una sedimentación pelágica dominante y una exposición y continuidad estratigráfica idóneas para encontrar el marcador del límite, el cron C19n.

Abstract

Chron C19n is the main marker of the Lutetian/Bartonian boundary, whose GSSP is still to be defined due to the lack of suitable sections worldwide. Although the Western Pyrenees host a number of sedimentary basins with marine formations of Lutetian and Bartonian age, previous attempts of finding prospective sections in the area have resulted in an unsuccessful outcome (Payros et al., 2014). Here we present the results of a fieldwork study conducted in the western sector of the Jaca-Pamplona basin with the aim of identifying sedimentary successions where the Lutetian/Bartonian boundary can be found through magnetobiostratigraphic dating. As a result of this search, we have focused our attention on the eastern sector of the Izaga syncline, where dominantly pelagic sediments of the Mendiorotz Formation, upper Lutetian/lower Bartonian in age (Payros et al., 1999), crop out with enough exposure and stratigraphic continuity to allow identification of Chron C19n.

Referencias

Payros, A., Pujalte, V. y Orue-Etxeberria, X. (1999). *Sedimentary Geology* 125, 165–194.

Payros, A., Dinarès-Turell, J., Orue-Etxebarria, Monechi, S., Ortiz, S., Apellaniz, E. y Bernaola, G. (2014). En: *STRATI 2013*. Book of Abstracts, 131–135.

Procesos sin-emplazamiento ígneo a partir de la cartografía y el análisis de la petrofábrica y la fábrica magnética. La intrusión dacítica y calco-alcalina de Cerro Redondo (Cordillera Ibérica).

Igneous syn-emplacement processes through mapping and the analysis of the petrofabric and the magnetic fabric. The dacitic and calco-alkaline intrusion of Cerro Redondo (Iberian Range) case study.

U. Majarena[1], O. Pueyo[1], A. Gil[1], C. Galé[1] y M. Lago[1]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra – IUCA, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna nº12. 50009, Zaragoza.
urbezmajarena@hotmail.com, opueyo@unizar.es, agil@unizar.es, carlos.galé@gmail.com, marceliano64@gmail.com

Palabras clave: Emplazamiento subvolcánico, fábrica magnética, Cordillera Ibérica, magmatismo cisuraliense, petrofábrica.

Resumen

Los procesos de deformación sin-emplazamiento no suelen preservarse en cuerpos ígneos de grandes dimensiones. Sin embargo, la intrusión de Cerro Redondo (Unidad de Badules, Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica), con edad Cisuraliense (285 ± 2Ma), composición dacítica, textura porfídica y afinidad calco-alcalina, muestra unas características de afloramiento excepcionales para su estudio. Presenta una reducida extensión (0,17 km^2) y una marcada foliación magmática afectada por pliegues de escala variable (mm-hm). En este trabajo se realiza un análisis combinado de su petrofábrica y su fábrica magnética (ASM) acompañado de una detallada cartografía. Los datos obtenidos han permitido identificar los siguientes procesos previos al enfriamiento magmático: i) la generación de una foliación magmática y magnética, registrada por fábricas planares (elipsoides magnéticos oblatos), ii) la modificación de dicha foliación por el plegamiento sin-emplazamiento con desarrollo de una lineación magnética paralela a los ejes de plegamiento, iii) la modificación de la fábrica magmática en casos de no coaxialidad entre la orientación del vector de empuje ígneo y la foliación magmática previa y iv) un acortamiento perpendicular a estructuras frágiles tardimagmáticas que afectan al cuerpo ígneo. Este estudio pone de manifiesto la sucesión de distintos procesos durante el emplazamiento ígneo, en estado dúctil-plástico. Estos resultados podrían aplicarse a otros cuerpos ígneos en los que sus mayores dimensiones generan una homogenización y pérdida de los indicadores cinemáticos, sí preservados en la intrusión de Cerro Redondo.

Abstract

Syn-emplacement deformation processes usually appear erased in large igneous bodies. Nevertheless, the Cerro Redondo intrusion (Badules Unit, within the Aragonese Branch of the Iberian Chain), with a cisuralian age (285 ± 2Ma), dacitic composition, porphyritic texture and calc-alkaline affinity, shows an exceptional outcrop features for its study with a reduced extension (0.17 km^2) and a well-defined magmatic foliation which is affected by folds of variable scale (mm-hm). In this work, a combined analysis of the petrofabric and the magnetic fabric (ASM), accompanied by a detailed mapping, is carried out. The data obtained have allowed the identification of the following processes previous to magmatic cooling including: i) the generation of a magmatic and magnetic foliation, registered by planar fabrics (oblate-shaped magnetic ellipsoids), ii) the modification of such foliation by syn-emplacement folding and the subsequent development of a magnetic lineation parallel to the folding axes, iii) the modification of the previous magmatic fabric in those cases where a non-coaxiality between the orientation of the igneous push vector and the previous magmatic foliation exists and iv) a shortening normal to brittle later-magmatic structures affecting the igneous body. The conclusions of this study show the succession of different processes during the igneous emplacement, in a ductile-plastic state. These results could be applied to other igneous bodies in which their larger dimensions generate homogenization and loss of the kinematic indicators preserved in the case study of Cerro Redondo intrusion.

Propiedades magnéticas en tres lagos del norte de Iberia, qué información proporcionan sobre los procesos medioambientales.

Magnetic properties in three mountain lakes of northern Iberia, determining the influence of the major environmental processes.

B. Oliva Urcia[1], A. Moreno[2] y B. Valero Garcés[2]

1 Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Francisco Tomás y Valiente 7, 28049 Madrid, Spain, belen.oliva@uam.es

2 Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global, Instituto Pirenaico de Ecología–CSIC, Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, Spain, amoreno@ipe.cisc.es, blas@ipe.csic

Palabras clave: magnetita, pirrotina, indicador redox, materia orgánica, sedimentos lacustres

Resumen

Las reconstrucciones paleoambientales de tres lagos de montaña del norte de Iberia se comparan y completan con análisis magnéticos clásicos para detectar la influencia de los diferentes procesos en el registro y preservación de las propiedades magnéticas. Los lagos se localizan en la Cordillera Cantábrica, Lago Enol, y en los Pirineos, Lago Marboré y Lago Basa de la Mora, todos con una composición similar en las rocas del área fuente, dominada por calizas. Los sedimentos están formados mayoritariamente por carbonatos, silicatos y una cantidad variable de materia orgánica. Nuevos resultados junto con los ya existentes revelan la importancia de los cambios en las propiedades magnéticas respecto a las variaciones sedimentológicas y geoquímicas. La combinación de marcadores geoquímicos, sedimentológicos y magnéticos sugiere que en el Lago Enol, la señal magnética puede estar dominada por la formación de nuevos minerales magnéticos en relación a los procesos redox favorecidos por el alto contenido en materia orgánica durante los últimos 10.000 años, mientras que en el Lago Marboré, el aumento de la señal magnética hacia techo de la secuencia puede estar relacionada con el ambiente oxidante y la preservación de la magnetita detrítica, ya que es un lago ultra-oligotrófico. En el Lago Basa de la Mora, las rocas – ofitas - de un sector del área fuente condicionan la señal magnética de la secuencia. Estos resultados indican que la diagénesis y los cambios redox alteran la concentración de minerales magnéticos durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno, y destacan su valor como archivos paleoclimáticos y ambientales.

Abstract

Paleoenvironmental reconstructions from three mountain lakes located in northern Iberia are compared and completed with classical magnetic analyses in order to detect the influence of different processes on the record and preservation of magnetic properties. The lakes are located in the Cantabrian Mountains, Enol Lake, and in the Pyrenees, the Marboré Lake and Basa de la Mora Lake and share a similar composition of their catchment areas, dominated by limestones. They show different characteristics, such as in the organic matter content, being Enol the one with the highest values. New and revisited results from sedimentary cores unravel the significance of the magnetic changes respect to the geochemical and sedimentological variations found in the geological record. The combination of geochemical, sedimentological and magnetic proxies suggests that in Enol Lake the magnetic signal may be dominated by the formation of new minerals since the redox processes are favored by the higher presence of organic matter during last 10,000 years, whereas in Marboré Lake, the increase of the magnetic signal seems related to the oxic environment and the preservation of magnetite, since this lake is ultra-oligotrophic. In Basa de la Mora Lake, the source rock seems to play a role in the magnetic signal of the sequence due to the presence of ophites in the catchment. These results indicate that early diagenesis and changes in the redox conditions alter the concentration of magnetic minerals during the Late Pleistocene and Holocene and underlines their value as environmental and paleoclimate archives.

Magnetostratigraphic dating of the Paleogene alluvial-lacustrine system transition in the northeastern sector of the Ebro Basin.

Datación magnetoestratigráfica de la transición aluvio-lacustre en el sector nororiental de la Cuenca del Ebro.

C. Peigney[1,2], E. Beamud[1,3], Ò. Gratacós[1,2], L. Valero[3,4], E. Roca[1,2], A. Sáez[1,2] and J. A. Muñoz[1,2]

1 Geomodels UB Research Institute, University of Barcelona, Barcelona, Spain. (c.peigney@ub.edu; ogratacos@ub.edu; eduardroca@ub.edu; a.saez@ub.edu; jamunoz@ub.edu)
2 Dpt. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, University of Barcelona, Barcelona, Spain.
3 Paleomagnetism Laboratory, CCiTUB – ICTJA CSIC, Barcelona, Spain. (betbeamud@ub.edu)
4 Département des sciences de la Terre, Université deGenève, Geneva, Switzerland. (luis.valero@unige.ch)

Abstract: *In the northeastern sector of the Ebro Basin, a system of fluvial fans developed from late Eocene to Oligocene times in response to the emplacement and erosion of the South-Pyrenean thrust sheets. In their distal parts, lacustrine systems developed. Lake position migrated in response to subsidence changes, whereas the spreading and shrinking of lacustrine systems was controlled by climate shifts. Both factors impact on the fluvial fans' dynamics and architectural arrangement. In this study, we focus on the facies changes and the magnetostratigraphic dating of the transition between the Solsona-Sanaüja fluvial fan and the coeval lacustrine deposits in the Sanaüja area. Our aim is to provide precise age control to the architectural variations along this transition in order to distinguish climatically forced from tectonically controlled changes. The magnetostratigraphic study carried out in the area includes 159 paleomagnetic sites drilled along a ca.1400 m thick stratigraphic section in the Eocene-Oligocene deposits around the village of Sanaüja. Our preliminary results suggest that the final and definitive progradation of the Solsona-Sanaüja fan system occurred during Priabonian times and was linked to a tectonically controlled reorganization of the drainage pattern at the end of the emplacement of the South-Pyrenean thrust sheets. In the shorter term, the rapid alternances between lake and alluvial deposits could have been controlled by climatic changes related to orbital eccentricity cycles.*

Keywords: *fluvial fan, Ebro Basin, lacustrine system, magnetostratigraphy*

Resumen: Del Eoceno tardío al Oligoceno, un sistema de abanicos aluviales se desarrolló en el sector nororiental de la Cuenca del Ebro en respuesta al emplazamiento y la erosión de los sistemas de cabalgamiento surpirenaicos. En sus partes distales se desarrollaron sistemas lacustres que migraron según las variaciones en las tasas de subsidencia, mientras que los episodios de expansión-retracción de los lagos fueron controlados por variaciones climáticas. Ambos factores impactaron en la dinámica de los sistemas aluviales y en su estilo arquitectural. Este estudio se centra en los cambios de facies y en la datación magnetoestratigráfica de la transición entre el abanico fluvial de Solsona-Sanaüja y los depósitos lacustres coetáneos en el área de Sanaüja. Nuestro objetivo es proporcionar una datación precisa de las variaciones en la arquitectura de esta transición para distinguir los cambios controlados por la tectónica de los de origen climático. El estudio magnetoestratigráfico llevado a cabo en la zona incluye 159 estaciones de paleomagnetismo, muestreadas a lo largo de una serie estratigráfica de ca. 1400 m de espesor en los depósitos del Eoceno-Oligoceno la zona de Sanaüja. Nuestros resultados preliminares sugieren que la progradación final y definitiva del sistema de abanico aluvial de Solsona-Sanaüja tuvo lugar en el Priaboniense y estuvo ligado a una reorganización en la red de drenaje por causas tectónicas, durante la fase final del emplazamiento de los cabalgamientos surpirenaicos. A más corto plazo, las alternancias rápidas entre depósitos lacustres y aluviales pudieron haber sido controladas por variaciones climáticas relacionadas con ciclos de excentricidad orbital.

Palabras clave: abanico fluvial, sistema lacustre, Cuenca del Ebro, magnetoestratigrafía

INTRODUCTION

Relevant information on tectonic, climatic and sedimentary processes can be drawn from the analysis of the facies changes and the sequential arrangement of distal parts of fluvial fan systems and their sedimentary relationship with coeval lacustrine systems (Keighley et al., 2003). In foreland settings at the front of active orogens, the aggradation/progradation of fluvial fans depends greatly on the tectonic activity and the derived drainage pattern changes in the hinterland. On the other hand, changes in lake level can respond to climatic variations and have an impact on the alluvial-lacustrine transitional style (Sáez et al., 2007).

From late Eocene to Miocene times, the Ebro Basin was restricted and characterized by internal drainage (Anadón et al., 1989, Garcés et al., 2020). In the northeastern sector of the Ebro Basin (Fig. 1), this led to the deposition of marine

evaporites (Cardona Fm), followed by the development of a wide central shallow lacustrine system that was mainly nourished by fluvial fan systems from the Pyrenees (Sáez et al., 2007). In this work, we study the Solsona-Sanaüja fluvial fan system, aiming to provide precise age control for the sedimentary changes linked to lake level variations in its distal parts from litostratigraphic and magnetostratigraphic data. This will help distinguishing climatically from tectonically controlled changes in the facies arrangement of the alluvial-lacustrine transitions of the upper Eocene-Oligocene series of the Sanaüja area (Fig. 1).

GEOLOGICAL SETTING

From Late Cretaceous to early Eocene times, at early stages of the Pyrenean mountain building, a longitudinal sediment routing system established along the south-Pyrenean foreland and piggy-back basins. From late Eocene to Miocene times, on the Pyrenean northern margin of the Ebro Basin, the erosion of the internal and frontal parts of the orogen led to the development of a series of fluvial fan systems which prograded from North to South on well developed lacustrine deposits in the basin center. The position of the fluvial fans was controlled by the position of their catchments, transverse to the South-Pyrenean frontal thrusts. In the eastern Ebro Basin, the Solsona-Sanaüja fluvial fan developped. In the Sanaüja area, a thick sedimentary succession which corresponds to the distal part of this fluvial fan outcrops on the northern limb of the Sanaüja Anticline (Fig. 1). It consists of an alternance of sandy and mudstones alluvial facies which overlie evaporites and silty lacustrine deposits, forming a coarsening-upwards megasequence of Priabonian age.

The overall progradation of the Solsona-Sanaüja fluvial fan system in the Sanaüja area is marked by a series of lacustrine regressive-transgressive cycles, which result in a vertical stacking of four major lithological units:

(1) Gypsum and grey mudstones of the Barbastro Fm

(2) Sheet-like dominated sandstones and mudstones (Súria Fm)

(3) White lacustrine carbonate siltstones, mudstones, and minor limestones and sheet sandstones of the Torà Fm

(4) Channelized sandstones and red mudstones of the Solsona Fm.

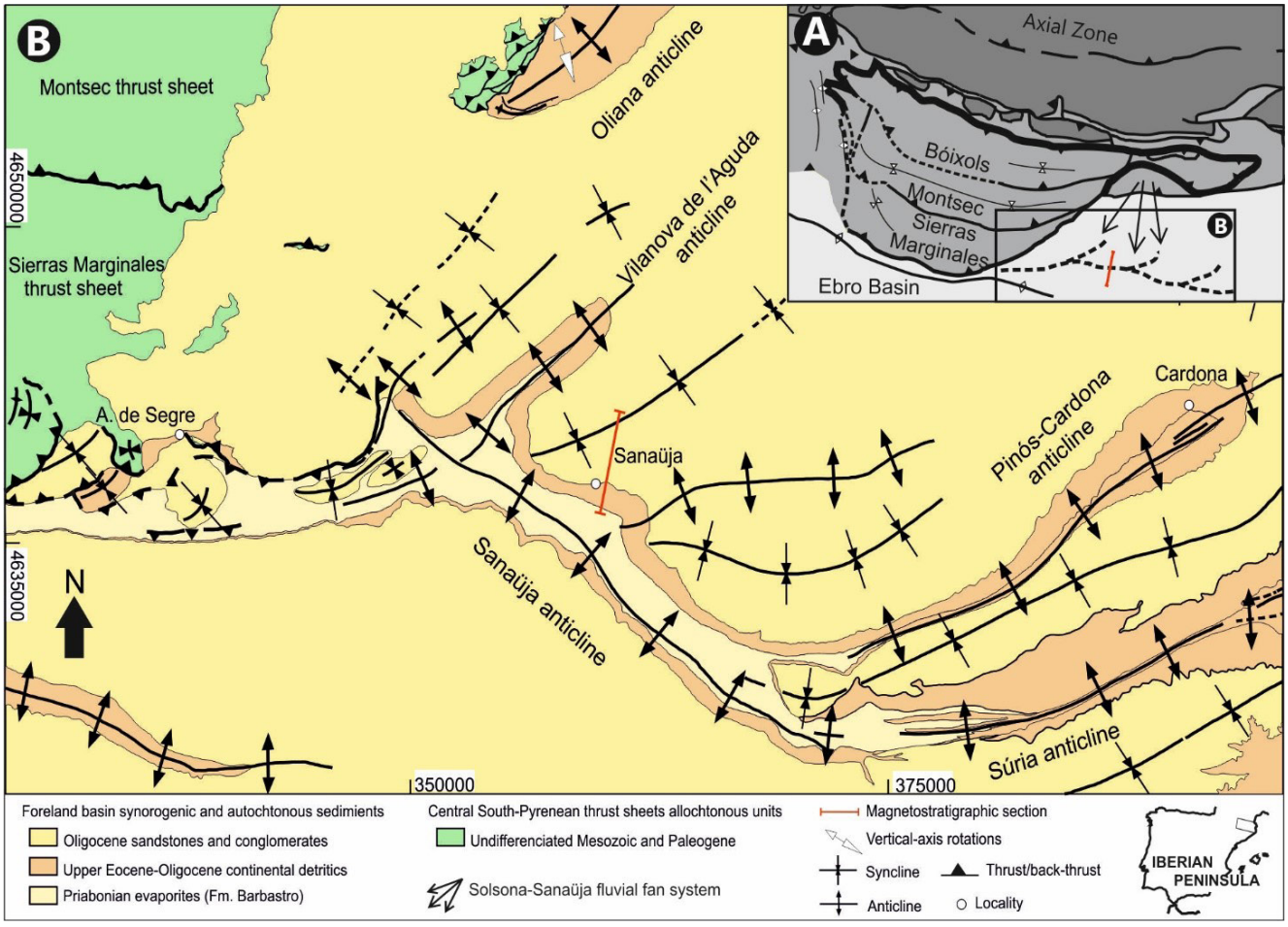


FIGURE 1. (A) Geologic situation of the studied area in the northeastern sector of the Ebro Basin, at the South of the central Pyrenean thrust sheets. Modified from Muñoz et al., 2013 (B) Geological map showing the main geological units and structures in the Sanaüja area. The indicated magnetostratigraphic section is located on the northern limb of the Sanaüja anticline. Redrawn from the "Mapa geológico comarcal 1:50000" of the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. The coordinates are in WGS84, UTM zone 31 projection.

MAGNETOSTRATIGRAPHIC STUDY

A total of 159 sites were sampled along a ca. 1400 m thick stratigraphic section (Fig. 2) on the northern limb of the Sanaüja anticline (Fig. 1). Out of these, 5 sites were located on thin siltstones intervals interbedded between the gypsum layers of the Barbastro Fm, 59 sites were situated on the mudstones and fine sandstones from terminal lobes facies and offshore and deltaic lacustrine facies of the Súria and Torà Fms, and finally 95 sites were located on the fluvial mudstones and fine sandstones of the Solsona Fm (Fig. 2).

Laboratory analyses consisted in stepwise thermal demagnetization and measurement of the natural remanent magnetization (NRM) after each demagnetization step. Following these analyses, a quality level (Q1 to Q3, from best to worst) was assigned to the obtained characteristic components depending on their reliability. Characteristic components are usually defined between 250-540 ºC for the samples taken in the lacustrine and delta front levels of the Torà and Súria Fms, pointing to (titano)magnetite as the main remanence carrier in these sediments. However, higher unblocking temperatures around 400-670º C suggest that magnetite and hematite are the main remanence carriers in the fluvial (red) sediments of the Solsona Fm. In the stereographic projection, Q1 and Q2 sample mean directions show counterclockwise vertical axis rotations (VAR) of about 10º.

The latitude of the Virtual Geomagnetic Pole (VGP) of each sample was calculated and plotted against its stratigraphic position in order to define magnetozones. Our preliminary results reveal 3 magnetozones; a normal magnetozone from site 44 to 59 limited above and below by reversed magnetozones.

DISCUSSION

The magnetostratigraphic study of the Sanaüja section gives accurate ages for the transition of fluvial fan systems to central lacustrine systems in the northeastern part of the Ebro Basin. The tentative correlation of the local magnetostratigraphy with the Geomagnetic Polarity Time Scale (Ogg et al., 2016), suggests Priabonian to Rupelian ages for the stratigraphic succession of the Sanaüja area (C13r to C12r).

The precise and continuous dating of these sediments allows establishing causal relationships between depositional styles and tectonic events at the South Pyrenean front. It also gives a precise temporal frame to depict the role of climate variations in the architectural arrangement of the fluvial system.

Lithological and preliminary magnetostratigraphic data suggest that the definitive progradation of the Solsona-Sanaüja fluvial fan system on the lacustrine deposits occurred at the base of the Solsona Fm during Priabonian times and is probably related to a tectonically controlled reorganization of the drainage pattern. On a smaller scale, the successive episodes of expansions and retractions of the lake system in Sanaüja, marked by the Barbastro, Torà and Suria Fms deposits, could be related to the effect of eccentricity orbital cycles, with lake expansion corresponding to relatively wet periods, as shown in Valero et al., (2014).

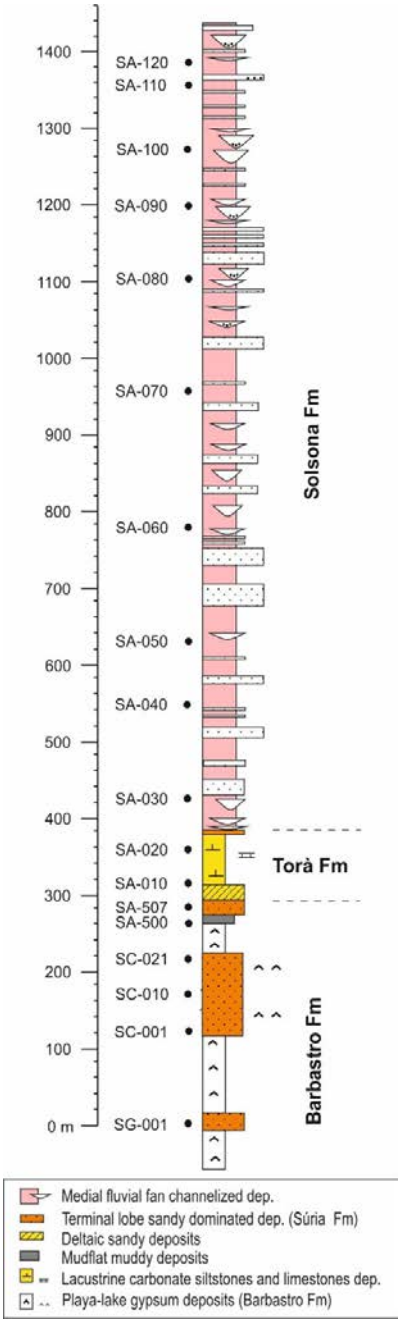


FIGURE 2. General sedimentary succession at the Sanaüja site. The position of some of the paleomagnetic sites of this study are indicated. Modified from Gibert and Sáez, 2008.

Counterclockwise VAR observed in the Sanaüja section are similar to the ones reported by Sussman et al, (2004) for the Oliana anticline, near our study area. The precise magnetostratigraphic dating of the Sanaüja section allows constraining the age of these rotations and determining their relationship with the emplacement of the southernmost South-Pyrenean frontal thrusts and the formation of related structures, such as the Sanaüja Anticline.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the project "Tectónica Salina en Cinturones Contractivos" (SALTCONBELT- CGL2017-85532-P), funded by Agencia Estatal de Investigación (AEI) and Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCES

Anadón, P., Cabrera, L., Colldeforns, B. and Sáez, A. (1989). *Acta Geológica Hispánica* 24: 205–230.

de Gibert, J. M. and Sáez, A. (2008). *Palaeogeography* 272, 162-175.

Garcés, M., López-Blanco, M., Valero, L., Beamud, E., Muñoz, J. A., Oliva-Urcia, B., Vinyoles, A., Arbués, P., Cabello, P. and Cabrera, L. (2020). *Marine and Petroleum Geology* 113, 104105.

Keighley D., Flint, S., Howell, J. and Moscariello, A. (2003). *Journal of Sedimentary Reserach* 73, 987–1006.

Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M. (2016): *A Concise Geologic TimeScale 2016*. Elsevier, 234 p.

Sáez, A., Anadón, P., Herrero, M.J., Moscariello, A. (2007). *Sedimentology* 54, 367–390.

Sussman, A.J., Butler, R.F., Dinarès-Turell, J., Vergés, J. (2004). *Earth and Planetary Science Letters* 218, 435-449.

Valero, L., Garcés, M., Cabrera, L., Costa, E. and Sáez, A. (2014). *Earth and Planetary Science Letters* 408, 183-193.

A potential record of the Porcupine magnetic excursion in the lacustrine varved sediments of the Villarroya Basin (La Rioja, Spain).

Posible registro de la excursión magnética "Porcupine" en depósitos lacustres varvados de la cuenca de Villarroya (La Rioja).

E.L. Pueyo[1,2], A. Muñoz[2,3] y C. Laplana[4]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, C/Manuel Lasala 44, 50006, Zaragoza, unaim@igme.es
2 Unidad Asociada en Ciencias de la Tierra IGME/Universidad de Zaragoza.
3 Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, C/Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, armunoz@unizar.es
4 Museo Arqueológico Regional, P/ Bernardas s/n, 28801, Alcalá de Henares, Madrid, cesar.laplana@gmail.com

Palabras clave: Magnetoestratigrafía, Porcupine, Plioceno, varvas, Villarroya.

Abstract

The Plio-Quaternary Villarroya Basin displays more than 100 meters of continental sedimentation. A recent magnetostratigraphic study (Pueyo et al. 2016) allows the dating of the basin infill between chron C2An.2n (Gauss) at the base of the section up to, at least, chron C1r.3r (Matuyama above Olduvai). On the other hand, Channell et al. (2016) have proposed a new reverse magnetic excursion afterwards. The so-called "Porcupine" magnetic event is placed within chron normal C2An.1n (Gauss top) and it is dated with an age of 2737 ka. The Villarroya-1 section includes chron C2An.1n with normal polarities but also shows (meters 16 to 19) a semigradual transition to reverse polarity in four consecutive sampled levels that we tentatively propose as the first continental lacustrine record of Porcupine. This part of the Villarroya-1 stratigraphic sections coincides with a varved lake sedimentation (Muñoz et al., 2002) that may allow, in comparison to other continental environments, a better stratigraphic resolution due to the high sedimentation rates (> 1mm / year).

Resumen

La cuenca de Villarroya consta de una acumulación de sedimentos continentales pliocuaternarios de más de 100 metros de potencia. Recientemente se ha realizado un estudio magnetoestratigráfico (Pueyo et al. 2016) en el que se propone una datación entre el cron C2An.2n (Gauss) en la base y al menos C1r.3r (Matuyama por encima de Olduvai) en el techo. Por otra parte, Channell et al. (2016) han propuesto con posterioridad una nueva excursión magnética inversa denominada Porcupine que sitúan dentro del cron normal C2An.1n (techo de Gauss) con una edad de 2737 ka. La columna Villarroya-1 incluye el cron C2An.1n con polaridades normales pero muestra (entre los metros 16 y 19) una transición semigradual a polaridad inversa en cuatro niveles estratigráficos consecutivos muestreados y que tentativamente proponemos como el primer registro continental de Porcupine. La parte de la columna de Villarroya-1 donde aparece la excursión coincide con una sedimentación lacustre varvada (Muñoz et al., 2002) que puede permitir una mejor resolución que otras series continentales debido a las elevadas tasas de sedimentación registradas (> 1mm/año).

Referencias

Channell, J. E. T., Hodell, D. A. and Curtis, J. H. (2016). *Quaternary Science Reviews* 131, 1-19.

Muñoz, A., Ojeda, J. and Sánchez-Valverde, B. (2002). *Journal of Paleolimnology* 27(4), 453-463.

Pueyo, E. L., Muñoz, A., Laplana, C. and Parés, J. M. (2016). *International Journal of Earth Sciences* 105(8), 2203-2220.

Cartografía indirecta de residuos industriales del barrio de La Almozara (Zaragoza) por medio de la susceptibilidad magnética.

Indirect mapping of industrial wastes in the subsoil of La Almozara neighborhood (Zaragoza) by means magnetic susceptibility.

Ó. Pueyo Anchuela[1], P. Calvín[2], P.L. López Julián[3], C. Revuelto[4], J. Sánchez[5], A. Pocoví[1]; J. Ramajo[1], E. Mihi[5], G. Jiménez[5] y B. Bauluz[1]

1 Instituto Univ. de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Depto. Ciencias de la Tierra. Univ. de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). opueyo@unizar.es; javierramajo@gmail.com, bauluz@unizar.es; apocovi@unizar.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza, C/Manuel Lasala 44, 9B, 50006 Zaragoza, Spain. pablo_calvin@hotmail.com
3 Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia – C/ Mayor, s/n. CP 50.100 – La Almunia de Doña Godina. pllopez@unizar.es
4 Geoscan S.L.P. C/ Ajedrea nº 20 nave E-24. Parque Empresarial Magnus-Polígono Empresarium. C.P. 50720. crevuelto@geoscan.es.
5 Asociación de Vecinos Ebro de La Almozara – Zaragoza. j.s.1980@hotmail.com;emihite@hotmail.com; asociacionebro@gmail.com

Palabras clave: susceptibilidad magnética, residuos industriales, cartografía magnética, La Almozara, metales pesados

Resumen

En el subsuelo del barrio de La Almozara (Zaragoza) persisten residuos de la tostación de sulfuros de una antigua planta industrial que finalizó su actividad en la década de 1970. Los residuos generados no fueron retirados y es habitual su aparición en obras y en zonas de parque del barrio. Su aparición en superficie produce la dispersión eólica y la exposición aérea a dichos residuos con altos contenidos en As, Sb, Be, Cd, Co, Cr. Mo, Ni, Ag, Pb, Se, Hg y Zn. La susceptibilidad magnética de estos residuos presenta valores entre los 5000 y 50000 x 10^{-6} (SI) que contrasta con los valores de fondo natural local que presenta valores entre 10 y 100 x 10^{-6}. Los valores de susceptibilidad magnética exhiben una gradación prácticamente continua entre los suelos naturales tipo y los residuos que define la presencia de procesos de mezcla entre los materiales naturales, antrópicos y los residuos existentes de las zonas de parque del barrio. Se define así la cartografía de susceptibilidad magnética como herramienta para la cartografía de la distribución de los residuos y de los materiales de mezcla con los materiales naturales de la zona de estudio.

Abstract

Chemical wastes from sulfur roasting from an old industrial site that finished its activity during the decade of 1970 persist in the subsoil of the Almozara neighborhood (Zaragoza). The generated wastes were not retired and it is usual their appearance in works and at park grounds of this neighborhood. Their surficial exposition produces their aeolian dispersion with high contents in As, Sb, Be, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Ag, Pb, Se, Hg and Zn. Magnetic susceptibility from these wastes presents values between 5000 and 50000 x 10^{-6} (SI) contrasting with the values of the natural materials with values between 10 and 100 x 10^{-6}. Susceptibility values present a wide value range from natural soils to wastes that define a continuous mixture between wastes and natural soils. This approach permits to evaluate the magnetic susceptibility mapping as an efficient tool to identify both wastes and mixtures between natural and waste materials in the studied zone.

Modelo arqueomagnético global para la Anomalía de la Edad de Hierro de Levante.

Archaeomagnetic global model for the Levantine Iron Age Anomaly.

P. Rivera[1], F. J. Pavón-Carrasco[2] y M. L. Osete[3]

1 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avd. Complutense s/n, 28040, Madrid, España. pabloriv@ucm.es
2 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avd. Complutense s/n, 28040, Madrid, España. fjpavon@ucm.es
3 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avd. Complutense s/n, 28040, Madrid, España. mlosete@fis.ucm.es

Palabras clave: Archaeomagnetism, LIAA, Spherical Harmonics modelling, spike.

Resumen

La LIAA ("Levantine Iron Age Anomaly") es una variación rápida del campo geomagnético descubierta por Shaar *et al.* (2016, 2017) en la región de Levante y caracterizada por altas intensidades y momento dipolar axial en torno a 160 ZAm^2. Ha sido registrada por datos arqueomagnéticos procedentes de Europa del Este y Oriente Próximo, localizándola temporalmente entre 1050 AC y 700 AC. Geométricamente la LIAA se relaciona con una gran anomalía positiva del campo geomagnético (spike) en la superficie de la Tierra

Davies y Constable (2017) indicaron que esta anomalía está caracterizada por longitudes de onda corta debido la contribución de términos de grado alto en el desarrollo en armónicos esféricos del campo geomagnético. Siguiendo este trabajo, intentamos analizar la LIAA con un modelo arqueomagnético realista, utilizando la base de datos arqueomagnéticos actualizada para la región y periodo temporal de la LIAA. Para recontruir este evento del tipo spike, desarrollamos un modelo global en armónicos esféricos como una perturbación de los coeficientes de Gauss de un modelo paleomagnético previo que no incorpora datos de la LIAA. Nuestros resultados indican que la LIAA puede estar caracterizada por longitudes de onda más largas y por lo tanto definida por términos de menor grado armónico (entre 3 y 6) que lo esperado en los trabajos previos.

Abstract

The LIAA ("Levantine Iron Age Anomaly") is a short-decadal geomagnetic field variation found by Shaar et al. (2016, 2017) in the Levantine Region and characterized by high intensities with virtual axial dipole moments around 160 ZAm^2. It's been recorded by archaeomagnetic data coming from Eastern Europe and Western Asia constraining the LIAA between 1050 BC and 700 BC. Geometrically speaking, the LIAA can be related to a big geomagnetic positive anomaly (spike) at the Earth's surface.

Davies and Constable (2017) indicated that this anomaly is characterized by small spatial wavelengths and thus it is due to the contribution of high spherical harmonic degrees. Following this work, we try to analyse the LIAA from a realistic model of the archaeomagnetic field, using the most recent archeomagnetic dataset covering the spatial and temporal period of the LIAA. To reconstruct the spike event, we develop a spherical harmonic global model as a perturbation of the Gauss coefficients from a previous paleomagnetic global model that did not use the LIAA data record. Our results show that the LIAA event could be characterized by larger spatial wavelengths and thus it is defined by lower harmonic degrees (between 3 and 6) than expected by the previous work.

Referencias

Davies, C. and Constable, C. (2017). Geomagnetic spikes on the core-mantle boundary. *Nature communications,* 8, doi: 10.1038/ncomms15593.

Shaar, R., Tauxe, L., Ron, H., Ebert, Y., Zuckerman, S., Finkelstein, I., and Agnon, A. (2016). Large geomagnetic field anomalies revealed in Bronze to Iron Age archaeomagnetic data from Tel Megiddo and Tel Hazor, Israel. *Earth and Planetary Science Letters,* 442, 173-185.

Shaar, R., Tauxe, L., Ebert, Y. (2017). Large short-term deviations from dipolar field during the Levantine Iron Age Geomagnetic Anomaly ca. 1050-700 BCE. AGU Fall Meeting Abstracts.

Comparación de tensores de magnetización remanente y de susceptibilidad magnética: clave para entender las fábricas magnéticas superpuestas.

Comparing remanent magnetization and magnetic susceptibility tensors: a key to understand overprinted magnetic fabrics.

H. Sant'Ovaia[1*], C. Cruz[1] y F. Noronha[1***]**

1 FCUP. Earth Sciences Institute – Porto Pole. Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal. *hsantov@fc.up.pt; **claudiacruz@fc.up.pt; ***fmnoronh@fc.up.pt

Palabras clave: granito, anisotropía de susceptibilidad magnética, anisotropía de remanencia.

Resumen

Los granitos del plutón de Lamas de Olo, de 297 Ma, Zona Centro Ibérica, han sido estudiados para conocer su anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS) y anisotropía de la magnetización remanente anhisterética (AARM). Se estudiaron muestras con altos valores de susceptibilidad magnética (*K*) (>1000μSI) y con bajo *K*. La comparación entre la AARM y la AMS discrimina entre la fábrica correspondiente a la fracción ferromagnética y la total de la roca. La lineación magnética es K_{max} o $AARM_{max}$ y la foliación magnética es perpendicular a K_{min} o $AARM_{min}$. Teniendo en cuenta la fábrica magnética global para todo el conjunto de granitos, las foliaciones magnéticas y las lineaciones magnéticas son coaxiales en ambos tensores. En los granitos con alto *K*, las lineaciones y foliaciones magnéticas de la AMS y la AARM también son coaxiales, lo que significa que tanto la magnetita como los minerales paramagnéticos (o diamagnéticos) tienen la misma orientación. Las foliaciones magnéticas coaxiales AMS y AARM se deben a los granos de magnetita que mimetizan las fábricas de las fases paramagnéticas, o la cristalización de magnetita a lo largo de los límites de granos, o exsoluciones de magnetita a lo largo de los planos de exfoliación de la biotita. Sin embargo, en los granitos con bajo *K*, las foliaciones AMS y AARM son paralelas, pero las lineaciones AMS y AARM no son coaxiales. Estudios en granitos con bajo *K* (Cruz *et al.*, 2020) señalaron la presencia de pequeños contenidos de magnetita pobre en Ti oxidada a hematites. La remanencia magnética de la martita es oblicua a la susceptibilidad magnética de la biotita, lo que justifica la existencia de tensores no coaxiales.

Abstract

Granites from the Lamas de Olo Pluton, ca. 297 Ma, Central Iberian Zone, were investigated for their AMS and AARM. Samples with high magnetic susceptibility, K (>1000μSI), and with low K, were studied. The comparison between AARM and AMS discriminates the fabric of the ferromagnetic fraction from the total rock. The magnetic lineation is K_{max} or $AARM_{max}$ and the magnetic foliation is perpendicular to K_{min} or $AARM_{min}$. Considering the global magnetic fabric for all the granite set, the magnetic foliations and the magnetic lineations are coaxial in both tensors. In the high K granites, the magnetic lineations and foliations from AMS and AARM are also coaxial, meaning that the magnetite and paramagnetic (or diamagnetic) minerals have the same orientation. The coaxial AMS and AARM magnetic foliations are due to magnetite grains imitating the fabrics of paramagnetic phases, or crystallization of magnetite along grain boundaries, or exsolutions of magnetite along biotite cleavage planes. However, in the low K granites, the AMS and AARM foliations are parallel, but the AMS and AARM lineations are not coaxial. Studies in K low granites (Cruz et al., 2020) pointed out the presence of small contents of Ti-poor magnetite oxidized to hematite. The magnetic remanence carried by martite is oblique to magnetic susceptibility carried by biotite, justifying the non-coaxial tensors.

Referencias

Cruz, C., Sant'Ovaia, H. and Noronha, F. (2020). *Geologica Acta*, 18(5): 1-20.

Caracterización del plegamiento oblicuo del autóctono de la cuenca del Ebro a partir del análisis de fábricas magnéticas.

Oblique folding characterization in the autochthonous Ebro basin deposits from magnetic fabric analysis.

R. Soto[1], E. Beamud[2,3], O. Gratacós[3], T. Mochales[4], L. Valero[5], C. Peigney[3], E. Roca[3]

1 IGME Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, Zaragoza. r.soto@igme.es
2 Paleomagnetism Laboratory, CCiTUB – Geo3BCN CSIC, Barcelona. betbeamud@ub.edu
3 Geomodels UB Research Institute, Universitat de Barcelona, Barcelona. ogratacos@ub.edu, c.peigney@ub.edu, eduardroca@ub.edu
4 Planageo-IGME. C/ Manuel Lasala, 44, 9ºB, Zaragoza. taniamochales@gmail.com
5 Département des sciences de la Terre, Université de Genève, Geneva, Suiza. Luis.Valero@unige.ch

Palabras clave: Fábricas magnéticas, pliegue oblicuo, autóctono deformado, cuenca de antepaís

Resumen

El análisis de la geometría y cinemática de estructuras oblicuas es necesario para entender su origen y evolución. En este trabajo el estudio de la fábrica magnética se utiliza como una herramienta para determinar la historia deformacional de los pliegues oblicuos situados en el autóctono deformado del sector nororiental de la cuenca de antepaís del Ebro. Un total de 149 estaciones han sido analizadas a partir del análisis de la fábrica magnética (anisotropía de la susceptibilidad magnética) con este objetivo. El muestreo se realizó en materiales detríticos sinorogénicos del Eoceno Superior-Oligoceno del sector de Artesa de Segre-Cardona. A pesar de la dirección de acortamiento regional aproximada N-S, oblicua con respecto a la orientación N045E a N135E de los pliegues estudiados, las direcciones obtenidas de la lineación magnética en la mayoría de los casos se encuentran contenidas en el plano de estratificación y paralelas a los ejes de los pliegues oblicuos. El análisis paleomagnético realizado de forma paralela a este estudio muestra la existencia de rotaciones anti-horarias de estos pliegues relacionadas con el emplazamiento del saliente de cabalgamientos del Pirineo Central (Peigney *et al.,* 2021), lo que sugiere que los elipsoides magnéticos obtenidos han actuado como marcadores pasivos de la deformación registrando información relacionada con el acortamiento paralelo a las capas inicial (*layer parallel shortening*) y/o su plegamiento posterior.

Abstract

The analysis of the geometry and kinematics of oblique structures is necessary to properly constrain their origin and evolution. In this work we use the study of magnetic fabrics to determine the deformational history of several oblique folds located in the deformed autochthonous deposits of the northeastern Ebro foreland basin. A total of 149 sites have been studied using magnetic fabric (anisotropy of magnetic susceptibility) analysis with this objective. Sampling was done in the Upper Eocene-Oligocene syntectonic detritic deposits located in the Artesa de Segre-Cardona area. Despite the regional shortening direction is oriented N-S, oblique with respect to the N045E to N135E orientation of studied folds, the orientation of the resulting magnetic lineation is, in most cases, contained in the bedding plane and parallel to fold axes. The paleomagnetic study carried out in the same samples shows predominant anti-clockwise rotations related to the emplacement of the Central Pyrenees thrust salient (Peigney et al., 2021) suggesting that the magnetic ellipsoids have acted as passive markers of deformation registering information related to the initial layer parallel shortening and/or their posterior folding.

Referencias

Peigney, C., Beamud, E., Gratacós, O., Valero, L., Soto, R., Roca, E. y Muñoz, J.A. (2021). En: *X Congreso Geológico de España.* En prensa.

Cronología de los procesos de remagnetización química por enterramiento.

Timing of burial chemical remagnetizations.

J. J. Villalaín[1], P. Calvín[1], M. F. Bógalo[1], I. Falcón[1] y A. M. Casas-Sainz[2]

1 Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Física, Burgos, Spain. villa@ubu.es; pcalvin@ubu.es; mfbogalo@ubu.es; ifalcon@ubu.es

2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Geotransfer-IUCA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain. acass@unizar.es

Palabras clave: paleomagnetismo, magnetismo de las rocas, remagnetización química, superchron, magnetita.

Resumen

Las remagnetizaciones químicas regionales son fenómenos muy habituales en rocas sedimentarias, especialmente cuando están ligadas a los procesos de enterramiento, ya que el incremento de la temperatura asociado al mismo favorece el crecimiento de cristales ferromagnéticos (s.l.). El crecimiento de magnetita en calizas registrando remagnetizaciones a lo largo de áreas muy extensas ha sido descrito en diversas cuencas sedimentarias de espesor importante. Un caso bien estudiado en trabajos previos de nuestro grupo de investigación es el de la cuenca mesozoica del Atlas, posteriormente invertida durante el Cenozoico. Las calizas del Jurásico inferior registraron una remagnetización de sistemática polaridad normal portada por magnetita que ha podido ser datada con precisión en 100 Ma, dentro del Supercrón de Polaridad Normal del Cretácico (CNS). La mineralogía magnética de estas rocas está dominada por magnetita con tamaños de grano correspondientes a estado superparamagnético (SP) y monodominio estable (SSD). La remagnetización muestra una dirección y edad muy homogénea a lo largo de toda la región investigada (~10.000 km^2), sugiriendo un tiempo rápido de registro. Sin embargo, la fase extensional de esta cuenca se prolongó durante decenas de millones de años, manteniendo las condiciones de enterramiento necesarias para el crecimiento de cristales de magnetita, cubriendo de ese modo muchos crones de polaridad incluyendo el CNS. En este trabajo abordamos la cuestión de la cronología del crecimiento de cristales y del bloqueo de la magnetización en magnetita, así como del registro de la remagnetización. Analizamos la hipótesis de que la dirección de remagnetización representa el promedio de los momentos magnéticos de toda la población de magnetita SSD que crece de forma continua desde el Jurásico Medio hasta el Cenozoico, dando como resultado la dirección esperada para la edad central del CNS. Para probar la hipótesis hemos realizado simulaciones del registro de la remagnetización, así como experimentos de magnetismo de rocas para demostrar la presencia de granos de magnetita bloqueados con polaridades normal e inversa en la misma muestra. Estos resultados explican también la alta frecuencia de remagnetizaciones regionales registradas durante los supercrones de polaridad.

Abstract

The widespread chemical remagnetizations are common in sedimentary rocks, particularly if they are caused by burial. This is because the heating linked to burial generates the growth of ferromagnetic (s.l.) grains. The growth of magnetite in limestones as responsible of widespread remagnetizations has been documented in several thick sedimentary basins. A case that has been studied in depth by our research group is that of the Mesozoic Atlasic Basin subsequently inverted during the Cenozoic. The lower Jurassic limestone recorded a systematically normal polarity overprint carried by magnetite. This remagnetization has been dated at 100 Ma, within the so called Cretaceous Normal Polarity Superchron (CNS). The magnetic mineralogy of these rocks is dominated by fine grained magnetite with domain state between superparamagnetic (SP) and stable singledomain (SSD). This remagnetization shows a very homogeneous paleomagnetic direction and age throughout the wide studied area (~10.000 km^2), suggesting an acquisition during a short event. However, the extensional stage of the basin lasts tens of millions years, keeping the necessary burial conditions for growth of magnetite grains across several polarity chrons, including the CNS. In this study we address the question of timing of growth of magnetic particles and blocking of magnetization in magnetite, as well as the record of the remagnetization. We analyze the hypothesis that the remagnetization direction is just the average of magnetic moments of the entire SSD magnetite population that grew from the Middle Jurassic up to the Cenozoic, resulting in the expected direction at the middle of the CNS. In order to test this hypothesis, simulations of the record of magnetization as well as rock magnetism experiments to demonstrate the existence of SSD magnetite grains blocked with reversed and normal polarities in the same sample have been developed. These results can explain the frequent occurrence of widespread remagnetizations during superchrons.

L-MAGMA: Nuevo Laboratorio de Magnetismo de Materiales y Magnetismo Ambiental en el Instituto Geográfico Nacional.

L-MAGMA: New Laboratory of Material Magnetism and Environmental Magnetism at the Instituto Geográfico Nacional.

V. Villasante-Marcos[1], A. Gomis[1], J.M. Tordesillas[2], M. Fernández de Villalta[1]

1 Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/Alfonso XII, 3, 28014 Madrid. vvillasante@mitma.es , agomis@mitma.es , mcfvillalta@mitma.es

2 Observatorio Geofísico de Toledo, Instituto Geográfico Nacional, Avd. Adolfo Suárez, km 4, 45005 Toledo. jmtordesillas@mitma.es

Palabras clave: magnetismo ambiental; magnetismo de materiales; magnetismo de rocas; laboratorio; IGN.

Resumen

Desde enero de 2020 el Servicio de Geomagnetismo del Instituto Geográfico Nacional (IGN) cuenta con un nuevo Laboratorio de Magnetismo de Materiales y Magnetismo Ambiental (L-MAGMA), localizado en el Observatorio Geofísico Central del IGN en Madrid. El objetivo principal del Laboratorio es la realización de medidas de magnetismo de rocas dentro de los proyectos en los que participa el personal del IGN, tanto propios como en colaboración con otras instituciones. Actualmente, dichos proyectos están enfocados principalmente al Magnetismo Ambiental, destacando entre ellos: el Proyecto ANTROPICOSTA-2, en colaboración con la Universidad del País Vasco, dedicado al análisis multidisciplinar de los cambios ambientales y contaminación antrópica registrados en sedimentos intermareales y marinos recientes de las Rías de Bilbao, Avilés, Vigo y Mondego; el Proyecto PROMEDED, en colaboración con el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, centrado en el estudio de los cambios de la productividad biológica, la desoxigenación y el aporte eólico en el Mediterráneo debidos a los cambios climáticos de los últimos 35 ka; o el estudio de los cambios ambientales e impacto antropogénico registrados en sedimentos de lagos de la Cordillera Cantábrica, en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid. Además de estos proyectos, L-MAGMA tiene vocación de servicio público, por lo que se encuentra abierto a cualquier investigador en el campo del magnetismo ambiental y magnetismo de rocas que pudiera estar interesado en su uso. En esta contribución presentaremos el Laboratorio y la instrumentación disponible para dar a conocer su existencia y capacidades al resto de la comunidad de Ciencias de la Tierra.

Abstract

Since January 2020 the Geomagnetism Service of the Instituto Geográfico Nacional (IGN) operates a new Laboratory of Material Magnetism and Environmental Magnetism (L-MAGMA), located at the IGN Central Geophysical Observatory in Madrid. The aim of the Laboratory is to allow the measurement of rock magnetic properties in the context of the projects in which IGN staff is involved, which are mainly focused on Environmental Magnetism: ANTROPICOSTA-2 Project with Universidad del País Vasco, devoted to a multiproxy study of the environmental changes and anthropogenic impacts recorded in recent intertidal and marine sediments of Bilbao, Avilés, Vigo and Mondego estuaries; PROMEDED Project with Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, studying biological and eolian input changes during the last 35 ka in the Mediterranean; and the analysis of environmental changes and anthropogenic impact recorded in recent lacustrine sediments of the Cantabrian Range, in collaboration with UCM. L-MAGMA aims to provide free access to any interested researcher in the fields of rock and environmental magnetism. In this contribution, we present the Laboratory and its current capabilities to the broader Geosciences community.

¿Límite o Transición? Interpretación conjunta de una sección sísmica del margen continental del Este de la India

Boundary or Transition? Crowd-sourced interpretation of a seismic section in the East Indian margin.

J. Alcalde[1], C. E. Bond[2], R. Carbonell[1] y R.W.H. Butler[2].

1 Department of Structure and Dynamics of the Earth, Institute of Earth Sciences Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Spain – jalcalde@ictja.csic.es; ramon.carbonell@ictja.csic.es

2 Department of Geology and Geophysics, University of Aberdeen, United Kingdom – clare.bond@abdn.ac.uk; rob.butler@abdn.ac.uk

Palabras clave: márgenes continentales, Este de la India, sísmica de reflexión, interpretación conjunta.

Resumen

Para entender el estado actual y la evolución geodinámica de los márgenes continentales es esencial comprender la naturaleza de sus límites, bien sean en forma de límites netos (*continental-ocean boundaries* o 'COB') o de transiciones (*continental-ocean transitions*, o COT) continental-oceánicas. La incertidumbre inherente a los datos geofísicos que se utilizan para determinar estos modelos de márgenes hace que se puedan postular diferentes tipos (COB o COT) para una misma región de la tierra. Un ejemplo de esta problemática se puede encontrar en el margen del Este de la India, que ha sido objeto de diversas interpretaciones entre COB y COT (Eagles *et al.*, 2015). En este trabajo exploramos la variabilidad en la interpretación de una sección sísmica del margen del Este de la India llevada a cabo por grupos de intérpretes independientes en un experimento bajo condiciones controladas. Los resultados de este experimento, principalmente la interpretación de las fallas y la localización del basamento y de la Moho, han sido digitalizadas y clasificadas en base al tipo de margen (COB o COT) para ser comparadas. Los resultados de las interpretaciones indican que los márgenes continentales no pueden ser definidos como modelos determinísticos únicos (ya sean COB o COT), sino como rangos de modelos posibles.

Abstract

The nature of the limit of the continental margins, whether in the form of Continent Ocean Boundaries (COB) or Continent Ocean Transitions (COT), is key to unravel their current state and geodynamic evolution. Due to the uncertainty associated with the geophysical data used to model continental margins, multiple models can lead to realistic interpretations of different margin types (COT or COB) in the same region. An example of this is found in the Eastern India margin, which has been subject of multiple margin type interpretations (Eagles et al., 2015). Here, we explore the variability in interpretations of a seismic section from the Eastern India margin, carried out by different independent groups of interpreters in a controlled experiment. The results of this interpretation experiment, namely the interpretation of the faults, the basement and the Moho locations were digitalised for comparison and sorted by margin type (COT or COB). Our results of the interpretations indicate that continental margins cannot be defined as single deterministic models (either COT or COB), but rather as a ranges of possible models.

Referencias

Eagles, G., Pérez-Díaz, L. y Scarselli, N., (2015). Getting over continent ocean boundaries. *Earth-Science Reviews* 151, 244-265.

Ampliación del estudio geomorfológico del LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés. Proyecto LIFE IP INTEMARES.

Extension of the geomorphological study of the Avilés Submarine Canyon System LIC. LIFE IP INTEMARES project.

B. Arrese[1], M. Gómez-Ballesteros[1], I.P Díez-García[1] y F. Sánchez[2]

1 Instituto Español de Oceanografía. C/ Corazón de María 8, 28002 Madrid. beatriz.arrese@ieo.es, maria.gomez@ieo.es, irene.diez@ieo.es
2 Instituto Español de Oceanografía, C. O. de Santander, Promontorio San Martín s/n. 39080 Santander. francisco.sanchez@ieo.es

Palabras clave: batimetría, cañón de Avilés, geomorfología, plataforma continental.

Resumen

Dentro de los objetivos del proyecto LIFE IP INTEMARES "Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español", cofinanciado por la UE, se pretende completar los trabajos y avances llevados a cabo en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES (2009-2014) en algunas de las zonas que fueron declaradas como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), así como ampliar el conocimiento de estas zonas a partir del reprocesado con nuevas técnicas de los datos que fueron adquiridos, y que permitirán avanzar en el estudio de los hábitats de estas áreas gracias a datos más detallados y de mayor resolución.

En el presente trabajo se muestran las mejoras realizadas en el procesado y análisis de los datos geofísicos adquiridos durante el proyecto INDEMARES, en el Sistema de Cañones Submarinos de Avilés, localizado en el margen Cantábrico al norte de la Península Ibérica, frente a la costa asturiana. Los últimos avances incorporados a la nueva versión del software de procesado utilizado han permitido mejorar la resolución de la batimetría (5 m) y obtener nuevos mosaicos de reflectividad y mapas de variables derivadas. Los trabajos se han centrado en la zona de la plataforma continental comprendida entre los 40 m y los 200 m de profundidad, donde las características del fondo marino formado por sustrato duro podrían ser óptimas para el desarrollo del hábitat "Arrecifes" 1170. La plataforma en esta zona es estrecha e irregular, con pendientes entre 0º y 4º, llegando a profundidades máximas de 600 m, donde se produce la ruptura de pendiente para dar paso al talud continental (Gómez-Ballesteros *et al.*, 2014). La información utilizada para generar una nueva cartografía geomorfológica ha sido completada con perfiles sísmicos de alta resolución TOPAS y muestreos directos de sustrato previamente existentes.

Abstract

One of the objectives of the LIFE IP INTEMARES project "Integrated, Innovative and Participatory Management for Natura 2000 network in the Spanish Marine Environment" co-financed by the EU, is to complete the work and progress carried out within the framework of the LIFE+ INDEMARES project (2009-2014) in Sites of Community Importance (SCIs), and improve the knowledge of these areas reprocessing the data acquired with new techniques. This will allow progress in the study of habitats in these areas thanks to more detailed and higher resolution data.

The improvements in the processing and analysis of geophysical data acquired during the INDEMARES project, in the Avilés Submarine Canyon System are presented. This area is located on the Cantabrian margin on the north of the Iberian Peninsula, in front of the Asturian coast. The latest developments incorporated into the new version of the processing software used have improved the spatial resolution of the bathymetry (5 m) and obtained new reflectivity mosaics and derived variable maps. The work has focused on the area of the continental shelf between 40 and 200 m water depth, where the characteristics of the seabed formed by hard substrate could be optimal for the development of the habitat "Reefs" 1170. The shelf in this area is narrow and irregular, with slopes between 0 and 4º, reaching maximum depths of 600 m, where the slope rupture gives way to the continental slope (Gómez-Ballesteros et al., 2014). The information used to generate a new geomorphological mapping has been completed with high-resolution TOPAS seismic profiles and previous direct substrate samplings.

Referencias

Gómez-Ballesteros, M., Druet, M., Muñoz, A., Arrese, B., Rivera, J., Sánchez, F., Cristobo, J., Parra, S., García-Alegre, A., González-Pola, C., Gallastegui, J. y Acosta, J. (2014). Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography,* Vol. 106, 2014, 99-117.

3D Integrative gas hydrates geological modeling. Hydrate Ridge (Cascadia accretionary prism, Oregon)

Modelización geológica 3D de hidratos de gas. Hydrate Ridge (prisma de acreción de Cascadia, Oregon)

P. Cabello[1,2], C. Berndt[3], M. A. Marin[2,4], O. Falivene[5], y M. Marzo[1,2]

1 Departament. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona 08028 Barcelona. pcabello@ub.edu, mariano.marzo@ub.edu
2 Geomodels Research Institute, Universitat de Barcelona, Barcelona
3 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany. cberndt@geomar.de
4 Schlumberger, Aachen Technology Center, Ritterstrasse 23, 52072 Aachen, Germany. mperez92@slb.com
5 Shell International Exploration and Production, Houston, TX, USA. Oriol.Falivene@shell.com

Abstract: *Predicting the spatial distribution of gas hydrates is challenging due to the complex geological and geochemical processes controlling their formation and stabilization. We present a research project aiming to improve the understanding of how these factors interact to control gas hydrates by using three-dimensional numerical models. The main objective is to forecast the 3D distribution of gas hydrates and their evolution throughout geological time by applying a workflow including two phases. Phase I focuses on building 3D geological models that capture the structural and sedimentary heterogeneity of the subsurface. In Phase II, these models are used as inputs to construct petroleum systems models that simulate pressure-temperature evolution and gas hydrate distribution and concentration. The models are built in Petrel E&P and PetroMod® (Schlumberger). We selected the study area of Hydrate Ridge, located in the Cascadia accretionary complex (offshore Oregon), in which gas hydrates occur. The project will try to answer questions such as: To what extent the sedimentary heterogeneity affects the distribution and stability of gas hydrates, and could control the presence of the bottom-simulating reflector (BSR) and variations in its amplitude? How long does it take for gas hydrates to form and dissociate throughout the geological history of a basin?*

Keywords: *Gas hydrates, 3D facies modeling, petroleum systems modeling, gas hydrate stability zone, sedimentary heterogeneity*

Resumen: Predecir la distribución de hidratos de gas es complejo debido a los múltiples procesos y factores geológicos y geoquímicos que controlan su formación. Presentamos un proyecto de investigación que tiene por objetivo comprender mejor la interacción de dichos factores mediante el uso de modelos numéricos 3D. Así, el objetivo principal es predecir la distribución 3D de hidratos de gas y su evolución a lo largo del tiempo geológico mediante la aplicación de un flujo de trabajo que incluye dos fases. La Fase I se centra en la construcción de modelos geológicos 3D que reproduzcan la estructura y capturen la heterogeneidad sedimentaria del subsuelo. Durante la Fase II, los modelos geológicos son usados para la construcción de modelos de sistemas petroleros que permitan simular los campos de presión y temperatura así como la distribución y concentración de hidratos de gas resultante. Estos modelos son construidos usando Petrel E&P y PetroMod® (Schlumberger). Como caso de estudio se ha seleccionado la región de Hydrate Ridge, situada en el prisma de acreción de Cascadia (costa afuera de Oregon), donde hay acumulaciones de de hidratos de gas. La consecución de los objetivos permitirá dar respuesta a cuestiones como: ¿hasta qué punto la heterogeneidad sedimentaria afecta a la distribución y estabilidad de los hidratos de gas, a la presencia del *bottom-simulating reflector* (BSR) y variaciones en su amplitud? ¿Cuánto tiempo geológico se requiere para la formación y disociación de los hidratos de gas?

Palabras clave: Hidratos de gas, modelización 3D de facies, modelización de sistemas petroleros, zona de estabilidad de los hidratos de gas, heterogeneidad sedimentaria.

INTRODUCTION

Understanding gas hydrate accumulations and their spatial distribution is an important topic from academic and industrial perspectives. Recently, multiple efforts have investigated the relationship between dissociation of gas hydrates and climate change. Part of the current global warming is related to gas hydrate dissociation and methane release, a strong greenhouse gas. Gas hydrates are also associated with seafloor instability, a potential marine geohazard. In addition, significant progress has been recently made on the technologies for exploration and production of gas hydrates. Although still in its infancy and not commercial, methane hydrates could contribute to natural gas supply in the future. Using natural gas as a source of energy provides a cleaner option than other fossil fuels (such as coal or liquid

hydrocarbons) and is an attractive option to limit greenhouse emissions during the transition to renewable energies in the coming decades. Gas hydrates could also be used in other industrial applications, for example, for Carbon Capture and Sequestration (CCS), which will be required to reduce CO_2 atmospheric concentration to meet the 2 degrees maximum warning as established in the Paris Agreement.

In gas hydrate crystals, small gas guest molecules are encaged within water cavities. These crystals are formed and are stable at high pressure and low temperature; and require enough gas supply (from both thermogenic and/or biogenic origins) to be generated. Gas hydrates occur mostly in offshore sediments in the continental margin and in onshore permafrost regions. Other factors, such as sediment type (lithology, grain size, texture, etc.), petrophysical properties (porosity, permeability), geographic location, salinity of the interstitial water and the presence of other gases, also control the formation, stability and distribution of gas hydrates.

The difficulty in predicting the spatial distribution of gas hydrates mainly lies in the complex geological and geochemical processes that control their formation and stabilization. In the project presented herein, we aim to better understand the interaction of these factors by using three-dimensional numerical models of temperature and pressure fields. The main objective of the project is to build 3D models capturing lithology, porosity and permeability; and, subsequently, use these as inputs to build basin and petroleum systems models to ultimately forecast the 3D distribution of gas hydrates and to assess how they evolve throughout geological time. To develop the project, we selected the study area of Hydrate Ridge, where the presence of gas hydrates was demonstrated.

METHODOLOGY

The workflow followed in this project is twofold (Fig. 1):

a) Data conditioning, data analysis, and 3D geological modeling. This step includes the analysis and interpretation of seismic and well data covering the area of interest, the construction of detailed 3D geological models reproducing the large-scale stratigraphic and structural framework, and finally simulating detailed sediment facies and petrophysical property distributions. These models will be built using Petrel E&P (by Schlumberger), and integrate seismic stratigraphy and seismic attribute analysis.

b) Pressure-Temperature simulation, scenario testing and output analysis. In this phase, we will model the gas hydrate system in 3D and its evolution over geological time using the 3D geological models created in Phase I as input in PetroMod® (Schlumberger) to reproduce the processes that control hydrate formation.

Until now, only a few recent contributions using basin and petroleum systems modeling tools to predict gas hydrate occurrence have been published (e.g. Burwicz et al., 2017; Kroeger et al., 2017); and only the work by Fujii et al. (2014) has included facies changes to constrain the modeling of gas hydrate distribution. Building and analyzing the predictions from the models will allow us to address the following questions:

a) To what extent geological heterogeneity (i.e., faults, facies, geometry of sedimentary bodies, porosity and permeability contrasts, etc.) controls the distribution and stability of gas hydrates? And what is the amount of heterogeneity represented in the geological model required to accurately predict gas hydrate distribution?

b) How long does it take for gas hydrates to form and dissociate throughout the geological history of a basin?

c) Under which settings and conditions (e.g., bathymetry, bottom water temperature, salinity, geothermal gradient) could marine platforms at medium latitudes such as in Spain (e.g. Mediterranean Sea or Atlantic Ocean) host gas hydrates?

d) How source rock kinetics influence gas hydrates generation and concentration?

e) Could basin modeling techniques be used to forecast hazardous submarine slides (e.g., pore pressure modeling)?

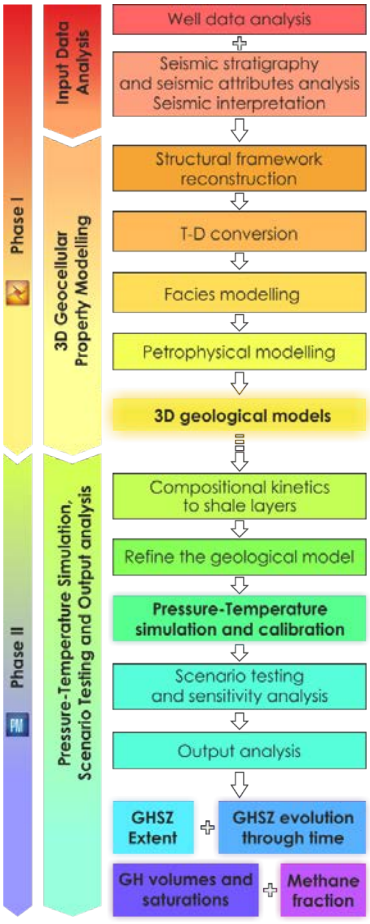


FIGURE 1. Proposed workflow for the 3D integrative geological modeling of gas hydrates. Phase I includes the data analysis and interpretation followed by the construction of the 3D high-resolution geological model. Phase II aims at modeling the gas hydrate distribution. GH stands for gas hydrates and GHSZ for gas hydrate stability zone.

THE HYDRATE RIDGE CASE STUDY

Hydrate Ridge is located 85 km offshore the Oregon state (USA), at water depths between 600 m and 1500 m. The ridge is approximately 30 km long and 15 km wide, and is part of the Cascadia accretionary complex, which formed in response to the oblique subduction of Juan de Fuca plate beneath the North America plate (Tréhu et al., 2003) (Fig. 2A).

Hydrate Ridge is a structurally and stratigraphically complex region. Seismic data show a shallower seismic part corresponding to sediments that were folded and uplifted, and which unconformably overly deeper lower frequency incoherent reflectors, interpreted as highly deformed accretionary complex material (Tréhu et al., 2003). In the slope basin located to the east of the ridge, dipping and continuous seismic reflectors, which alternate with seismic facies without internal reflectivity, are found. The main lithologies described for the slope sediments are: stratified clay and clayey silt interbedded with fine- and coarse-grained sand, glauconite sand, diatom-bearing silty clay, ash-rich sand, volcanic ash, and pebble-sized mudclasts in deformed clay matrix, and authigenic carbonate. These deposits are early to late Pliocene to Holocene (<0.8 Ma) in age.

A bottom simulating reflector (BSR) identified in almost the entire area of interest at depths between 68 and 200 mbsf (meters below sea-floor) suggest the occurrence of gas hydrates (MacKay et al., 1994; Tréhu et al., 2003; Bangs et al., 2005, 2011; Crutchley et al., 2015). This was confirmed by sediment samples acquired during Ocean Drilling Program (ODP) Leg 146 (Kastner et al., 1995) and Leg 204 (Tréhu et al., 2003). A second, weaker BSR, which is 20 – 40 m below the primary BSR mainly in the western flank of the southern ridge, was interpreted as remnants of a BSR under past P-T conditions (Bangs et al., 2005). The gas in the hydrates is from both biogenic and thermogenic origins, and variable concentrations of gas hydrates were estimated throughout the ridge (Tréhu et al., 2004). Highly hydrate saturated zones with contents up to 30 – 40% of the pore space (20 – 26% of total volume) occur in the upper tens of meters below the seafloor near the southern summit (SHR in Fig. 2B) have been associated with gas vents (Bangs et al., 2011; Crutchley et al., 2015). Above the BSR at the northern summit, at least 10% of pore space is occupied by gas hydrates (Kastner et al., 1995). In the rest of the zone, gas hydrate concentration is generally <2%. Abundant massive hydrates at the seafloor were discovered near the southern ridge summit (Tréhu et al., 2004), and a 50-m-high carbonate structure on the seafloor (i.e. the Pinnacle) located about 700 m southwest of the southern summit has been associated with focused methane seepage (Crutchley et al., 2015).

The dataset used in this project comprises two high-resolution 3-D seismic cubes covering an area of 4 km by 12 km

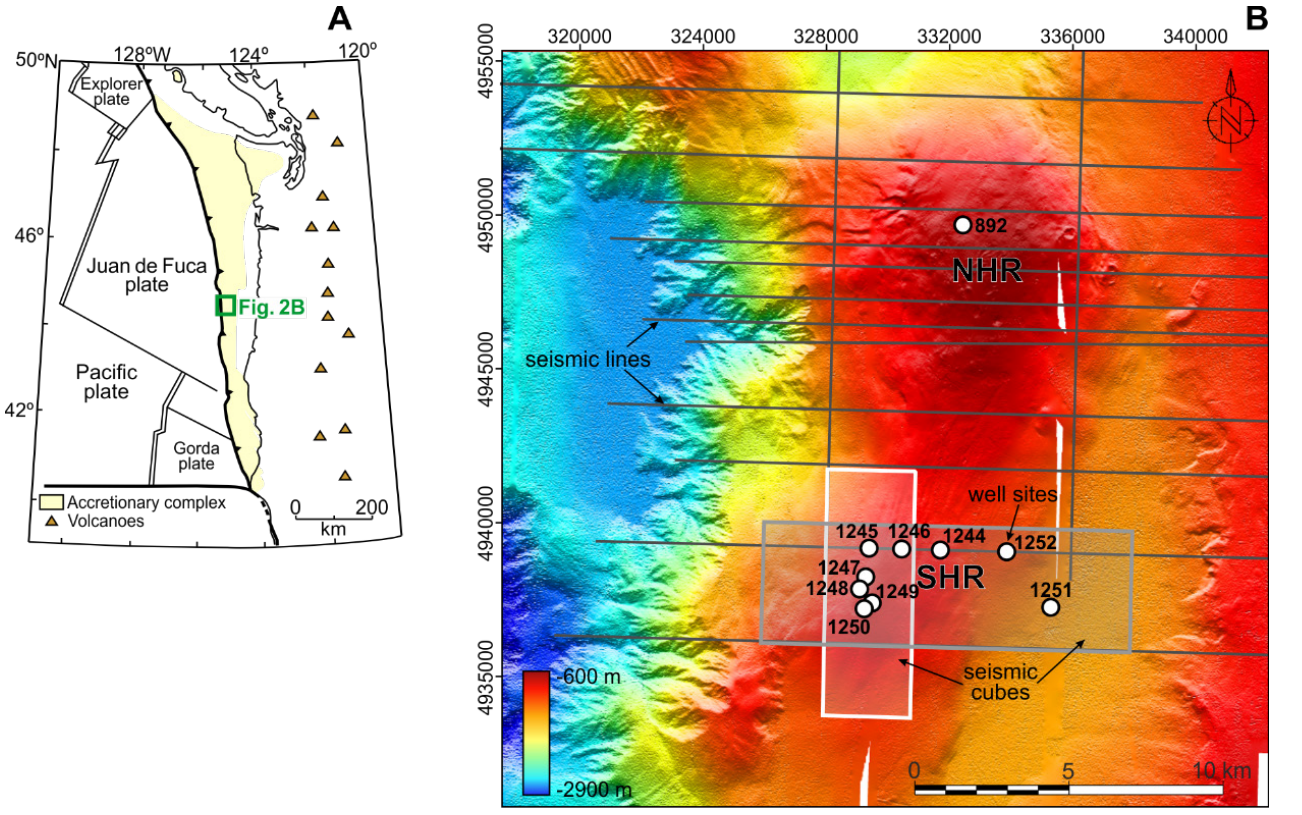


FIGURE 2. A) Tectonic map of the Cascadia subduction zone, where Hydrate Ridge is located. The extent of the accretionary complex is indicated. The green box shows the area of Fig. 2B. Modified from Tréhu *et al.* (2003). B) Bathymetric map along Hydrate Ridge with the location of the dataset used in the project (10 wells, 2 seismic cubes and 14 seismic lines) (coordinates are in UTM84, Zone 10N). NHR and SHR stands for North Hydrate Ridge and South Hydrate Ridge, respectively.

and 2.8 km by 8 km, fourteen 2-D seismic lines (with a total length of 327 km), and data from ten ODP Expedition well sites (sites 892 and 1244 to 1252). Through the 3D reconstruction and modeling of the structure and the sedimentary heterogeneity in Hydrate Ridge and in the slope basin to the east, and the subsequent application of the petroleum system modeling, answers to the following specific questions will be sought:

a) When gas hydrates formed and how many gas hydrate systems exist?

b) Is the change in the BSR amplitude and in the distribution, texture and chemistry of the hydrate recorded in the Hydrate Ridge with regards the slope basin to the east associated with sedimentary facies changes and/or structural controls?

c) Why is there less free gas beneath the BSR at southern Hydrate Ridge than beneath northern Hydrate Ridge (cf. Tréhu et al., 2003)?

d) How did the massive hydrate near the seafloor in the summit formed?

e) Did gas hydrates partially dissociate in Hydrate Ridge as consequence of bottom water temperature increase since the Last Glacial Maximum? If so, did the gas migrate back into the gas hydrate stability zone to reform hydrates, as suggested by Bangs et al. (2005), or could the gas be released to the ocean?

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Schlumberger for the donation of the Petrel E&P and PetroMod® licenses. Support from the MCIyU and AEI (Project 3D-MODGASHY RTI2018-097312-A-I00) and from the Generalitat de Catalunya (2017SGR596) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

Bangs, N.L.B., Musgrave, R.J., Tréhu, A.M. (2005): Upward shifts in the southern Hydrate Ridge gas hydrate stability zone following postglacial warming, offshore Oregon. *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-13.

Bangs, N.L.B., Hornbach, M.J. y Berndt, C. (2011): The mechanics of intermittent methane venting at South Hydrate Ridge inferred from 4D seismic surveying. *Earth and Planetary Science Letters*, 310: 105-112.

Burwicz, E., Reichel, T., Wallmann, K., Rottke, W., Haeckel, M. y Hensen, C. (2017): 3-D basin-scale reconstruction of natural gas hydrate system of the Green Canyon, Gulf of Mexico. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems,* 18: 1959-1985.

Crutchley, G.J., Berndt, C., Geiger, S., Klaeschen, D., Papenberg, C., Klaucke, I., Hornbach, M.J., Bangs, N.L.B, y Maier, C. (2015): Drivers of focused fluid flow and methane seepage at south Hydrate Ridge, offshore Oregon, USA. *Geology*, 41: 551-554.

Fujii, T., Ukita, T., Komatsu, Y., Suzuki, K., Aung, T.T., Wygrala, B., Fuchs, T. y Rottke, W. (2014): Modeling Gas Hydrate Petroleum systems of the Pleistocene Turbiditic sedimentary sequences of the Daini-Atsumi area, eEastern Nankai Trough, Japan. En: P*roceedings of the 8th International Conference on Gas Hydrates (ICGH8-2014), Beijing, China, July 28* – August 1, 2014.

Kastner, M., Sample, J.C., Whiticar, M.J., Hovland, M., Cragg, B.A. y Parkes, J.R. (1995): *Geochemical evidence for fluid flow and diagenesis at the Cascadia convergent margin. En: Proceedings ODP, Science Results, 146 (Pt. 1)* (B. Carson, G.K. Westbrook, R.J. Musgrave y E. Suess, eds.). College Station, TX, 375-384.

Kroeger, K.F., Crutchley, G.J., Hill, M.G. y Pecher, I.A. (2017): Potential for gas hydrate formation at the northwest New Zealand shelf margin - New insights from seismic reflection data and petroleum systems modelling. *Marine and Petroleum Geology,* 83: 215-230.

MacKay, M.E., Jarrad, R.D., Westbrook, G.K., Hyndman, R.D., and Shipboard Scientific Party (1994): Origin of bottom-simulating reflectors: Geophysical evidence from the Cascadia accretionary prism. *Geology*, 22: 459-462.

Tréhu, A.M., Bohrmann, G., Rack, F.R., Torres, M.E., Bangs, N.L., Barr, S.R., Borowski, W.S., Claypool, G.E., Collett, T.S., Delwiche, M.E., Dickens, G.R., Golberg, D.S., Gràcia, E., Guèrin, G., Holland, M., Johnson, J.E., Lee, Y.-J., Liu, C-.S., Long, P.E., Milkov, A.V., Riedel, M., Schultheiss, P., Su, X., Teichert, B., Tomaru, H., Vanneste, M., Watanabe, M. y Weinberger, J.L. (2003): *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports* Volume 204.

Tréhu, A.M., Long, P.E., M.E. Torres, Bohrmann, Rack, F.R., Collet, T.S., Goldberg, D.S., Milkov, A.V., Riedel, M., Schultheiss, P., Bangs, N.L., Barr, S.R., Borowski, W.S., Claypool, G.E., Delwiche, M.E., Dickens, G.R., Gracia, E., Guerin, G., Holland, M., Johnson, J.E., Lee, Y.-J., Liu, C.-S., Su, X., Teichert, B., Tomaru, H., Vannetes, M., Watanabe, M. y Weiberger, J.L. (2004): Three-dimensional distribution of gas hydrate beneath southern Hydrate Ridge: constraints from ODP Leg 204. *Earth and Planetary Science Letters*, 222: 845-862.

Sistemas de valles encajados en un margen continental sin aportes fluviales importantes: Plataforma del Algarve, Golfo de Cádiz.

Incised valley systems on a continental margin without significant fluvial inputs: Algarve continental shelf, Gulf of Cadiz.

A. Carrión-Torrente[1,2], F.J. Lobo[1], A. Puga-Bernabéu[2], M. Luján[3], I. Mendes[4], T.J.J. Hanebuth[5], S. Lebreiro[6], M. García[7], M.I. Reguera[6], L. Antón[6], D. Van Rooij[8], J. Cerrillo-Escoriza[1,2]

1 IACT, CSIC-Universidad de Granada, Avenida de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada. (alvct@iact.ugr-csic.es; francisco.lobo@ csic.es; javier.cerrillo@csic.es).
2 Dpto. Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, 18002 Granada. (angelpb@ugr.es).
3 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz. (maria.lujan@uca.es).
4 Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, 8005-139 Faro, Portugal. (imendes@ualg.pt).
5 Dpt. Coastal and Marine Systems Science, Coastal Carolina University, Conway, SC, USA. (thanebuth@coastal.edu).
6 IGME, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. (susana.lebreiro@igme.es; l.anton@igme.es; mi.reguera@igme.es).
7 IEO, Centro Oceanográfico de Cádiz, Muelle de Levante s/n, Puerto Pesquero, 11006, Cádiz. (marga.garcia@ieo.es).
8 Renard Centre of Marine Geology, Ghent University, Krijgslaan 281 (S8), 9000 Gent, Bélgica. (David.VanRooij@UGent.be).

Palabras clave: Golfo de Cádiz, valles encajados, plataforma continental, sísmica, sedimentos

Resumen

Los valles encajados constituyen la ruta de transporte sedimentario principal en los márgenes continentales. En este trabajo, se caracterizan dos sistemas de paleovalles en la plataforma del Golfo de Cádiz frente a la costa portuguesa, actualmente con aportes fluviales poco significativos. Se pretende establecer los factores de control determinantes en la generación de dichos sistemas. Para el estudio de la distribución espacial y arquitectura de los paleovalles, se interpreta una malla de perfiles sísmicos de alta resolución. Asimismo, un testigo de sedimento obtenido en el sistema de paleovalle más somero, proporciona información sobre los procesos sedimentarios dominantes durante su relleno más reciente.

En la plataforma media, se identifica un sistema de paleovalles con al menos cuatro fases de excavación, cuya formación podría estar controlada por un sistema de fallas subverticales. La correlación de las superficies de excavación con el marco cronoestratigráfico regional revela que dichas fases de excavación ocurrieron durante periodos anteriores a 0.9 Ma. En la plataforma interna frente al río Gilão, se reconoce otro sistema de paleovalles con presencia también de varias fases de excavación. La fase más reciente se asocia a la disconformidad erosiva generada durante el último máximo glacial, lo cual sugiere una génesis directamente controlada por las variaciones glacio-eustáticas.

Abstract

Incised valleys constitute the main course for sediment transport on continental margins from a source-to-sink perspective. This study describes two paleovalley systems off the Portuguese coast on the Gulf of Cadiz continental shelf, an offshore region that presently receives only insignificant fluvial supply. We aim to establish the controlling factors that have determined the formation of these valley systems. The spatial distribution and architecture of the paleovalleys were interpreted based on a grid of high-resolution seismic profiles. Likewise, a new sediment core, obtained from the more proximal paleovalley system, provided useful information about the dominant sedimentary processes during the most recent stage of valley sediment infilling.

On the middle shelf, a paleovalley system was found showing at least four excavation phases, whose successive formation could be controlled by a sub-vertical fault system. Correlation of the excavation surfaces with the regional chronostratigraphic framework reveals that these excavation phases occurred prior to 0.9 Ma. Along the inner shelf off the Gilão River mouth, a second paleovalley system was identified, which was similarly characterized by several phases of successive excavation. The most recent phase is associated with the regionwide erosive unconformity formed during the Last Glacial Maximum shelf exposure, suggesting that the evolution of this system was driven mainly by glacio-eustasy.

Caracterización sísmica y sedimentológica de los depósitos transgresivos postglaciares de la plataforma continental del Golfo de Cádiz.

Seismic and sedimentological characterization of the postglacial transgressive deposits in the Gulf of Cadiz continental shelf.

A. Carrión-Torrente[1,2], F.J. Lobo[1], A. Puga-Bernabéu[2], I. Mendes[3], M. García[4], S. Lebreiro[5], M. Luján[6], L. Antón[5], M.I. Reguera[5], J. Cerrillo-Escoriza[1,2]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada, Avenida de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada, España. (alvct@iact.ugr-csic.es; francisco.lobo@ csic.es; javier.cerrillo@csic.es).
2 Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, 18002 Granada, España. (angelpb@ugr.es).
3 Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. (imendes@ualg.pt).
4 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, Muelle de Levante s/n, Puerto Pesquero, 11006 Cádiz, España. (marga.garcia@ieo.es).
5 Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid. (susana.lebreiro@igme.es; l.anton@igme.es; mi.reguera@igme.es).
6 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz, España. (maria.lujan@uca.es).

Palabras clave: Depósitos transgresivos, Golfo de Cádiz, plataforma continental, posglacial, clinoformas

Resumen

Durante la subida posglacial del nivel del mar se produjeron unas condiciones ideales para estudiar la respuesta sedimentaria a los procesos de inundación repentina de la plataforma continental, debido a la alternancia de períodos con distinta tasa de subida del nivel del mar. En este trabajo, mediante el análisis e interpretación de perfiles sísmicos de alta resolución en el sector norte de la plataforma del Golfo de Cádiz frente al río Guadiana, combinado con análisis sedimentológicos de testigos de sedimento, se han caracterizado cuatro depósitos que se disponen en un patrón de apilamiento retrogradante (U2 a U5). La estructura interna de cada depósito muestra la existencia de dos componentes, uno inferior de naturaleza costera, constituido por prodeltas someros con ocasional desarrollo de canales distributarios, y uno superior generado por el retrabajamiento de las clinoformas originales bajo un régimen marino. Tanto el número de los depósitos como su estructura interna sugieren que su génesis se asocia a condiciones de elevado aporte sedimentario y un régimen oceanográfico relativamente energético. Las dataciones realizadas indican que la formación de estos depósitos transgresivos se enmarca en el intervalo de 14-8 ka, y está principalmente relacionada con fases de ascenso acelerado del nivel del mar debido a pulsos de agua de deshielo.

Abstract

Alternating periods with different rates of sea-level rise during the last deglaciation provided ideal conditions to study the sedimentary response to abrupt shelf flooding. In this work, the analysis and interpretation of high-resolution seismic profiles in the northern sector of the Gulf of Cadiz shelf, off the Guadiana River, combined with the sedimentological analysis of sediment cores, revealed the existence of four depositional bodies in a retrogradational stacking pattern (U2 to U5). The internal structure of each individual deposit shows two components. The lower one is generated in a coastal environment, formed by shallow-water prodeltas and occasional development of distributary channels. The upper component is generated by reworking of the original clinoforms under a marine regime. The number of deposits and their internal structure suggest that their genesis is associated with conditions of high sedimentary inputs and a relatively energetic oceanographic regime. Radiocarbon datings indicate the formation of these transgressive deposits within the 14-8 ka interval, mostly in relation to phases of enhanced sea-level rise driven by meltwater pulses.

Una nueva mirada a la caracterización del sustrato de las zonas de marisqueo: el caso de los bancos arenosos intermareales de la costa Norte de Galicia (NW de la Península Ibérica).

A new look to substrate characterization of shellfish harvesting areas: the case of intertidal sand banks of Galician North coast (NW Iberian Peninsula).

J.D. Cerdeira-Arias[1], J. Otero[2], X.A. Álvarez-Salgado[2], A. Mena[3] y M.A. Nombela[3]

1 Xefatura Territorial da Consellería do Mar, Avda.Gerardo Harguindey Banet 2, 27863 Celeiro, Viveiro, Lugo jose.daniel.cerdeira.arias@xunta.gal
2 Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC), Eduardo Cabello 6, 36208 Vigo, Pontevedra jotero@iim.csic.es, xsalgado@iim.csic.es
3 Facultade de Ciencias do Mar, Universidade de Vigo, Avda das Abelleiras s/n, 36310 Vigo, Pontevedra anxomena@uvigo.gal, mnombela@uvigo.es

Palabras clave: Análisis multivariante, bancos arenosos intermareales, sedimentología, Rías Altas.

Resumen

Se ha realizado una batería de análisis estadísticos multivariante sobre datos granulométricos y geoquímicos, que incluyeron análisis de agrupamientos (cluster, AC), análisis de componentes principales (ACP) y modelos lineales mixtos generalizados (MLMG) para definir la organización espacial de los bancos de arena de cinco de las Rías Altas (Ortigueira, Barqueiro, Viveiro, Foz y Ribadeo) e identificar los parámetros sedimentológicos que controlan los agrupamientos obtenidos. La distribución del tamaño de grano y el contenido de carbonato cálcico, materia orgánica, óxidos de Si y Al y metales traza fueron los parámetros utilizados para caracterizar los sedimentos intermareales. Los datos de campo para llevar a cabo estos análisis se recopilaron a través de los primeros 50 cm de 57 testigos tomados en los arenales intermareales usados para el marisqueo en las cinco rías mencionadas. El análisis estadístico multivariante reveló que los bancos de arena se organizaron en torno a cuatro grupos que no dependen exclusivamente de la bahía donde se ubicaron, sino que se caracterizaron por la impronta del material que constituye el complejo Cabo Ortegal (con altos niveles de MgO, Mn, Cr, Ni, V y Fe_2O_3; Ría de Ortigueira) o por la impronta de la influencia de Ollo de Sapo y Manto de Mondoñedo (altos niveles de SiO_2, Rb, K_2O y Ba; el resto de las bahías). El análisis de agrupamientos (cluster) también separó los bancos de arena con mayor influencia terrestre en la parte interna de los embalses (con altos niveles de Al_2O_3, Zn, Ba y TiO_2) de aquellos con mayor influencia marina, que se ubicaron en la parte externa (con altos niveles de Sr, CaO y $CaCO_3$).

Abstract

A battery of multivariate analyses including cluster (CA), principal component (PCA) and generalised linear mixed models (GLMMs) were performed to define the spatial organization of sandbanks of five of the Ría Altas (Ortigueira, Barqueiro, Viveiro, Foz and Ribadeo) and to identify the sedimentological parameters driving the obtained clustering. Grain size distribution and calcium carbonate content, organic matter, Si and Al oxides and trace metals were the parameters used to characterize the intertidal sediments. Field data to conduct these analyses were collected through the first 50 cm of 57 shellfish harvesting sandbanks located in five previously named embayments. The multivariate analysis revealed that the sandbanks organized around four clusters that do not depend exclusively on the embayment were they were located, but characterized by the imprint of the Cabo Ortegal complex material (with high levels of MgO, Mn, Cr, Ni, V and Fe_2O_3; Ría de Ortigueira) or by the imprint of the Ollo de Sapo and Manto de Mondoñedo influence (high levels of SiO_2, Rb, K_2O and Ba; the rest of the embayments). The cluster analysis also separated the sandbanks with higher terrestrial influence in the inner part of the embayments (with high levels of Al_2O_3, Zn, Ba and TiO_2) from those with higher marine influence, which were located in the outer part (with high levels of Sr, CaO and $CaCO_3$).

Morfología y procesos sedimentarios recientes en dos cañones submarinos en el margen norte del Mar de Alborán

Morphology and modern sedimentary processes in two shelf-indenting submarine canyons on the Alboran Sea northern margin

J. Cerrillo-Escoriza[1], A. Puga-Bernabéu[2], F.J. Lobo[1] y Equipo Científico ALSSOMAR*

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada 18100 Armilla, Granada. javier.cerrillo@csic.es; francisco.lobo@csic.es
2 Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada 18002 Granada. angelpb@ugr.es

Palabras clave: Cañones submarinos, geomorfología, sedimentología, testigos, Mar de Alborán.

Resumen

En este estudio se caracteriza la morfología y los procesos sedimentarios recientes de dos cañones submarinos (Motril y Carchuna) que excavan la plataforma continental en el margen septentrional del Mar de Alborán. Para ello, se han utilizado datos batimétricos, imágenes del fondo marino y testigos cortos (hasta 50 cm) de sedimentos. El Cañón de Carchuna presenta una gran incisión en la cabecera a 200 m de la línea de costa. El curso principal presenta una morfología rectilínea, hasta 2 km de anchura y 226 m de incisión. Los sedimentos superficiales predominantes son arenas fangosas y sus paredes son relativamente escarpadas. Por el contrario, la cabecera del Cañón de Motril es ancha (4.3 km) en el borde de la plataforma, su valle principal presenta un trazado sinuoso en el talud y alcanza 1 km de anchura y 179 m de incisión. Sus paredes presentan pendientes más suaves y predominan los fangos en el fondo del valle. Las diferencias geomorfológicas y sedimentarias indican que, actualmente, ambos cañones funcionan de forma diferente; la mayor sinuosidad del Cañón de Motril y sus sedimentos fangosos pueden ser atribuidos a una mayor influencia de procesos deposicionales, mientras que la abrupta incisión del Cañón de Carchuna y su cercanía a la costa favorece la captura sedimentaria de la deriva litoral y su transporte y redepósito selectivo en zonas más profundas, como revelan los sedimentos arenosos intercalados en los testigos.

Abstract

In this work, we characterize the morphology and recent sedimentary processes of two shelf-indenting submarine canyons (Motril and Carchuna) on the northern margin of the Alboran Sea. To achieve this aim, we used multibeam bathymetric data, seafloor imagery and short sediment cores (up to 50 cm). The Carchuna Canyon is deeply incised in the shelf, as its head is located just 200 m off the coastline. It shows a straight morphology with 2 km maximum width and 226 m of maximum incision. In general, muddy sands prevail along the thalweg and the canyon walls are relatively steep. In contrast, the head of the Motril Canyon is wider (4.3 km) at the shelf edge. The canyon valley exhibits a sinuous morphology with 1 km wide and 179 m of maximum incision. Its walls are gentler than the Carchuna Canyon and the surficial sediment on the canyon floor is mainly composed of muds. These geomorphological and sedimentary differences indicate that, at present, the Carchuna and Motril canyons have different dynamic behaviour. In the Motril Canyon, the higher sinuosity and the surficial sediments indicate a high influence of depositional processes. In contrast, the significant incision of the Carchuna Canyon and its proximity to the coastline would favour the capture of littoral drift sediments, its subsequent transport and redeposition in deep-water settings, as revealed by the occurrence of interbedded sands in the shallow sediment record.

*Equipo Científico ALSSOMAR: P. Bárcenas, J.A. Caballero, A. Carrión, M. García, J.M. García Guerrero, A. García Ledesma, S. García Pozo, S. Gofas, A. López-Quirós, M. Luján, A. Mena, I. Mendes, J.N. Pérez-Asensio, C. Pérez Vela, J.A. Rengel, J. Rueda, M.J. Sánchez y O. Sánchez-Guillamón.

Estudios geofísicos y geotécnicos marinos para la obtención de modelos del terreno para proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas.

Geophysical and geotechnical marine studies to obtain terrain models for offshore wind farm and electrical interconnection projects.

A. Deu[1], X. Martí[1], M. Heredia[1], A. Navarro[2], M. Devincenzi[2]

1 Geociencias y Exploraciones Marítimas, Av. Cerdanyola 79-81, 4º piso, oficina 8, 08172 Sant Cugat del Vallès (Barcelona). amadeu@gemigeo.com, xavierm@gemigeo.com, martinh@gemigeo.com

2 Control y Prospecciones Igeotest, Passeig del Cementiri 29B, 17600 Figueres (Girona). alnavarro@igeotest.com, marcelo@igeotest.com

Resumen: El conocimiento de las características del subsuelo marino es un hecho fundamental para el correcto desarrollo de cualquier proyecto en un ambiente offshore. En el caso de parques eólicos, la definición de las estructuras geológicas y sus propiedades influye de forma directa en la fase de diseño de los cimientos de los aerogeneradores (ya sean de base fija o flotantes) y subestaciones. Además, las propiedades térmicas del suelo/roca influyen en la determinación de la mejor trayectoria del cableado que unirá los diferentes elementos del parque y el parque en sí con la costa. En este sentido, la combinación de técnicas geofísicas y ensayos geotécnicos permite optimizar las campañas de investigación marina y obtener modelos del terreno más precisos en cuanto a morfología y propiedades de las diferentes unidades involucradas. En el presente artículo se resume y analiza la experiencia adquirida en algunas campañas de investigación del subsuelo marino para proyectos de parques eólicos offshore e interconexiones eléctricas submarinas en España, Francia y Mar del Norte, y se muestra un ejemplo de los beneficios de esta combinación en una campaña en el Mediterráneo.

Palabras clave: ensayos in-situ, geología marina, geofísica, modelo del terreno, muestreo de fondos

Abstract: *The knowledge of the marine subsoil is a fundamental fact for the correct development of any project in an offshore environment. In case of offshore wind farms, the definition of the geological structures and its properties has a direct influence on the design phase for turbine foundations (either with directly foundation in the ground or floating) and substations. Moreover, the soil/rock thermal properties have influence on the determination of the suitable trajectory for the cable that will link the different elements inside the park and the park with the shore. In this sense, the combination of geophysical techniques and geotechnical tests allows optimizing marine investigation surveys and obtaining more precise subsoil models in terms of morphology and properties of the different units involved. This paper summarises and analyses the acquired experience in some marine investigation surveys for offshore wind farms and submarine electrical interconnection projects in Spain, France and North Sea, and shows the benefits of this combination in a survey carried out in the Mediterranean Sea.*

Keywords: *geophysics, in-situ tests, marine geology, subsea sampling, subsoil model*

INTRODUCCIÓN

Durante los próximos años se prevé un aumento de la demanda de investigaciones marinas relacionadas con proyectos de energía eólica offshore e interconexiones eléctricas. La combinación de técnicas geofísicas y ensayos geotécnicos es una buena herramienta para la correcta caracterización del subsuelo marino en este tipo de proyectos. El uso de datos de distinta naturaleza permite optimizar las campañas de investigación, generalmente muy costosas por la necesidad de trabajar en barcos muchas veces lejos de la costa, y obtener modelos del terreno más precisos. Los proyectos de parques eólicos offshore requieren de una detallada determinación de la morfología de los distintos niveles implicados y de la adquisición de un gran número de parámetros geológicos y/o geotécnicos de cada uno de ellos. En este sentido, la selección de las técnicas geofísicas y de los equipos geotécnicos más adecuados para cumplir con las exigencias de cada proyecto es clave para terminar con éxito la campaña.

En el presente artículo se resume la experiencia adquirida por una empresa española en campañas de investigación geofísica y geotécnica para proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas submarinas, y se muestra un ejemplo de los beneficios de esta combinación en una campaña de investigación marina para un parque eólico formado por aerogeneradores flotantes en el Mediterráneo.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA Y GEOTÉCNICA PARA PARQUES EÓLICOS OFFSHORE E INTERCONEXIONS ELÉCTRICAS

La adecuación a los métodos de investigación que este tipo de campañas requieren no es tarea de poco tiempo. No solo debe dominarse las metodología de trabajo más actuales

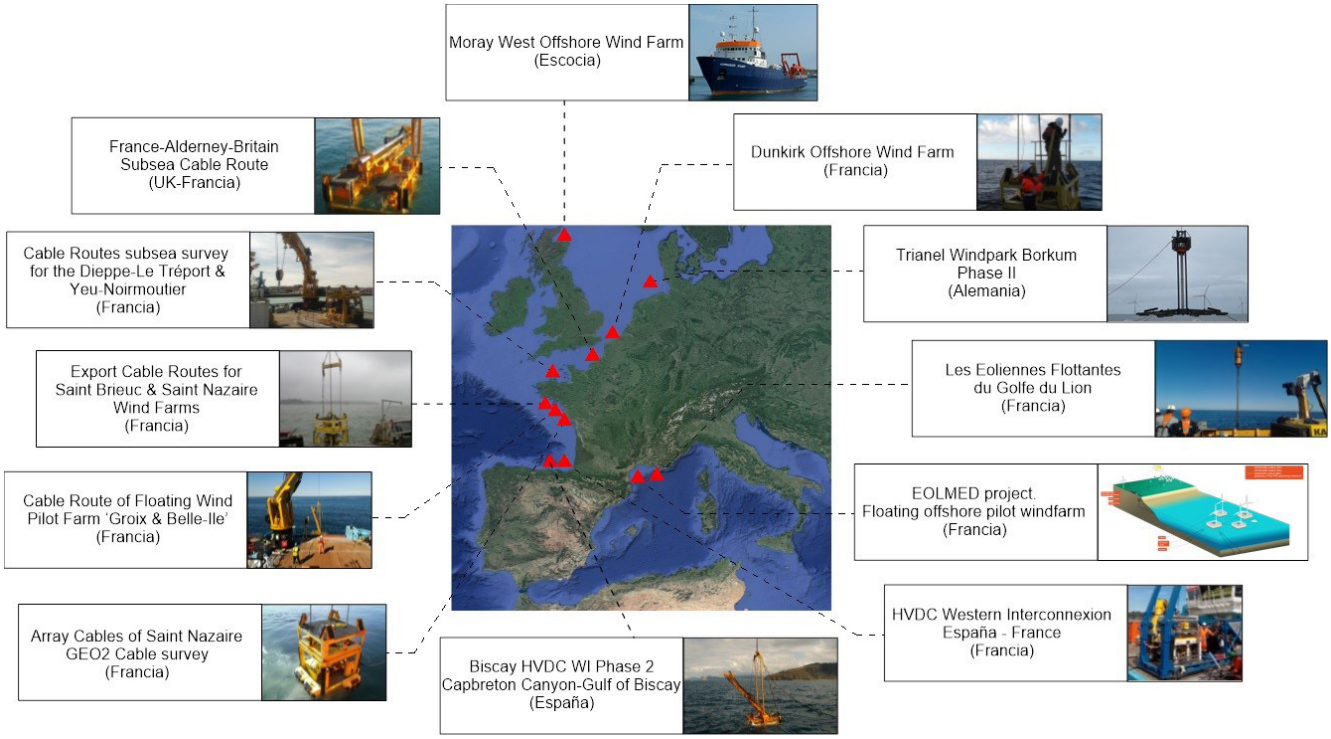


FIGURA 1. Principales proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas

sino que también el personal debe estar altamente cualificado y tener gran experiencia para desarrollar las campañas sin incidentes ni retrasos. Es necesario, por lo tanto, mucho tiempo para alcanzar los niveles suficientes como para desarrollar campañas geofísicas y geotécnicas marinas de alta exigencia en zonas de trabajo muchas veces complejas.

Los métodos de investigación así como los equipos de trabajo aquí descritos son el compendio de muchos proyectos realizados a lo largo de los años, los cuales han permitido definir qué métodos de investigación son los más adecuados. No se resumen, por lo tanto, todos los métodos de investigación existentes, pero si lo más habituales para este tipo de proyectos. Es necesario, no obstante, tener en cuenta que cada investigación puede requerir solo algunos de estos métodos o añadir alguno que pueda ser de particular interés en determinados casos. Tómese este escrito como una aproximación que debe ser afinada para cada proyecto en particular. En la Figura 1 se muestran algunos de los principales proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas desarrollados durante los últimos años.

TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

Las técnicas geofísicas para la investigación del subsuelo marino proporcionan una gran cantidad de información de toda el área de estudio de forma rápida usando equipos ligeros y embarcaciones pequeñas. Son, por lo tanto, técnicas con un coste muy competitivo. El uso de estas técnicas permite obtener un modelo del terreno preliminar de toda la zona, basado en cambios en las propiedades del subsuelo (eléctricas, sísmicas) que, sin embargo, debe ser validado posteriormente con datos más precisos. Por otro lado, es de vital importancia seleccionar para cada proyecto los métodos de investigación más adecuados y analizar la metodología más correcta para alcanzar la profundidad de investigación requerida y obtener datos de calidad suficiente.

Los métodos geofísicos más habituales en los proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas submarinas son los siguientes:

– Investigación del fondo marino (Figura 2): Batimetría mediante sonda multihaz (MBES), Sonar de barrido lateral (SSS) y magnetometría.

– Investigación en profundidad: perfilador sísmico de subfondo (SBP), reflexión sísmica y refracción sísmica.

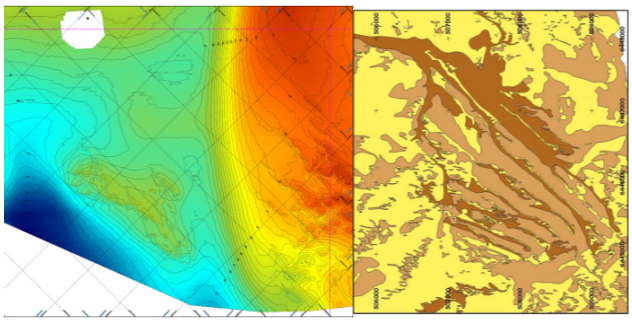


FIGURA 2. Ejemplo de batimetría mediante sonda multihaz (izquierda) y mapa del tipo de fondo a partir del sonar de barrido lateral (derecha)

ENSAYOS GEOTÉCNICOS

Los ensayos geotécnicos permiten obtener modelos del terreno basados en la morfología y en las propiedades

físicas y mecánicas de los distintos niveles del subsuelo marino. Son, además, una buena herramienta para verificar y/o calibrar los modelos preliminares establecidos a partir de los datos obtenidos mediante técnicas geofísicas. La selección de los equipos más adecuados está relacionada con el tipo de proyecto y la naturaleza del suelo/roca que se prevé investigar. A continuación se presentan algunos de los ensayos geotécnicos más empleados:

– Ensayos in-situ: ensayos de penetración estática (CPTu), T-bar, ensayos de resistividad térmica (TRT).

– Muestreo en suelo: Vibrocorer, Pistoncorer, Boxcorer.

– Muestreo en roca: equipos de perforación submarina.

En la Figura 3 se muestra un equipo Vibrocorer con la configuración de 3m de longitud, muy empleado en este tipo de proyectos por su rapidez en la operación y por su gran versatilidad.



FIGURA 3. Muestreador vibrocore en configuración de 3m

EJEMPLO DE APLICACIÓN: PROYECTO DE PARQUE EÓLICO OFFSHORE EN EL MEDITERRÁNEO

Con el objetivo de establecer un modelo del terreno en la zona de cimentación de los aerogeneradores flotantes y a lo largo del trazado del cable, así como para determinar con precisión las principales propiedades geotécnicas de los suelos involucrados, se realizó una campaña de investigación geofísica y geotécnica en el Mediterráneo para un futuro parque eólico offshore. Las técnicas fueron seleccionadas para alcanzar la profundidad mínima exigida, así como para asegurar una buena calidad de datos que permitiera el correcto diseño de los anclajes de los aerogeneradores y el estudio de enterramiento del cable. La campaña consistió en la realización de los siguientes trabajos:

– Campaña geofísica: UXO (*Unexploded ordnance*), MBES, SSS y SBP.

– Campaña geotécnica: CPTu, Vibrocore, Pistoncore, TRT.

– Campaña de ensayos de laboratorio.

La combinación de todas las técnicas permitió establecer los límites de los distintos niveles con gran precisión, así como asignar propiedades de resistencia y deformación a todos ellos. A modo de ejemplo, el mapa de espesor de sedimento del nivel superficial se muestra en la Figura 4.

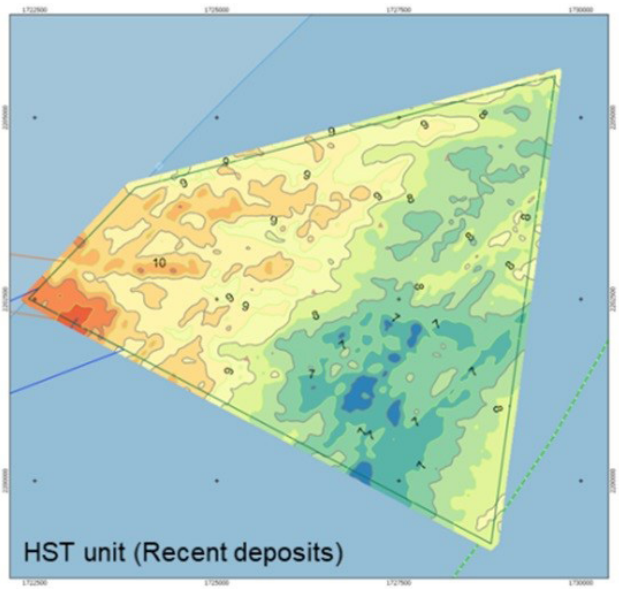


FIGURA 4. Mapa de espesores del nivel superficial, realizado a partir de los datos sísmicos adquiridos durante la campaña geofísica y de los datos obtenidos mediante la campaña geotécnica y de laboratorio.

Es importante destacar que, en estos casos, los datos proporcionados por las distintas técnicas deben ser lo más coherentes posible entre ellos. De no ser así, es imprescindible un análisis detallado y la toma decisiones abordo para tomar las medidas necesarias con la mayor celebridad antes de regresar a tierra. A partir de los datos disponibles se definieron dos niveles, los cuales se presentan muy brevemente a continuación:

– Nivel 1- Limo arcilloso: limo a limo arcilloso de consistencia blanda a muy blanda. De acuerdo a la clasificación propuesta por Robertson (1990), se trata de suelos del grupo 3 (arcilla), 4 (mezcla de limos) y ocasionalmente 1 (grano fino sensitivo).

– Nivel 2 - Arena: arena media a fina medianamente densa, arena limosa y gravas centimétricas ocasionales. De acuerdo a la clasificación propuesta por Robertson (1990), se trata de suelos del grupo 5 (mezcla de arena), 6 (arena) y 7 (arena densa a arena gravosa).

En la Figura 5 se muestra la comparación entre datos sísmicos, CPTu y la descripción del suelo realizada a bordo a partir de los Vibrocorer. Tal y como puede observarse, los datos son coherentes y los cambios en el tipo de suelo fueron observados por todos los distintos ensayos realizados.

Por otro lado, las propiedades térmicas del suelo/roca que estén en contacto con el cable que une los diferentes elementos dentro del parque (*inter-array cable*) y el parque con la costa (*export cable*) influyen en el diseño de la geometría y del aislamiento, así como en la determinación de

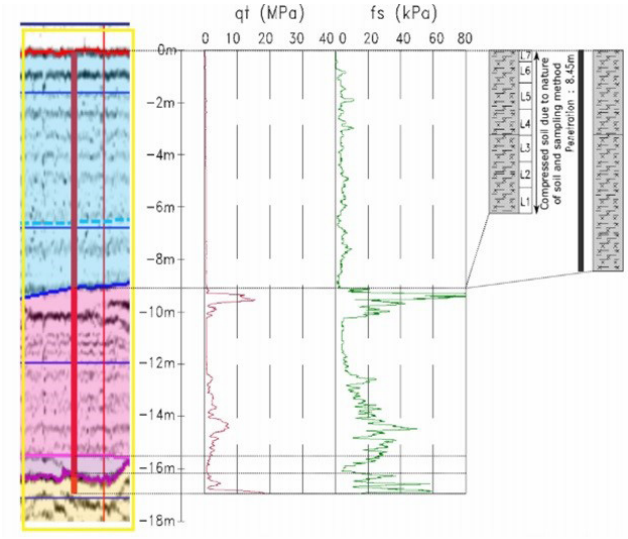


FIGURA 5. Comparación entre datos sísmicos, CPTu y Vibrocorer

la mejor trayectoria. En este sentido, la máxima temperatura durante las operaciones es crucial para la operativa, mantenimiento, vida útil y capacidad real de transmisión de energía de este tipo de cables (Dix et al, 2017). Un cable "fresco" es más efectivo para la transmisión eléctrica (Müller et al, 2016). Existen diferentes técnicas que permiten adquirir las propiedades térmicas del subsuelo marino: (i) medidas in-situ, (ii) medidas con un analizador manual, (iii) ensayos de laboratorio y (iv) métodos geofísicos. Se ha comparado la conductividad térmica de suelos marinos a partir de medidas in-situ con un equipo mini CPT y con un analizador manual. Los resultados se muestran en las Figuras 6 y 7.

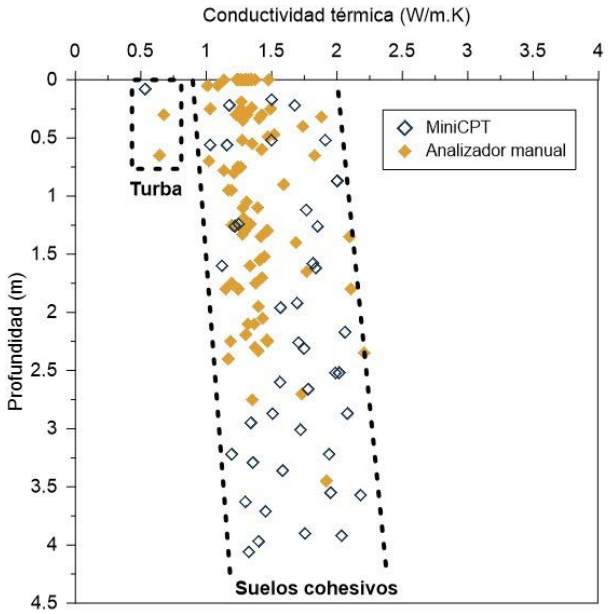


FIGURA 6. Conductividad térmica de suelos cohesivos y turba en proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas

Las técnicas geofísicas para la determinación de la conductividad térmica están todavía en fase de desarrollo, aunque se prevé un aumento de su uso durante los próximos años.

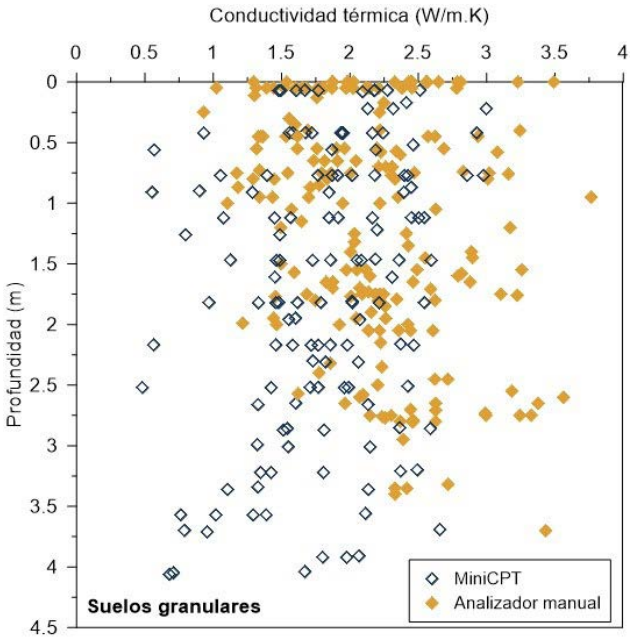


FIGURA 7. Conductividad térmica de suelos granulares en proyectos de eólica offshore e interconexiones eléctricas

CONCLUSIONES

La determinación del modelo del terreno es un hecho fundamental para cualquier proyecto de energía eólica offshore e interconexión eléctrica submarina. La combinación de técnicas geofísicas y ensayos geotécnicos permite optimizar las campañas de investigación marina y obtener modelos más precisos en cuanto a morfología y propiedades de los distintos suelos/rocas involucrados.

REFERENCIAS

Dix, JK., Hughes, TJ., Emeana, CJ., Pilgrim, JA., Henstock, TJ., Gernon, TM., Thompson, CEL., Vardy, ME. (2017). *Substrate controls on the life-time performance of marine HV cables.* Proc. 8th Int. Conf. Offshore Site Investigation and Geotechnics. SUT. 88-108.

Müller, C., Usbeck, R., Miesner, F. (2016). *Temperatures in shallow marine sediments: Influence of thermal properties, seasonal forcing, and man-made heat sources*. Applied Thermal Engineering. 108, 20-29.

PIANC. (2016). *Classification of soils and rocks for the maritime dredging process*, Report nº144.

Robertson, P.K. 1990. *Soil classification using the cone penetration test.* Canadian Geotechnical Journal, 27. Pp. 151-158.

Evolución sedimentaria del talud continental norte de Argentina (frente a Bahía Blanca) durante el Cenozoico.

Cenozoic sedimentary history of the northern Argentine continental slope, off Bahia Blanca.

Gemma Ercilla[1], Tilmann Schwenk[2], Graziella Bozzano[3], Volkhard Spiess[2], Roberto Violante[3], Ferran Estrada[1], Federica Iannicchéri[1], Daniella V. Spoltore[3], Belén Alonso[1]

1 Instituto de Ciencias del Mar-CSIC. Continental Margins Group-GMC. Passeig Maritim 37-49, Barcelona 08003, Spain. gemma@icm.csic.es, festrada@icm.csic.es, f.iannicchéri@gmail.com, belen@icm.csic.es

2 Faculty of Geoscience and MARUM, University of Bremen, Klagenfurter Str. 2-4, D-28359 Bremen, Germanytschwenk@uni-bremen.de, vspiess@uni-bremen.de

3 Servicio de Hidrografía Naval, Marine Geology and Geophysics Group, Montes de Oca 2124, Buenos Aires C1270ABV, Argentina. grazi.hidro.gov.ar@gmail.com, violante@hidro.gov.ar, spoltoredaniela@yahoo.com.ar

Palabras clave: Estratigrafía sísmica, Cenozoico, contornitas, margen continental de Argentina.

Resumen

La estratigrafía sísmica cenozoica del talud continental norte argentino, frente a Bahía Blanca, comprende cinco discontinuidades estratigráficas principales, B1 a B5 (de la más antigua a la más joven) que limita seis unidades: I (Eoceno), II (Oligoceno a Mioceno temprano), III (Mioceno medio), IV (Mioceno tardío), V (Plioceno) y VI (Cuaternario). Estas unidades están formadas por depósitos de flujo en masa, (hemi)pelagitas o flujos de baja densidad, crestas y surcos contorníticos, ondas de sedimento y depósitos de cañón. La arquitectura deposicional muestra una disminución progresiva de los depósitos de flujo en masa y (hemi)pelagitas o flujos de baja densidad, del Eoceno al Mioceno medio, y un predominio de las contornitas que está acompañada por la extensión de las mismas talud arriba, del Mioceno tardío al Cuaternario. Esta arquitectura deposicional permite dividir la historia sedimentaria cenozoica en tres períodos principales: Eoceno al Mioceno temprano; Mioceno medio; y Mioceno tardío a reciente. Los cambios sedimentarios que definen estos periodos están gobernados principalmente por variaciones paleoceanográficas en las Aguas Profundas de componente sur, las cuales se relacionan con cambios paleogeodinámicos regionales asociados a la orogenia andina, y remotos relacionadas con las etapas iniciales de apertura del Estrecho de Drake (Antártida) y cierre del Canal de Panamá (Centroamérica).

Abstract

The Cenozoic seismic stratigraphy of the northern Argentine continental slope, off Bahia Blanca is characterized by five major seismic boundaries, B1 to B5 (from oldest to youngest) bounding six units: I (Eocene), II (Oligocene to early Miocene), III (middle Miocene), IV (late Miocene), V (Pliocene), and VI (Quaternary). These units are make-up of mass-flow deposits, (hemi)pelagites or low-density flows, contourite drifts and moats, sediment waves, and canyon deposits. The depositional architecture of deposits show the progressive decreases of mass-flow deposits and (hemi)pelagites or low-density flows from Eocene to middle Miocene, and the dominance of contourites through time, which is accompanied by an upslope lateral relocation of their deposits and features becoming ubiquitous during the late Miocene to Quaternary. The depositional stratigraphic architecture allow us to divide the sedimentary history into three major periods, Eocene to Early Miocene; Middle Miocene; and Late Miocene to Recent, governed by palaeoceanographic changes in the Southern Component Deep Water (SCDW). These changes are related to palaeogeodynamic, regionally related to variations in the Andean orogeny and remotely related to the opening stages of the Drake Passage (Antarctica) and closure of the Central American Seaway.

La Crisis de Salinidad del Messiniense: ¿desconexión Atlántico-Mediterráneo?

The Messinian Salinity Crisis: Atlantic-Mediterranean disconnection?

F. Estrada y G. Ercilla

Instituto de Ciencias del Mar-CSIC. Continental Margins Group-GMC. Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona.
festrada@icm.csic.es; gemma@icm.csic.es

Palabras clave: Crisis Salinidad Messiniense, Alborán, Mediterráneo.

Resumen

Históricamente, la Crisis de Salinidad del Messiniense (CSM) se ha considerado como un evento geológico de primera magnitud que produjo la práctica desecación del Mar Mediterráneo, como consecuencia de su desconexión del Océano Atlántico. Evidencias de esta desecación son los depósitos evaporíticos de hasta 3 km de espesor presentes en el fondo de las cuencas más profundas (Haq et al., 2020) y la erosión regional de los márgenes continentales que sugieren un descenso del nivel del mar de hasta 1500 m. Sin embargo, recientemente, ha ido ganando fuerza la idea de que nunca hubo tal desconexión, principalmente porque se necesitan varios ciclos de conexión-desconexión (7-8) para explicar el espesor de sal y por razones geoquímicas. Actualmente se plantean dos modelos antagónicos (Mascle y Mascle, 2019), uno de cuenca somera (desecación) y otro de cuenca profunda (no desecación). La Cuenca de Alborán es una zona clave para comprender la historia de la CSM dada su proximidad a la conexión con el Atlántico. El análisis de su arquitectura estratigráfica a partir de una densa red de perfiles sísmicos sugiere que sí hubo desconexión y que ésta terminó de forma abrupta mediante la Inundación del Zancliense, tal como indican, entre otras evidencias, la erosión O-E del fondo de la cuenca que en algunos puntos cercanos al Estrecho de Gibraltar alcanza hasta 596 m, la falta de depósitos salinos, el escaso desarrollo de la secuencia típica de la CSM y la identificación de depósitos asociados a la Inundación Zancliense. A pesar de estas evidencias varias incógnitas permanecen sin resolver, a la espera de la propuesta de IODP IMMAGE en el Mar de Alborán.

Abstract

Historically, the Messinian Salinity Crisis (CSM) has been considered as a geological event that produced the almost desiccation of the Mediterranean Sea, as a consequence of the disconnection from the Atlantic Ocean. Evidence of this desiccation is the evaporitic deposits up to 3 km thick in the deepest Mediterranean basins and the regional erosion observed in the continental margins attributed to a sea level drop of about 1500 m. However, the hypothesis that there has never been such a disconnection has been gaining strength, mainly because several connection-disconnection cycles (7-8) are needed to explain the salt thickness as well as for geochemical reasons. Currently two antagonistic models are proposed (Mascle and Mascle, 2019), one of shallow basin (desiccation) and another of deep basin (non-desiccation). The Alboran Basin is a key area to understand the evolution of the CSM given its proximity to the Atlantic connection. The analysis of its stratigraphic architecture with a dense network of seismic profiles suggests that there was disconnection and that it ended abruptly through the Zanclian Flood. This is suggested, among other evidences, by the W-E erosion of the basin bottom that at some points nearby the Strait of Gibraltar reaches up to 596 m, the lack of saline deposits, the poor development of the typical sequence of the CSM and the identification of deposits associated to the Zanclian Flood. Despite this evidence, several unknowns remain unsolved, pending the IODP IMMAGE proposal in the Alboran Sea.

Referencias

Mascle, G., & Mascle, J. (2019). The Messinian salinity legacy: 50 years later. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 1-11.

Interacción de procesos oceanográficos y sedimentarios en el talud superior y medio del golfo de Cádiz y sus implicaciones ambientales y en los hábitats.

Interaction between oceanographical and sedimentary processes on the upper and middle continental slope of the Gulf of Cádiz and their environmental and habitats implications.

L.M. Fernández-Salas[1], I. Villar-Menéndez[1], G. Francés[2], M. Pérez-Arlucea[2] y equipo científico INPULSE-0719

1 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, Muelle de Levante, s/n, Puerto Pesquero, 11006, Cádiz, España. luismi.fernandez@ieo.es, izaskun.villar@ieo.es

2 Departamento de Xeociencias Mariñas e O.T., Facultade de Ciencias do Mar, Universidade de Vigo, Vigo, Spain. gfrances@uvigo.es, marlucea@uvigo.es

Palabras clave: procesos geológicos, corrientes de fondo, hábitats, dinámica sedimentaria, Golfo de Cádiz.

Resumen

En el golfo de Cádiz se han realizado numerosos estudios sobre los hábitats, los procesos oceanográficos (corrientes, mareas, etc.) y la geología durante los últimos años, aunque son pocos los que lo han considerado de una manera integrada y multidisciplinar. El proyecto INPULSE está estudiando de manera integrada la interacción de los procesos oceanográficos (fundamentalmente originados por la masa de agua mediterránea de salida "MOW" así como por otros procesos asociados a ella como las mareas, ondas internas, etc.) con los procesos sedimentarios en el talud continental superior y medio del norte del golfo de Cádiz, su implicación ambiental y en los hábitats, así como su modelización matemática. En julio de 2019 se realizó una campaña oceanográfica (INPULSE 0719) con el objetivo de conocer en detalle los procesos geológicos, sedimentarios, oceanográficos y bentónicos que se producen en 4 áreas clave del golfo de Cádiz. Se obtuvieron 216 h de datos de batimetría, reflectividad y de perfiles acústicos, 5 h de vídeo de imágenes submarinas, 4053 cm de sedimento, 831 perfiles hidrográficos y se instalaron 4 fondeos oceanográficos. Todo ello se integró en una base de datos común usando un "software" de Sistemas de Información Geográfica. Tras un análisis preliminar de los resultados obtenidos durante dicha campaña se puede determinar que los cambios de intensidad y dirección de la MOW influyen en los procesos sedimentarios y la evolución del relieve marino. Los depósitos de sedimento reflejan el efecto local de las corrientes sobre el fondo, cuya intensidad, junto con el tipo de sustrato condicionan la existencia y distribución de diferentes tipos de hábitats.

Abstract

Numerous studies on habitats, oceanographic processes (bottom currents, tides, etc.) and geology have been recently carried out in the Gulf of Cadiz, although few have addressed them from an integrated and multidisciplinary point of view. The current INPULSE project is studying the interaction of oceanographic processes (mainly originated by the Mediterranean Outflow Water -MOW- and associated processes as tides, internal waves, etc.) with the sedimentary processes in the northern upper and middle continental slope of the Gulf of Cadiz and their environmental and habitat implications, as well as their mathematical modelling. In July 2019, an oceanographic cruise (INPULSE0719) was carried out and based on collected date set there is a more detailed knowledge of the geological, sedimentary, oceanographic and benthic processes that occur in 4 key areas of the Gulf of Cadiz. We obtained 216 h of bathymetry, reflectivity and acoustic profile data, 5 h of underwater video images, 4053 cm of sediment, 831 oceanographic profiles and 4 oceanographic moorings. All this was integrated into a common database using Geographic Information Systems software. After a preliminary analysis of the results obtained during that cruise, it can be determined that changes in the intensity and direction of the MOW influence sedimentary processes and the evolution of the seabed. Sediment deposits reflect the effect of the bottom current on the seabed and both current velocity and type of substratum condition the occurrence and distribution of different types of habitats.

Gravitational and oceanographic processes interaction in the upper slope gullies of the Gulf of Cadiz

Interacción entre procesos gravitacionales y oceanográficos en los valles submarinos del talud superior del Golfo de Cádiz

M. García[1,2], A. Mena[2], F.J. Hernández-Molina[4], B. Alonso[5], G. Ercilla[5], D. Casas[5], E. Llave[6], L.M. Fernández-Salas[2] and F.J. Lobo[2]

1 Spanish Institute of Oceanography, Centre of Cádiz. Muelle Pesquero S/N, 11006 Cádiz. marga.garcia@ieo.es; luismi.fernandez@ieo.es
2 Andalusian Institute of Earth Sciences, CSIC-UGR. Avda. de las Palmeras 4, Armilla (Granadafrancisco.lobo@csic.es.
3 Department of Marine Geosciences and Land Management, University of Vigo. CUVI, Vigo. anxomena@uvigo.gal
4 Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London. Egham Hill, Egham TW20 0EX, UK. Javier.Hernandez-Molina@rhul.ac.uk
5 Institute of Marine Sciences, CSIC. Passeig Marítim de la Barceloneta, 37-49. Barcelona. belen@icm.csic.es; gemma@icm.csic.es; davidcasas@icm.csic.es
6 Spanish Geological Survey. C/ La Calera, 1, Tres Cantos (Madrid). e.llave@igme.es

Abstract:

The Gulf of Cadiz upper slope in the area close to the Strait of Gibraltar is covered by a plastered drift deposited by the activity of the Mediterranean Outflow Water (MOW) and the North Atlantic Central Water (NACW). A number of small gullies are incised across the plastered drift, due to the interaction between gravitational and contouritic processes. The study of parametric sounder profiles and sedimentological analyses of nine sediment cores obtained from the axes of two gullies and from the undisturbed upper slope, giving a Holocene age frame, has allowed analyzing the recent sedimentary processes and their spatial and temporal variability. The upper slope shows a general increase in grain size towards the NW, suggesting bottom current intensification and/or the occurrence of gravity flows from the continental shelf and shelf-edge. The two studied upper slope gullies display significant differences in their recent activity and dominant processes. The one located to the SE seems to have been inactive since about 5.9 ka, and it has been draped by contouritic deposits. In contrast, the gully located to the NW has been a sediment transport conduit for the entire time span recorded in the sediment cores.

Keywords: *Plastered drift, Gullies, Sedimentary facies, Bottom currents, Gulf of Cadiz.*

Resumen:

El talud superior del margen Ibérico del Golfo de Cádiz en las proximidades del Estrecho de Gibraltar está ocupado por un depósito contornítico adosado resultado de la circulación del Agua Mediterránea de Salida (Mediterranean Outflow Water, MOW) y de la Masa de Agua Central Noratlántica (North Atlantic Central Water, NACW). En él se encajan pequeños valles submarinos (gullies) debido a la interacción entre los procesos gravitacionales y contorníticos. Mediante el estudio de perfiles de sonda paramétrica y el análisis sedimentológico de nueve testigos obtenidos en el área del talud superior no afectada por gullies y en los ejes de dos gullies, cuya datación corresponde al Holoceno, este estudio analiza los procesos sedimentarios recientes y su variabilidad espacial y temporal. El talud superior muestra un incremento general del tamaño de grano hacia el NO, indicativo de intensificación de las corrientes y/o el aporte sedimentario de origen gravitacional desde la plataforma continental y borde de plataforma. Los dos gullies estudiados muestran una gran variabilidad en los procesos predominantes. El gully más meridional, dominado actualmente por la sedimentación contornítica, parece haber sido inactivo desde unos 5.9 ka. En cambio, el gully localizado más al NW ha canalizado flujos gravitacionales durante todo el intervalo registrado por los testigos.

Palabras clave: Depósito adosado; Gullies, Facies sedimentarias, Corrientes de fondo, Golfo de Cádiz.

INTRODUCTION

Gullies are ubiquitous erosive features in continental margins that are mainly related to downslope, low-density gravitational (turbidites) flows, although mass transport and fluids migration may be involved in their genesis and evolution. Gravitational processes interact with the oceanographic dynamics, and the sedimentary deposits on the slope record that interaction, as well as variations in sediment supply, tectonic regime and climatic changes. The

Gulf of Cadiz upper slope close to the Strait of Gibraltar is a key area to investigate the interaction between these processes. Here, a series of gullies are incised in a plastered drift deposited by the Mediterranean Outflow Water (MOW) and North Atlantic Central Water (NACW), which are investigated in this work using high-resolution acoustic data and sediment core analyses.

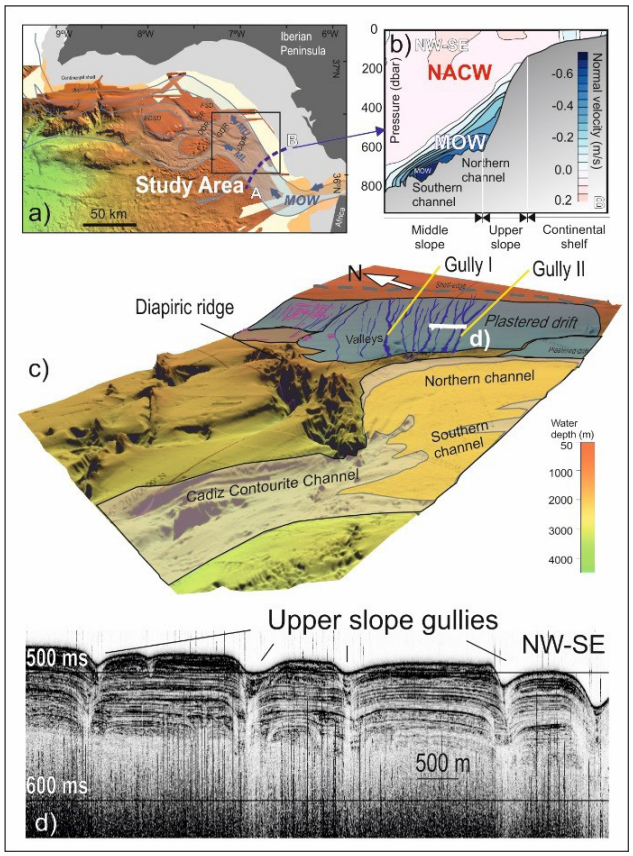


FIGURE 1. a) Location of the study area; b) Oceanographic profile along the study area (modified from Sánchez-Leal et al., 2017); c) 3D sketch showing the physiographic and morphologic characteristics. d) Parametric sounder profile showing the upper slope gullies.

GEOLOGICAL AND OCEANOGRAPHIC SETTING

The study area is located close to the Strait of Gibraltar, adjacent to the "Proximal Scour and ribbons sector" defined in the middle slope as part of the Gulf of Cadiz Contourite Depositional System (Hernández-Molina et al., 2006). The upper slope in this region is covered by plastered contourite drifts (Brackenridge et al., 2018) dissected by valleys on the upper slope, and two main channels (upper and lower) on the middle slope (Fig. 1). These features were developed after the opening of the Strait of Gibraltar in the Pliocene, and their present-day morphology was established in the late Pliocene-early Quaternary. The Gulf of Cadiz slope is also subjected to strong tectonic activity driven by marl and salt diapirs, both buried and outcropping in NE-SW-oriented diapiric ridges (Medialdea et al., 2009).

The MOW enters the Gulf of Cadiz as a highly energetic overflow. It splits into an Upper Core (MU) and a Lower Core (ML). The ML is further subdivided into smaller branches due to its interaction with diapiric highs on the middle slope (Fig. 1). The ENACW circulates with the same direction at depths of up to 500-600 m directly above the Mediterranean Outflow Water (MOW) and the interface between these two water masses occurs on the upper slope domain. This oceanographic regime was established in the early Pliocene and has been affected by climatic changes during the Plio- Quaternary.

DATASETS AND METHODOLOGY

This study is based on high-resolution datasets: swath bathymetry compilations, sediment samples obtained during the GRACO cruise (Eurofleets2; doi 10.17600/16001300) and Parasound profiles obtained in the CONTOURIBER and MOWER cruises. Kullenberg sediment cores were taken along the axis of two downslope-trending upper slope gullies (Gully I is located to the SE and Gully II to the NW). Physical properties were measured with a MSCL-Geotek at GeoLab (University of Barcelona), including magnetic susceptibility, P-wave velocity, resistivity and gamma density with 1 cm-resolution. Open cores were visually described and photographed with a digital color line scan camera, which provides continuous and very high-resolution images (70 microns) and allows extracting numerical color data. The X-Ray Avaatech fluorescence scanner was used for the geochemical characterization of the sediment. The resolution of the XRF record was 1 cm. Selected samples have been used to perform grain size and carbonate content analysis and to obtain age datations from monospecific Globigerina bulloides and mixed planktonic foraminifera. Sediment core PC06 (Brackenridge et al., 2018) has been included in this study for reference.

MORPHOLOGY AND SEISMIC CHARACTER

The upper slope is covered by a plastered drift dissected by downslope-trending gullies (Fig.1). The upper slope gullies have their heads at water depths of 205-250 m, below the continental shelf break, and they are generally asymmetric, with steeper and higher NW flanks. Gullies in the southern area are generally longer (12-20 km), deeper (2-25 m) and wider (0.2-1 km) than the ones in the northern area (5.5-9.5 km long; 0.2-0.4 km wide and 1-3 m deep).

The seismic character in the upper slope area not disturbed by gullies consists of layered parallel stratification with high lateral continuity and high-acoustic amplitude (Fig. 1). Locally, chaotic and transparent seismic facies are observed. Buried gullies completely infilled by the sedimentary cover are also identified, and many gullies show lateral migration towards the NW. Along the axis of the two studied gullies, the parametric profiles show higher seismic amplitude than the inter-gully areas. The deeper reaches of the gullies exhibit lateral truncations, particularly in Gully II.

LITHOLOGY AND SEDIMENT FACIES CHARACTERIZATION

In the undisturbed upper slope, sediment cores are composed of very poorly to moderately sorted fine silt to very fine sand (mean between 7 and 129 µm). The percentage of mud ranges between 8 and 100%. Very fine and fine sand ranges between 0-63% and 0-52% respectively, with less than 7% of medium sand. In contrast, cores recovered from the axis of the gullies are in general less muddy (20-75%) than in the inter-gully areas. The mean varies in a narrower range between 15 and 80 µm representing very poorly and poorly sorted coarse silt to very fine sand. Very fine sand content is higher than 17%, reaching 57%, whereas fine sand varies between 5 and 50%. Medium sand abundance is always lower than 8%. All datations place sedimentation in a Holocene time frame.

Eight sedimentary facies (A-E; Fig. 2) have been determined in sediment cores from the undisturbed area (KC-31 and KC-30) and from the two gullies (KC-33, KC-34 and KC-35 from Gully I and KC-39, KC-36 and KC-37 from Gully II), based on the visual description, grain size analysis and XRF curves and their sedimentological characteristics are summarized in Figure 2.

Facies	Mean (µm)	SD	Mean Sand (%)	Mean Mud (%)	Mean VFS (%)	Mean FS (%)	Type	Sorting
A	108.92	23.32	0.86	0.14	0.44	0.39	Muddy Sand-Sand	Poorly-Moderately Sorted
B	60.33	13.22	0.72	0.28	0.36	0.34	Muddy Sand	Very Poorly-Poorly Sorted
B"	51.39	14.42	0.66	0.34	0.35	0.29	Muddy Sand	Very Poorly Sorted
C	39.33	5.36	0.57	0.43	0.32	0.23	Muddy Sand	Very Poorly Sorted
C"	49.02	14.54	0.65	0.35	0.31	0.31	Muddy Sand	Very Poorly Sorted
D	23.07	4.43	0.37	0.63	0.25	0.11	Sandy Mud	Very Poorly Sorted
D"	34.86	8.72	0.52	0.48	0.29	0.21	Muddy Sand	Very Poorly-Poorly Sorted
E	9.94	2.08	0.06	0.94	0.06	0.01	Mud	Very Poorly-Poorly Sorted

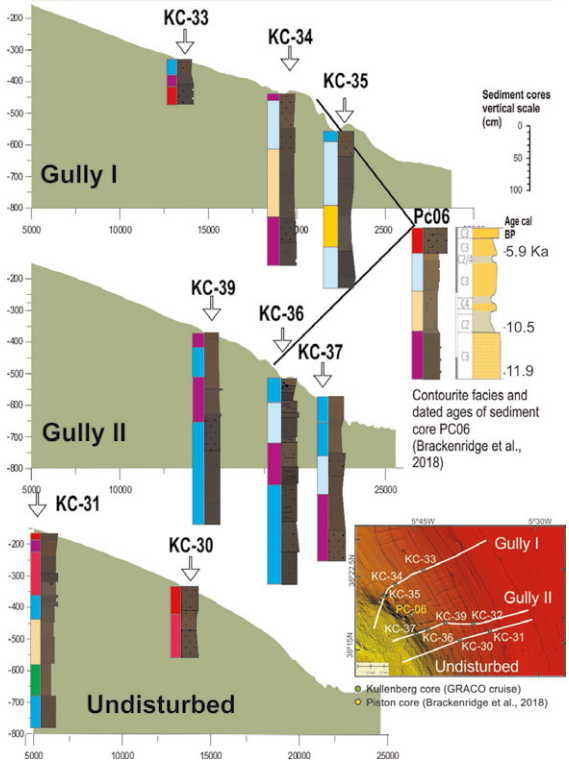


FIGURE 2. Sediment cores characterization along the upper slope profiles, showing the facies types, high-resolution photograph and description.

Grain-size data, supported by the XRF and physical properties analysis, reveal evident correlations between sediment cores from the inter-gully areas and Gully II (Fig.3). Only the top of PC06 does not correlate so clearly, but the three units identified by Brackenridge et al. (2018) are identified in the undisturbed SE area and in Gully II. In contrast, no evident correlations can be found between inter-gully areas and Gully I.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Most of the identified sediment facies can be associated to contourite facies, and they correspond to the C2, C3 and C4 of the contourite facies model (Stow et al., 2002), based on the correlations with core PC06 (Brackenridge et al., 2018). This means that contourites in the study area only contain the middle part of the standard bigradational model facies, that would record the moderate and higher bottom current intensity along the stages of intensification of the MOW.

The sedimentological analysis also indicates an along-slope variability, with a general increase of grain size and sand content from SE to NW. This may be explained by an intensification in the MOW velocity as it sweeps the upper slope, but it can also be related to a coarser sediment supply from the continental shelf and related to mass movements. PC06 shows a significant change in sedimentation to much coarser and homogeneous grain size after 5.9 Ka cal BP (Brackenridge et al., 2018), that could be related to changes in the sediment supply due to terrestrial climatic changes (Ortiz et al., 2007) combined with a sea-level stabilization (Stanley and Warne, 1994; Aleman et al., 2014).

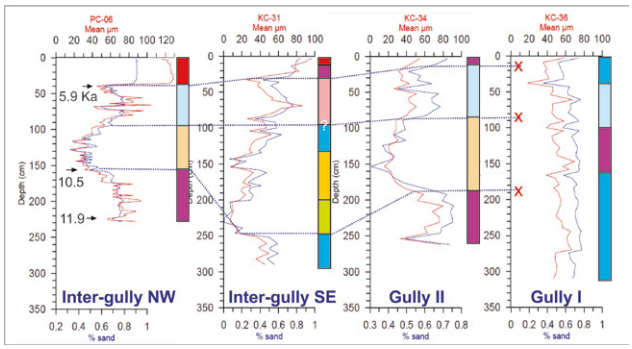


FIGURE 3. Mean grain size and sand content of four selected cores for correlation: KC-31 from inter-gullies area, KC-36 from Gully I and KC-34 from Gully II.

The two gullies studied in this work present significant differences. Gully I shows similar facies distribution to sediment core PC06 (undisturbed area), although it lacks the most recent unit. This indicates that downslope transport along Gully I was mostly inactive, and contouritic processes dominated until about 5.9 Ka. It also reveals a higher variability in the dominant processes.

In contrast, Gully II shows a higher sand content, and a smaller vertical variation in both grain size and sand fraction. This may indicate that Gully II has acted as a downslope sediment transfer conduit from the continental slope during the entire time span of this study, even under MOW flow influence, as demonstrated by the lateral migration of the axis towards the NW.

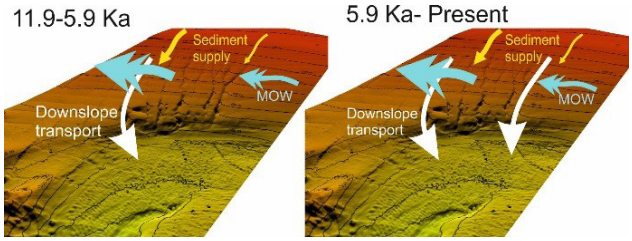


FIGURE 4. Sketch of the main processes that control sedimentation in the undisturbed upper slope and along the two studied gullies and their variability along time.

The infilling and burial of many gullies, revealed by the parametric sounder profiles, and the sedimentary record of Gully I, representing mostly contouritic deposition after 5.9 ka, suggest that downslope-trending flows are of relatively small importance, and that many of the gullies are probably currently inactive. Gully II, in contrast, is interpreted to have been active during the time span of this study. Gravitational activity seems to have been controlled by climatic-driven terrestrial changes in the sediment supply and by events of destabilization of the continental shelf-edge, possibly related to tectonic activity of buried and outcropping diapiric bodies. Even those gullies that act as conduits for downslope sediment transportation are affected by the bottom currents, that produce a lateral migration of the axis of gullies towards the NW.

This work shows how recent deposition in the Gulf of Cadiz upper slope reflects changes in bottom current intensity and in sediment supply transported gravitationally from the continental shelf to the middle slope along the upper slope gullies. A great variability is reflected by the sedimentary infilling of gullies and the seismic characterization.

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge funding from the Talus (CGL2015-74216-JIN), Inpulse (CTM2016-75129-C3-1-R), Contouriber (CTM2008-06399-C04/MAR), Mower (CTM2012-39599-C03), Fauces (CTM2015-65461-C2-1-R) and Score (CGL2016-80445-R) projects. This work has benefited from the collaborations within the Drifters" Research Group (RHUL).

REFERENCES

Aleman, N., Certain, R., Barusseau, J.P., Courp, T. and Dia, A. (2014): Post-glacial filling of a semi-enclosed basin: The Arguin Basin (Mauritania). *Marine Geology*, 349: 126-135.

Brackenridge, R.E., Stow, D.A.V., Hernández-Molina, F.J., Jones, C., Mena, A., Alejo, I., Ducassou, E., Llave, E., Ercilla, G., Nombela, M.A., Pérez-Arlucea and M., Frances, G. (2018): Textural characteristics and facies of sand-rich contourite depositional systems. *Sedimentology*, 65: 2223-2252.

Hernández-Molina F.J. Llave, E., Stow, D.A.V., García, M., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Maestro, A., Díaz del Río, V., León, R., Medialdea, T. and Gardner, J. (2006): The contourite depositional system of the gulf of Cadiz: a sedimentary model related to the bottom current activity of the Mediterranean outflow water and its interaction with the continental margin. *Deep-Sea Research II,* 53: 1420–1463.

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Preu, B., Ercilla, G., Fontan, A., Bruno, M., Serra, N., Gomiz, J.J., Brackenridge, R.E., Sierro, F.J., Stow, D.A.V., García, M., Juan, C., Sandoval, N. and Arnaiz, A. (2014): Contourite processes associated with the Mediterranean Outflow Water after its exit from the Strait of Gibraltar: Global and conceptual implications. *Geology*, doi:10.1130/G35083.1.

Medialdea, T., Somoza, L., Pinheiro, L., Fernández-Puga, M., Vázquez, J., León, R., Ivanov, M., Magalhaes, V., Díaz-del-Río, V. and Vegas, R. (2009): Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cadiz. *Marine Geology,* 261: 48-63.

Ortiz, J.E., Torres, T., López-Pamo, J.E., Soler, V., Llamas, J.F., Barettino, D. and García, M.J. (2007): Organic matter accummulation during the Holocene in the Guadalquivir marshlands (SW Spain). *Geological Journal* 42, 547-566.

Simmons, H.L, Hallberg, R.W. and Arbic, B.K. (2004): Internal wave generation in a global baroclinic tide model. *Oceanography*, 51: 3043-3068.

Stanley, D. J. and Warne, A. G. (1994): Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise: *Science*, 265: 228–232.

Stow, D.A.V., Faugères, J.-C., Howe, J., Pudsey, C. and Viana, A. (2002): *Bottom currents, contourites and deep-sea sediment drifts: current state-of-the-art. In: Deep-Water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics* (D. Stow, C. Pudsey, J. Howe, J.-C. Faugères and A. Viana, eds.) Geological Society Memoirs, London, 7-20.

Rasgos geomorfológicos del sistema de cañones de Capbreton (Golfo de Vizcaya).

Geomorphological features of the Capbreton Canyon System (Bay of Biscay).

M. Gómez-Ballesteros[1], B. Arrese[1], I.P. Díez-García[1], I. Galparsoro[2], J.M. Garmendia[2], N. Martínez[3], O. Sánchez-Guillamón[3], C. F. López-Rodríguez[3], M. Sayago[4] y F. Sánchez[5].

1 Instituto Español de Oceanografía (IEO). C/ Corazón de María 8, 28002 Madrid. beatriz.arrese@ieo.es, maria.gomez@ieo.es, irene.diez@ieo.es
2 AZTI. Herrera Kaia, Portualdea s/n, 20110 Pasaia (Guipúzcoa). igalparsoro@azti.es, jgarmendia@azti.es
3 IEO. C. O. de Málaga, 29640 Fuengirola. natalia.martinez@ieo.es, olga.sanchez@ieo.es, carmina.lopez@ieo.es
4 IEO. C. O. de Cádiz, 11006 Cádiz. miriam.sayago@ieo.es
5 IEO. C. O. de Santander, Promontorio San Martín s/n, Apdo. 240, 39080 Santander. francisco.sanchez@ieo.es

Palabras clave: cañón de Capbreton, batimetría, pockmark, geomorfología.

Resumen

En el marco del proyecto LIFE IP INTEMARES se están llevando a cabo diversos estudios para la declaración de nuevos espacios marinos protegidos por su importancia para los hábitats de acuerdo a la Red Natura 2000. Uno de estos espacios es un sector del sistema de cañones submarinos de Capbreton, localizado frente a las costas del País Vasco, en el Golfo de Vizcaya. Durante las campañas INTEMARES_CapBreton0619 y 0620 se adquirieron datos batimétricos y de reflectividad del fondo marino, así como perfiles paramétricos de alta resolución. También se obtuvieron muestras de sedimentos, rocas y de comunidades bentónicas. El estudio se completó realizando transectos de video con el vehículo submarino remolcado ROTV Politolana. El procesado y análisis de la información geofísica adquirida ha permitido obtener una batimetría de detalle de 5 metros de resolución, a partir de la cual se ha realizado la primera caracterización geomorfológica del sistema de cañones tributarios al cañón principal de dirección E-O, así como de sus interfluvios. El cañón principal presenta una morfología meandriforme, que incide en los depósitos sedimentarios, dispuestos según una serie de terrazas modeladas principalmente por corrientes turbidíticas. Destaca la presencia de extensos campos de pockmarks en las plataformas intertributarias, localizadas entre los 500 y 1000 m de profundidad. Estas depresiones circulares se relacionan con emanaciones submarinas (Gillet *et al.*, 2008).

Abstract

Various studies have been carried out to the declaration of new marine protected areas for their importance for habitats, according to the Natura 2000 Network. One of these spaces is a sector of Capbreton submarine canyon system, located in front of Basque Country coast, in Bay of Biscay. During the INTEMARES_CapBreton0619 and 0620 surveys, bathymetric, backscatter and high-resolution parametric data from the seabed were acquired. Samples of sediments, rocks and benthic communities were also obtained. The study was completed by recording video transects with the underwater vehicle ROTV Politolana. The processing and analysis of the geophysical information acquired, has allowed obtaining a detail bathymetry grid of 5x5 m, from which has been made the first geomorphological characterization of the system of tributary cannons to the E-W trending main canyon and its interfluvies. The main canyon has a meandering morphology, which affects sedimentary deposits, arranged according to the terraces modeled by turbiditic currents. Large fields of pockmarks stand out on the adjacent platforms between canyons, located between 500 and 1000 m water depth. These circular depressions are related to fluid emissions (Gillet et al., 2008).

Referencias

Gillet, H., Cirac, P. y Lagié, B. (2008). Pockmarks on the southern margin of the Capbreton Canyon (southeastern Bay of Biscay). XI International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay. *Revista de Investigación Marina*, 3, 90-91.

Proyecto GeoERA-MINDeSEA: Contexto metalogénico para los depósitos minerales submarinos en los mares europeos

GeoERA-MINDeSEA Project: Stablishing the metallogenic context for seabed mineral deposits in the pan-European seas

F.J. González[1], T. Medialdea[1], L. Somoza[1], I. Blasco[1], E. Marino[1] y A. Lobato[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003-Madrid (Spain), fj.gonzalez@igme.es; t.medialdea@igme.es; l.somoza@igme.es; ikerblasco12@gmail.com; emarino@ucm.es; ab.lobato@igme.es

Palabras clave: cartografía metalogenética marina, recursos minerales submarinos, metales críticos, mares europeos, GeoERA.

Resumen

El proyecto GeoERA-MINDeSEA forma parte de una acción ERA-NET 2018-2021 financiada por el programa europeo H2020. El objetivo principal del proyecto es establecer el marco metalogenético para diferentes depósitos minerales submarinos con potencial económico en los mares europeos. MINDeSEA está liderado por el IGME y reúne a investigadores y técnicos de 12 organizaciones, servicios geológicos e institutos, con competencias para el estudio de los recursos minerales submarinos. El ámbito geográfico del proyecto comprende las aguas europeas del océano Atlántico, el Ártico, el mar Báltico, el mar Mediterráneo y el mar Negro, que cubren una extensión de unos 15 millones de kilómetros cuadrados. El proyecto está suministrando bases de datos, cartografías, modelos genéticos, casos de estudio e informes de asesoramiento sobre ordenamiento del espacio marítimo, regulaciones medioambientales y mineras. Se está realizando una importante recopilación y análisis de datos geográficos, metalogenéticos, económicos, químicos y medioambientales para los diferentes tipos de recursos investigados: sulfuros hidrotermales, nódulos polimetálicos, costras de ferromanganeso, fosforitas y placeres. Cobalto, litio, telurio, níquel, tierras raras, cobre y otros elementos estratégicos y críticos son investigados en las mineralizaciones submarinas, como una potencial fuente alternativa a los depósitos minerales de tierra firme. Bases de datos y mapas están estandarizados y armonizados siguiendo la directiva INSPIRE. La base de datos de MINDeSEA contiene actualmente más de 800 registros de indicios minerales en los mares europeos, con más de 1000 muestras analizadas; y proporciona información adicional como referencias bibliográficas. Todos los datos, metadatos y productos elaborados son de acceso público a través de un único portal de internet (www.geoera.eu).

Abstract

GeoERA-MINDeSEA project is an ERA-NET action (2018-2021), Horizon 2020. The specific aim of MINDeSEA is to stablish the metallogenic context for different seabed mineral deposits with economic potential in the pan-European setting. The project, led by IGME, is funding a transnational cooperative network of 12 Geological Surveys and Marine Institutes, at various points of common interest for research and exploration on seafloor mineral deposits in pan-European seas. The geographical scope of the project includes the European waters in the Atlantic and Arctic oceans, Baltic, Mediterranean and Black Sea, covering about 15.000.000 km^2. MINDeSEA provides databases, cartographies, metallogenic models, case studies and assessment reports for spatial maritime planning, environmental protection and seabed mining regulations. Compilation and analysis of geographical, genetic, economic, chemical and environmental issues for seafloor massive sulphides, ferromanganese crusts, phosphorites, polymetallic nodules and placers are part of its core actions. Cobalt, lithium, tellurium, nickel, rare earth elements, copper, and other strategic and critical metals are being investigated in the European seabed mineral deposits, looking for alternative sources to the land-based mined deposits. Databases and maps are standardized and normalized according the INSPIRE. The MINDeSEA database currently contains more than 800 records of mineral occurrences and more than 1000 analysed samples in the European seas, providing information of interest as references. The outputs (maps, documents and additional data) are open and freely delivered through an Internet portal (www.geoera.eu).

La geomorfología de la Cuenca Canaria: una imagen de su longeva dinámica tectónica y sedimentaria.

The geomorphology of the Canary Basin: An image of its long-live sediment and tectonic dynamics.

R. León[1], D. Palomino[2], O. Sanchez-Guillamón[2] y J.T. Vázquez[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid. r.leon@igme.es
2 Instituto Español de Oceanografía (IEO), Centro Oceanográfico de Málaga, 29640, Fuengirola, Málaga. desiree.palomino@ieo.es, olga.sanchez@ieo.es, juantomas.vazquez@ieo.es.

Palabras clave: geomorfología, Canarias, geología marina.

Resumen

La Cuenca Canaria presenta cuatro dominios geomorfológicos claramente diferenciados por sus rasgos morfo-estructurales: al NW, la parte distal de sistema de canales turbidíticos de Madeira; al W y NW, el sistema de depósitos de flujos de derrubios procedentes de Canarias (León *et al.*, 2019); al W, la Cuenca Canaria profunda (Sánchen-Guillamón *et al.*, 2018); y al SW, la provincia volcánica de montes y colinas submarinas canarias (Palomino *et al.*, 2016). En todos ellos, sus elementos geomorfológicos muestran un claro control estructural WNW-ESE y NE-SW. Los rasgos más significativos son: la disposición y estructura de los canales turbidíticos, la geometría y localización de los diferentes niveles de debritas, la orientación de los montículos, las crestas y terrazas estructurales y la estructura interna de los sistemas de emisiones fluidas.

El análisis morfo-estructural de todos estos elementos revela como una actividad tectónica y volcánica longeva ha estado controlando la creación y destrucción del relieve del fondo marino así como la dinámica sedimentaria desde el Mioceno medio-superior hasta el Cuaternario.

Abstract

The Canary Basin shows four geomorphological domains clearly differentiated by their morpho-structural features: to the NW, the Madeira Distributary Channel System (distal part); to the W and NW, the Western Canary debris flow system (León et al., 2019); to the W, the deep Canary Basin (Sánchen-Guillamón et al., 2018); and to the SW, the Canary Seamount Volcanic Province (Palomino et al., 2016). In all domains, the geomorphological features show a clear WNW-ESE and NE-SW structural control. The most representatives elements are the followings: the location and linearity of the turbidite channels, the internal structure and location of debrite lobes, the trending of crests and structural terraces, and the linearity and internal structure of fluid emission systems.

Morpho-structural analysis of the abovementioned features reveal how a long-live tectonic and volcanic activity have controlled the generation and destruction of the seafloor relief as well as the sedimentary dynamics from upper-middle Miocene to Quaternary.

Referencias

León, R., Palomino, D., Vázquez, J. T., Medialdea, T., y Somoza, L. (2019). *Earth and Planetary Science Letters* 509, 27-37.

Palomino, D., Vázquez, J. T., Somoza, L., León, R., López-González, N., Medialdea, T., Fernandez-Sala, L.M. y Rengel, J. A. (2016). *Geomorphology* 255, 125-139.

Sanchez-Guillamón, O., Vázquez, J. T., Palomino, D., Medialdea, T., Fernández-Salas, L. M., León, R., y Somoza, L. (2018). *Geomorphology* 313, 27-47.

GARAHydrates: Una línea base en la investigación de la peligrosidad geológica submarina y almacenamiento geológico del CO_2.

GARAHydrates: a research base-line in submarine geohazards and geological storage of CO_2.

R. León[1], C. Rochelle[2], A. Burnol[3], C.J. Giménez- Moreno[1], T. Nielsen[4], J. Hopper[4], I. Reguera[1], P. Mata[1], M. Stewart[5], S. Cervel[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid. r.leon@igme.es; j.gimenez@igme.es; mi.reguera@igme.es; p.mata@igme.es; s.cervel@igme.es
2 British Geological Survey (BGS), Environmental Science Centre, Nicker Hill, Keyworth, Nottingham, NG12 5GG, UK. caro@bgs.ac.uk
3 Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Orléans, France. a.burnol@brgm.fr
4 Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Copenhagen, Denmark. tni@geus.dk; jrh@geus.dk
5 British Geological Survey (BGS), The Lyell Centre, Research Avenue South, Edinburgh, EH14 4AP, UK. mstewart@bgs.ac.uk

Palabras clave: GIS, Gas Hydrates, European Margins.

Resumen

En el marco del Proyecto GARAH (GeoERA - GeoE.171.002) se ha desarrollado un SIG de ámbito pan-Europeo enfocado a la evaluación de vacíos de información concerniente a hidratos de gas en los márgenes continentales. Un total de 835 conjuntos de información se han recopilado desde fuentes públicas (BGS, BRGM, IGME, GEUS, MIGRATE y PERGAMON COST actions, SeaDataNet, NOAA, etc). Toda esta información se ha estructurado en 4 grupos armonizados según la directiva INSPIRE: (i) evidencias e indicadores geológicos y geoquímicos, (ii) indicadores geofísicos, (iii) indicadores de flujo de fluidos and (iv) variables oceanográficas y parámetros de control geológicos. Esta base de datos SIG se ha concebido como una línea base para futuras investigaciones sobre los hidratos de gas en los márgenes continentales europeos. Su principal objetivo es la identificación de vacíos críticos de información y la definición de áreas específicas de interés objeto para futuros proyectos de investigación. Estos futuros proyectos podrían estar relacionados con el desarrollo de un modelo armonizado del campo de estabilidad de los hidratos en Europa, la evaluación de riesgos asociados a los hidratos, su abundancia o su papel como almacenamiento geológico de CO_2.

Abstract

A pan-European GIS focused on hydrate has been developed within the frame of the GARAH project (GeoERA - GeoE.171.002) in order to assess gas hydrate information gaps in the European margins. A data-collection exercise from public sources (MIGRATE and PERGAMON COST actions ES1405 and ES0902, SeaDataNet, NOAA, etc) and European Geological Surveys (BGS, BRGM, IGME, GEUS, etc) has supplied a total of 835 sets of information. All this information has been structured in four groups harmonized following the standards of INSPIRE directives: (i) Geological & Geochemical evidences/ indicators, (ii) Geophysical indicators, (iii) Fluid flow seabed indicators and (iv) Oceanographic variables & Geological constrains. This GIS-database has been conceived as a base-line for future gas hydrate related research. The main objective is the identification of critical knowledge gaps and the definition of specific areas of interest which would benefit from further research. These potential future projects could be related to improving the European model of the gas hydrate stability zone (GHSZ), assess potential geohazards and risks, assess the abundance of sediment-hosted gas hydrates, and evaluate the role of CO_2-rich hydrates for the geological storage of CO_2.

Referencias

GARAH project. GeoERA - GeoE.171.002

Reconstrucción paleoclimática y de la productividad del registro sedimentario de la provincia ZT: una aproximación a los procesos diagenéticos

Palaeoclimate and productivity reconstruction of the sedimentary record of the TZ province: an approach to the diagenetic processes

A.E. López Pérez[1], B. Rubio[1] y D. Rey[1]

1 CIM-Uvigo, Centro de Investigaciones Marinas, GEOMA, Grupo de Geología Marina y Ambiental, Universidade de Vigo, 36310, Vigo, Spain. aelopez@uvigo.es; brubio@uvigo.es; danirey@uvigo.es

Palabras clave: paleoclima, diagénesis, productividad, provincia Zona Transicional, margen continental de Galicia

Resumen

Este estudio realiza una reconstrucción de los cambios climáticos y de la paleoproductividad, así como una interpretación diagenética de tres testigos extraídos en la provincia Zona Transicional (ZT) del margen continental de Galicia. La combinación de datos geoquímicos y magnéticos de alta resolución, junto con un robusto modelo de edad de los últimos 170 cal ka BP, permitieron realizar la reconstrucción climática de la ZT delimitando los últimos once Estadios de Heinrich. Las bajas tasas de sedimentación calculadas identificaron diferentes secuencias condensadas de capas de Heinrich durante el MIS2, MIS 3 y MIS4. Los indicadores de paleoproductividad utilizados – Carbono orgánico total (COT), bario biogénico y fósforo orgánico (Schoepfer *et al.*, 2015) – permitieron caracterizar las variaciones de la bomba biológica y los ciclos biogeoquímicos en la ZT atendiendo a los ciclos glaciales/interglaciales. Se identificaron numerosos frentes de oxidación en los testigos, indicativos de que la diagénesis temprana no ha alcanzado el estado estacionario. Se deduce que la redoxclina no ha logrado alcanzar la profundidad de equilibrio como consecuencia de los procesos erosivos que causan la oxigenación continua del sedimento. Así, los resultados obtenidos proporcionan información detallada sobre la actividad diagenética y la paleoproductividad marina atendiendo a las condiciones paleoclimáticas durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno en la ZT.

Abstract

This study provides a reconstruction of the climatic changes and palaeoproductivity, as well as a diagenetic interpretation of three piston cores extracted at the Transitional Zone (TZ) province of the Galicia Continental Margin. The combination of high-resolution geochemical and magnetic data, along with a robust age model for the last 170 cal ka BP, allowed the climate reconstruction of the TZ delimiting the last eleven Heinrich Stadials. The calculated low sedimentation rates identified condensed sequences of Heinrich Layers during MIS2, MIS 3 and MIS4. The palaeoproductivity indicators used – total organic carbon (TOC), biogenic barium and organic phosphorus (Schoepfer et al., 2015) - allowed to characterise the variations of the biological pump and biogeochemical cycles in the TZ attending to the glacial/ interglacial cycles. Numerous oxidation fronts were identified, indicating that the early diagenesis has not reached the steady-state, because the redoxcline has not achieved the deeper equilibrium as a consequence of erosional processes that caused the continuous oxygenation of the sediment. Thus, the results provide detailed information about the diagenetic activity and marine palaeoproductivity attending to the palaeoclimatic conditions during the late Pleistocene and the Holocene in the TZ.

Referencias

Schoepfer, S.D., Shen, J., Wei, H., Tyson, R.V., Ingall, E. y Algeo, T.J., (2015). *Earth-Science Reviews* 149, 23–52. DOI: 10.1016/j.earscirev.2014.08.017

Interacción entre la topografía y las corrientes de fondo en la dinámica sedimentaria de la ZT del margen continental de Galicia

The interplay between topography and bottom currents on the sedimentary dynamics of the TZ of the Galician Continental Margin

A.E. López Pérez[1], B. Rubio[1], D. Rey[1] y L.M. Pinheiro[2]

1 CIM-Uvigo, Centro de Investigaciones Marinas, GEOMA, Grupo de Geología Marina y Ambiental, Universidade de Vigo, 36310, Vigo, Spain. aelopez@uvigo.es; brubio@uvigo.es; danirey@uvigo.es

2 Departamento de Geociências e CESAM, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal. lmp@ua.pt

Palabras clave: facies, dinámica sedimentaria, erosión, paleocorrientes, margen continental de Galicia

Resumen

Este trabajo presenta un análisis de facies integrado por datos geoquímicos, magnéticos y texturales de alta resolución adquiridos en cinco testigos de pistón con el objetivo de describir la evolución sedimentaria de la provincia Zona Transicional (ZT) del margen continental de Galicia. Los análisis de facies revelaron siete facies correspondientes a facies pelágicas, hemipelágicas y detríticas, esta última relacionada con capas de Heinrich, y a facies de redeposición y de abrasión. Imágenes del fondo marino y perfiles sísmicos de alta resolución confirmaron procesos erosivos en la ZT. Por su parte, las tasas de sedimentación muestran valores bajos en los últimos 170 cal ka BP, especialmente durante los estadiales fríos. Estas bajas tasas indican un fuerte control topográfico de las corrientes de fondo, así como cambios relacionados con las condiciones hidrodinámicas glaciales/interglaciales. La intensa corriente de fondo actual es una consecuencia de la topografía elevada y la disposición de confinamiento de la ZT que provoca una constricción de las masas de agua (MOW y LSW), induciendo así a un aumento de la velocidad de las corrientes del fondo y a una mejora de su capacidad erosiva. Durante los estadiales fríos, estas intensas corrientes de fondo experimentan una intensificación mayor debido a la migración vertical hacia mayor profundidad de la MOW como resultado del debilitamiento de la AMOC. Así, la topografía y los cambios hidrodinámicos glaciales/interglaciales son los principales factores que controlan la dinámica sedimentaria de la ZT.

Abstract

We present an integrated facies analysis of high-resolution geochemical, magnetic, and textural data acquired from five piston cores to describe the sedimentary evolution of the sediments from the Transitional Zone (TZ) province at the Galician Continental Margin. Facies analyses revealed seven different facies, corresponding to pelagic, hemipelagic and detrital facies, the latter related to Heinrich Layers, and redeposition and abraded facies. Seafloor images and high-resolution seismic profiles confirmed erosional processes in the study area. Sedimentation rates have been low for the last 170 cal ka BP, especially during cold stadials. These low rates indicate strong topographic control of the bottom currents and important changes related to glacial/interglacial hydrodynamic conditions. The present-day vigorous bottom current is a consequence of the elevated topography and the confined disposition of the TZ province that causes a constriction of the water masses (MOW and LSW) and induces velocity increase of the bottom currents, enhancing their erosive capacity. During cold stadials, these vigorous bottom currents experience intensification because of the vertical downward migration of denser MOW water mass, resulted by the weakness of the AMOC. Thus, the topography and the glacial/interglacial hydrodynamic changes are the main factors that controlled the sedimentary dynamic of the TZ.

Caracterización sedimentológica y mineralógica de un campo de pockmarks en margen continental de Murcia (SE Península Ibérica)

Sedimentological and mineralogical characterization of a pockmarks field on the continental margin of Murcia (SE Iberian Peninsula)

C. López-Rodríguez[1], M. Sayago-Gil[2], N. López-González[1], F. Martínez-Ruiz[3], L.M. Fernández-Salas[2]

1 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, Puerto Pesquero, s/n, Fuengirola, Málaga 29640, España. Carmina.lopez@ieo.es
2 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, Puerto Pesquero, Muelle de Levante, s/n, Cádiz 11006, España.
3 Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Avda. de la Palmeras, nº4, Armilla, Granada 18100, España.

Palabras clave: Pockmarks, sedimentología, mineralogía, fluidos.

Resumen

Los pockmarks constituyen estructuras sedimentarias relacionadas con emisiones de fluidos al fondo marino. En el talud superior del margen continental oriental de Murcia (SE Península Ibérica), se desarrolla un extenso campo de pockmarks originado por la emisión activa de fango cargado de fluidos, principalmente a través de fallas localizadas en el escarpe de Mazarrón (Acosta *et al.*, 2013, entre otros). Con el objetivo de investigar la actividad reciente y la procedencia de dichas emisiones, se adquirieron datos acústicos (ecosonda multihaz y TOPAS) y testigos de sedimento recuperados mediante box corer, fuera y dentro de un pockmark seleccionado. Mediante los datos acústicos se ha identificado la morfología de los pockmarks, definidos como depresiones en forma semicircular. Los resultados sedimentológicos indican abundancia de fango sobre arena (aprox. 90% y 10%, respectivamente) y ausencia de grava. Los dos testigos de sedimento muestran una composición mineralógica equivalente, dominado por arcilla junto con calcita, cuarzo y cantidades menores de pirita y dolomita.

Investigaciones futuras permitirán determinar las condiciones diagenéticas de generación de los fluidos, los mecanismos de migración de fluidos y la actividad de emisión de fangos cargados en fluidos en este campo de pockmarks.

Abstract

Pockmarks constitute submarine sedimentary structures related to fluid emissions to the seafloor. A large pockmark field develops at the upper slope of the continental margin of Murcia (SE Iberian Peninsula). They are promoted by active emission of mud-rich fluids, mainly through faults located in the Mazarrón escarpment (Acosta et al., 2013, among others). To investigate the recent activity and the provenance of such emissions, acoustic data (multibeam echosounder and TOPAS) and core sediments taken with box corer were acquired outside and inside of a selected pockmark. Acoustic data have allowed the identification of pockmark morphology as depressions of semicircular shape. Sedimentological results indicate an abundance of mud over sand (ca. 90% and 10%, respectively) and lack of gravels. The two sediment cores show analogous bulk mineral composition, dominated by clay together with calcite and quartz, and minor amounts of pyrite and dolomite.

Further investigations will allow constraining diagenetic conditions for fluid generation, mechanisms of fluid migration and mud-rich fluid discharge activity within this pockmark field.

Referencias

Acosta, J., Fontám, A., Muñoz, A., Muñoz-Martín, A., Rivera, J., Uchupi, E. (2013). *Marine and Petroleum Geology*, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.04.005

Paleosistemas playa-duna holocenos y pleistocenos en la costa sur del municipio de Telde (Este de Gran Canaria).

Holocene and Pleistocene beach-dune paleosystems in the southern coast of Telde municipality (East of Gran Canaria Island).

J. Mangas[1], I. Montoya-Montes[1,2], J. F. Betancort[1], I. Menéndez[1], L. Quevedo-González[1], J. Yepes[1]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC, Campus de Tafira 35017 Las Palmas de Gran Canaria. jose.mangas@ulpgc.es, i.montoya@igme.es, juanbetancort@gmail.com, inmaculada.menendez@ulpgc.es, luisquevedo.master@gmail.com, jorge.yepes@ulpgc.es

2 Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Canarias. C/ Alonso Alvarado, 43, 35003 Las Palmas de Gran Canaria

Palabras clave: paleosuelos, eolianitas, paleoplayas, sistemas playa-duna, Gran Canaria

Resumen

En este trabajo se han estudiado cuatro columnas vulcanoestratigráficas en las playas de Salinetas, Ámbar, Aguadulce, y el acantilado de Puntilla del Morro Gordo en el litoral sur del municipio de Telde al Este de Gran Canaria. Sobre lavas basanítico-nefeliníticas pliocenas del Ciclo Post-Roque Nublo datadas en 3,6-3,9 Ma (datación K/Ar) se hallan paleosuelos con paleoplayas y eolianitas plio-pleistocenas en la Playa de Ámbar, siendo frecuentes las eolianitas del pleistoceno superior y ocasionales los paleosuelos en las otras áreas. Las eolianitas son mantos eólicos o paleodunas con estratificación cruzada de gran ángulo, con rizolitos y gasterópodos terrestres de los géneros *Theba, Hemicycla, Obelus, Monilearia, Pomatias* y *Amphorella*, datados entre 31,200-39,000 años BP (racemización de aminoácidos). La cementación entre bioclastos y terrígenos en paleosuelos y eolianitas está constituida por cristales discontinuos de calcita magnesiana (HMC <12% $MgCO_3$, LMC <4,7% $MgCO_3$), dolomita (<42,3% $MgCO_3$), zeolitas (mesolita-analcima) y halita. En las playas de Ámbar, Salinetas y Aguadulce aparecen varios niveles de beachrocks holocenos de calcarenitas, y conglomerados a techo, buzando al mar con menos de 10 grados. El cemento isopaco de calcita magnesiana (HMC <15% $MgCO_3$) une bioclastos de algas rojas, moluscos, briozoos, foraminíferos y equinodermos, con litoclastos como minerales (olivinos, clinopiroxenos, plagioclasas, hornblenda, y óxidos de Fe), fragmentos de rocas máficas, y en menor grado félsicas, e intraclastos. La distribución de beachrocks y eolianitas costeras registran cambios del nivel del mar. Los sistemas playa-duna están activos en Salinetas y Aguadulce, sin entradas de sedimentos en la playa del Ámbar.

Abstract

In this work, four volcano-stratigraphic profiles have been studied on the beaches of Salinetas, Ámbar, Aguadulce, and Puntilla del Morro Gordo cliff in the southern coast of Telde municipality, East of Gran Canaria Island. Post-Roque Nublo Cycle, basanitic-nephelinitic lavas of Pliocene age ranging 3.6-3.9 Ma (K/Ar dating) serve as substrate for Plio-Pleistocene paleosols, paleobeaches and aeolianites on Ámbar beach, whereas occasional paleosols and frequent aeolianites of Upper Pleistocene age occur in the other study areas. These aeolianites are aeolian mantles and high-angle, cross-bedded paleodunes with frequent rhizoliths and terrestrial gastropods dated to 31.200-39.000 years BP (amino acid racemisation dating) of the genus Theba, Hemicycla, Obelus, Monilearia, Pomatias, and Amphorella. Cementation of terrigenous and bioclastic grains in paleosols and aeolianites is composed of discontinuous crystals of Mg-calcite (HMC <12% $MgCO_3$, LMC <4.7% $MgCO_3$), dolomite (<42.3% $MgCO_3$), zeolite (mesolite-analcime) and halite. Holocene calcarenitic beachrocks, with conglomerates on top, occur in the beaches of Ámbar, Aguadulce and Salinetas with seaward tilting below 10 degrees. Isopachous cement of Mg-calcite (HMC <15% $MgCO_3$) binds bioclasts of red algae, forams, molluscs, echinoderms and bryozoans, with minerals (olivine, clinopyroxene, hornblende, plagioclase, iron oxides), mafic and minor felsic rock fragments, and intraclasts. Beachrock and coastal aeolianite distribution record sea level changes. Beach-dune systems are active in Salinetas and Aguadulce, with no sediment inputs on the beach of Ámbar.

El Proyecto EMODnet: una iniciativa para el desarrollo de la cartografía geológica digital de los mares europeos.

The EMODnet project: An initiative for the digital geological mapping of the European seas.

T. Medialdea[1], L. Somoza[1], F.J. González[1], A. Lobato[1], I. Blasco1 y E. Marino[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003-Madrid (Spain), t.medialdea@igme.es, l.somoza@igme.es, fj.gonzalez@igme.es, ab.lobato@igme.es, ikerblasco12@gmail.com, marino.es@gmail.com

Palabras clave: cartografía marina, márgenes continentales, Mar Mediterráneo, Océano Atlántico, EMODnet.

Resumen

El proyecto "European Marine Observation and Data Network" (EMODnet, www.emodnet.eu) es una iniciativa de la Comisión Europea que surge de la "Estrategia para el Conocimiento Marino 2020". El objetivo es desarrollar una infraestructura europea de datos marinos (Geología, Química, Biología, Física, Batimetría y Hábitats marinos) y facilitar el uso y acceso libre a esta información a usuarios públicos y privados. El ámbito geográfico del proyecto comprende el Mar Mediterráneo (incluyendo el sector correspondiente a Turquía), Mar Báltico, Mar del Norte, Mar Negro y Caspio, Mar Céltico, Golfo de Vizcaya y margen de Iberia y Macaronesia. El projecto EMODnet-Geology suministra datos marinos y nuevos mapas digitales multiescala, estandarizados y armonizados: mapas geológicos del fondo y subsuelo marino, mapas de tipos de sedimentos y tasas de sedimentación recientes, mapas geomorfológicos, mapas de migración de la línea de costa, mapas de eventos geológicos submarinos (terremotos, tsunamis, deslizamientos, fallas activas, edificios volcánicos y emisiones de fluidos), y mapas de recursos marinos (incluyendo depósitos minerales, petróleo, gas y áridos). Todos los mapas van acompañados de una tabla de atributos que además de suministrar la localización, proporciona información adicional como referencias bibliográficas, origen de los datos, edades y otros datos de interés. Todos los datos, metadatos y productos elaborados son de acceso público a través de un único portal de internet (http://www.emodnet-geology.eu).

Abstract

The European Marine Observation and Data Network (EMODnet, www.emodnet.eu) is a long term marine data initiative from the European Commission underpinning its Marine Knowledge 2020 strategy. The objective is to facilitate the access and free use of marine data and information (Geology, Chemistry, Biology, Physics, Bathymetry, Seabed Habitats, and Human Activities) to public and private users. The geographical scope of the project includes the Baltic, Barents, Black, Caspian, Mediterranean within EU waters, including the Turkish sector, and North seas, the Celtic Sea and Bay of Biscay, the Iberian margin and Macaronesia. The EMODnet-Geology project provides harmonized and standardized marine data and new multi-resolution digital maps of the European seas including sea-floor geological maps, seabed substrate maps, geomorphological maps, coastline migration maps, geological events maps (earthquakes, tsunamis, submarine landslides, active faults, volcanic centers, fluid emissions), mineral occurrences (aggregates and metallic minerals) and hydrocarbons maps. Submerged landscape features and palaeoenvironmental indicators maps, including estimated age, where known, are also included. Each layer is complemented by an attribute table which provides in addition to the location, information of interest as references, data source, ages, and other valuable data. The outputs (maps, documents and additional data) are freely delivered through an Internet portal (http://www.emodnet-geology.eu).

Catálogo tomográfico de facies marinas profundas: aplicación del programa *roFac* al relleno sedimentario de la Cuenca Interior de Galicia.

Tomograghic catalogue of deep-marine facies: the use of software roFac in the sedimentary infill of the Galicia Interior Basin.

A. Mena[1], A. Comesaña[2], P. Aguiar[3] and G. Francés[1]

1 Dpto. Xeociencias Mariñas e O.T. Fac. Ciencias do Mar. Universidade de Vigo. Avd. das Abelleiras s/n 36310. Vigo. anxomena@uvigo.gal, gfrances@uvigo.es.
2 Dpto. Ecoloxía e Fisioloxía Animal. Fac. Ciencias do Mar. Universidade de Vigo. Avd. das Abelleiras s/n 36310. Vigo. ancomesana@uvigo.es
3 Grupo de Imaxe Molecular e Física Médica, Depatamento de Psicoloxía, Radioloxía, Saúde Pública, Medicina e Efermaría, Facultade de Medicina e Odontoloxía, Universidade de Santiago.- R/ de San Francisco, s/n 15782 Santiago de Compostela. pablo.aguiar.fernandez@gmail.com

Palabras clave: CT-scan, sedimentary facies, Deep-ocean, Galicia Interior Basin, Catalogue.

Resumen

La tomografía computarizada (CT-scan) tiene un gran potencial para aplicaciones geológicas ya que permite identificar de forma no destructiva características sedimentarias como la textura, tamaño de grano, composición, estructuras sedimentarias, así como propiedades físicas de los sedimentos (densidad, contenido de agua, etc.). El procesado numérico de los datos brutos de CT mediante un software específico puede ser una herramienta de análisis sedimentario por sí misma y también una herramienta de mejora significativa del análisis, más subjetivo, de la imagen tomográfica del sedimento. Los cambios de facies suelen ir asociados a cambios de densidad que, aunque sean muy sutiles, pueden ser detectados por el CT-scan y su distribución puede ser caracterizada estadísticamente. La identificación estadística, caracterización y cuantificación de estas variaciones de densidad y, por lo tanto, de las facies sedimentarias, es el objetivo principal de *roFac*. El relleno sedimentario de la Cuenca Interior de Galicia registra las facies sedimentarias marinas profundas más típicas: pelágicas, hemipelágicas, turbidíticas y contorníticas. La aplicación de *roFac* a los datos tomográficos de sondeos oceánicos de esta cuenca ha permitido discriminar en términos estadísticos sus principales facies y establecer así un catálogo tomográfico preliminar. La aplicación de esta técnica de identificación de facies, sin necesidad de abrir ni manipular los sondeos, es de gran utilidad a la hora de planificar otros análisis en otros lugares y correlacionar sondeos.

Abstract

Computed tomography (CT-scan) has a great potential for geological applications allowing to identify as a non-destructive methodology characteristics of the sediment as texture, grain-size, composition, sedimentary structures and physical properties as density, water content, etc. The numerical processing of the raw data using specific software can be considered as a sedimentary analysis tool by itself, and as a tool to improve the more subjective analysis of the tomographic images of the sediment. The facies changes are usually associated with density changes that can be detected by means of the CT-scan, and their distribution can be statistically characterized. The statistical identification, characterization and quantification of this density variations, and hence, of the sedimentary facies, is the main objective of roFac. The sedimentary infill of the Galicia Interior Basin records the deep-ocean typical facies: pelagic, hemipelagic, turbitic and contouritic. The use of roFac for tomographic data from the sedimentary records of this basin allow us to distinguish on the basis of statistical parameters the main facies and to stablish a preliminary tomographic catalogue. The use of this facies identification technique, before the opening of the cores, present a great utility to plan other kind of analyses in other areas and to correlate cores.

Radio-density signal of bigradational sequences adjacent to the Southern Channel: a tomographic approach to contourite deposits in the the Gulf of Cádiz.

Señal de radiodensidad de las secuencias bigradacionales adyacentes al Canal Meridional: aproximación tomográfica a los depósitos contorníticos del Golfo de Cádiz.

A. Mena[1], M. García[2,3], G. Francés[1], M. Pérez-Arlucea[1], F.J. Hernández-Molina[3], L.M. Fernández-Salas[3]

1 Dpto. Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio. Facultade de Ciencias do Mar. Universidade de Vigo. Avda. das Abelleiras s/n 36310. Vigo, Pontevedra. anxomena@uvigo.gal, gfrances@uvigo.es.
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR). Avda. de la Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada. m.garcia@csic.es
3 Instituto Español de Oceanografía, Centro de Cádiz. Muelle Pesquero S/N, 11006 Cádiz, Spain. luismi.fernandez@ieo.es
4 Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London. Egham Hill, Egham TW20 0EX, UK. javier.hernandez-molina@rhul.ac.uk

Abstract: *The tomographic study of three gravity cores obtained in a transect crossing different sedimentary environments through the Southern Channel of the Contourite Depositional System of the Gulf of Cádiz, allows correlating the radio-density values of the sediment with its grain size and composition. In the studied cores an increase in radio-density is observed through the transect rom out of the channel towards the inner part, where the MOW (Mediterranean Outflow Water) velocity is more intense. Since the grain size is linked in this study area to the speed of the MOW and its erosive / depositional capacity, the variations in radio-density, and therefore, in grain size, can be tentatively correlated with variations in the e MOW speed. In this way, at least three bigradational sequences typical of the contourites sequence model can be observed and could correspond to at least three major pulses of current intensification*

Keywords: *CT-scan, radio-density, bigradational sequences, contourites, Gulf of Cádiz.*

Resumen: El estudio tomográfico de tres testigos de gravedad obtenidos en un transecto que atraviesa distintos ambientes sedimentarios a través del Canal Sur del Sistema Deposicional Contornítico del Golfo de Cádiz, permite correlacionar los valores de radio-densidad del sedimento con su composición y tamaño de grano. En los testigos estudiados se observa un aumento de la radiodensidad a medida que nos acercamos o introducimos en el canal siguiendo el transecto y la velocidad de la MOW (Agua Mediterránea de Salida) se intensifica. Al estar el tamaño de grano ligado en esta área de estudio a la velocidad de la MOW y su capacidad erosiva/deposicional, las variaciones de radiodensidad, y por tanto, de tamaño de grano, se pueden correlacionar tentativamente con variaciones en la velocidad de esta masa de agua. De esta manera, se pueden observar al menos tres secuencias bigradacionales típicas del modelo de secuencia contornítica que se corresponderían con al menos tres pulsos principales de intensificación de la corriente.

Palabras clave: CT-scan, radio-densidad, secuencias bigradacionales, contornitas, Golfo de Cádiz.

INTRODUCTION

The INPULSE Project focuses on the interactions between the oceanographic and sedimentary processes in the nothern continental slope of the Gulf of Cadiz. In this area, the extensive Cádiz Depositional System (CDS) has evolved since the instauration of the present-day oceanographic exchange of water masses through the Strait of Gibraltar after the Late Miocene. This system results from the interaction between the Mediterranean Outflow Water (MOW) and the sea sea-floor topography.

During the INPULSE cruise (2019) on board of the R/V Ángeles Alvariño three gravity cores, IN19-GC 35(690 meters below sea level, mbsl), 36 (629 mbls) and 37 (715 mbsl), were recovered in the exploration Zone 3 along a transect across the Southern Channel, in the vicinities of the Strait of Gibraltar (Fig. 1). The sites of these cores correspond with the proximal scour and sand ribbons sector (sector 1; 37) and the overflow sedimentary lobe sector (sector 2; 35 and 36), characterized by an intense and turbulent MOW flow and with separate small MOW fluxes respectively (Hernández-Molina et al., 2006). The overflow sedimentary lobe sector presents sedimentary features linked to the interaction of the MOW with the diapiric structures and with the overflow of this current from the sandy bank which divides sector 1 and 2 and constitutes the meridional limit of the Southern Channel (Hernández-Molina et al., 2014).

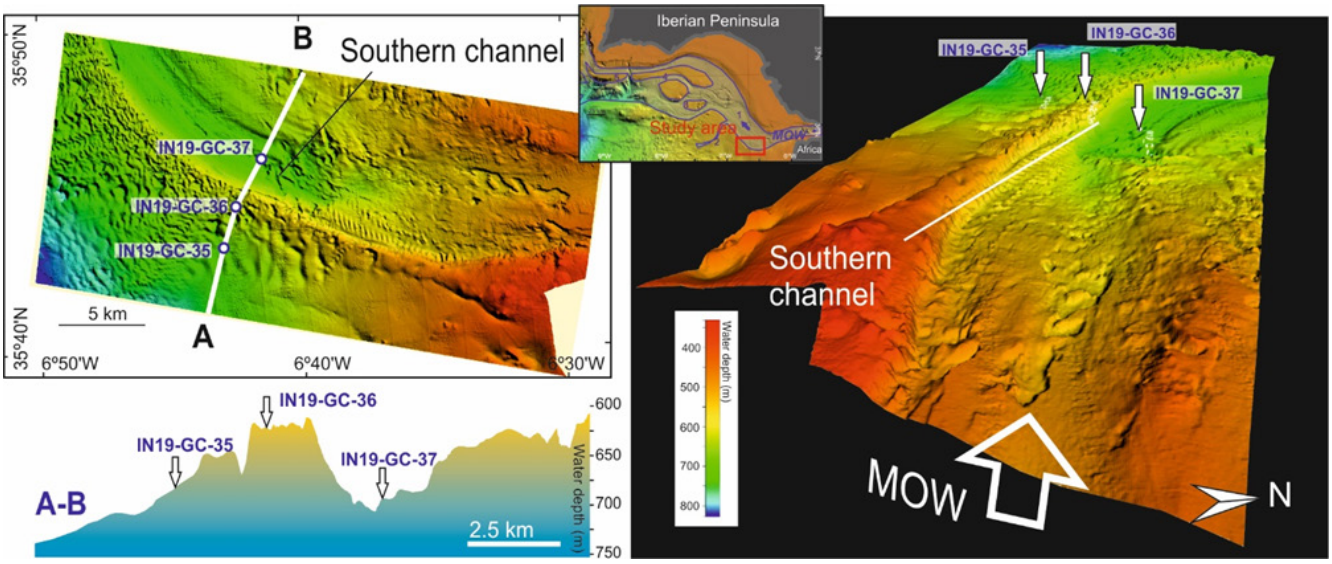


FIGURE 1: Bathymetry, 3D projection and relative position of the studied gravity cores in the South-North transect through the Southern Channel of the Gulf of Cadiz.

The main objective of this work is to identify and characterize the relationship between the MOW velocity and the physical properties (radio-density) of the sediment by means of the tomography (CT-scan) technique.

DATA AND METHODS

The tomography (CT-scan), allows us to obtain images and numerical radio-density data with a direct correlation with sediment properties. The three cores were analysed before opening using the CT-scan from the University Veterinarian Hospital Rof Codina of Lugo (Galicia) using a Hitachi ECLOS 16 Multislice CT. Images were obtained using free software MRicro (Rorden and Brett, 2000) and the data were treated and processed using the software anidoC and its acquisition protocol (Mena et al., 2015).

AnidoC allows us to extract numerical data radio-densities histograms (Fig. 2) and radio-densities profiles (Fig. 3) from the CT-scan numerical data for each analysed core. Besides, this software extracts the abundance profile of the data by ranges of radio-density previously selected.

RESULTS AND DISCUSSION

2D representative images of the three cores were obtained from the multi-slice tomographic results (Fig. 3), trying to optimize the visualization window with the radio-density variations (Fig. 2) and a representative colour scale). The abundance of data in the selected ranges (Fig.2) was calculated. These ranges were defined in base of the histogram distribution trying to identify the main radio-density populations (Fig. 2) that tentatively can be correlated with sediment properties, such as the grain size, composition and textural variations, assuming the existence at least of 4 sediment types attending to the radio-density properties. Besides the radio-density profile of each core (Fig. 3) were calculated together with the variations in depth for each of the four radio-density ranges.

Attending to the sedimentary continuity and the sedimentary structures of the cores, the images do not show any trace of erosive features. Only core 37 presents sand-gravel bioclastic content (broken shells, spicules) at the top and the base of the core. The upper level could be related to the present-day surface sedimentation in the channel where current intensity is strongest and most persistent (Hernández-Molina et al., 2014).

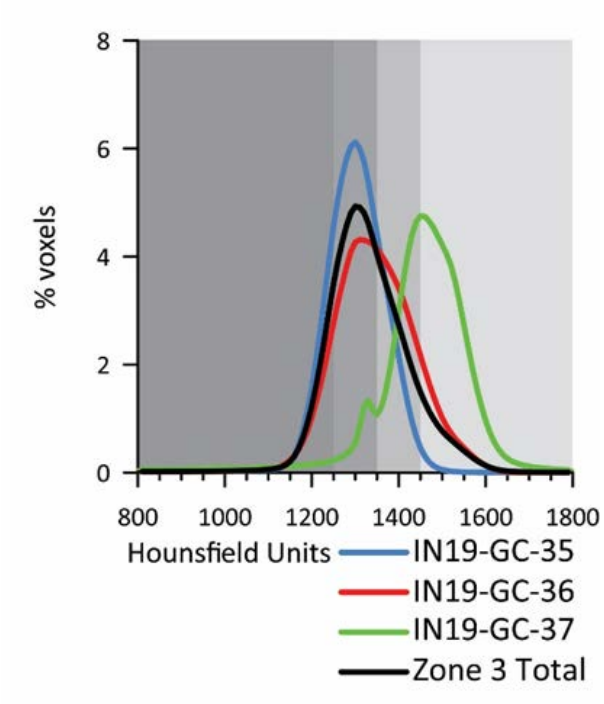


FIGURE 2: Radio-density data abundance for the three gravity cores and for the total of the INPULSE zone 3.

The radio-density measured in the three gravity cores reveals an increase of the mean value of the sediment along the studied transect (Fig. 2) from sector 2 to sector 1 (south to north, Fig. 1) probably linked to the proximity of the sites to the main channel and hence, with the velocity of the MOW in this two sectors (Sánchel-Leal, et al., 2017). The increase in the radio-density along the transect is evident too in the higher abundance of the higher radio-density ranges (Fig. 3).

In general, higher radio-densities of the sediment can be linked to a coarser grain-size and higher proportion of carbonate (Mena et al., 2018). Based on the continuity of the sediment, and assuming that sedimentation in core 37 is totally produced by the MOW activity in the Southern Channel (Sánchez-Leal et al., 2017), the radio-density variations of the sediment, and hence, grain-size and composition, can be correlated with the variations in the MOW intensity in the current surface and in recent sediments. This fact allows correlating a higher radio-density value with a more intense MOW flow.

Besides, the sedimentary record of the cores (Fig. 3) reveals a gradual and fine variation in the radio-density profiles and images easily comparable with the contourite bigradational sequences model (Faugères and Stow, 2008). These sequences are more evident in the radio-density ranges, showing that the abundance of higher radio-density ranges increase as we approach to the channel and consequently to a more intense MOW flow.

Core 35 records two of these radio-density bigradational sequences and core 36 records three sequences. In core 37, although it shows a sedimentary record totally dominated by a strong MOW flow and do not exist a typical bigradational sequence, three intervals potentially linked with an enhanced MOW, and therefore, related to at least three MOW flow intensified.

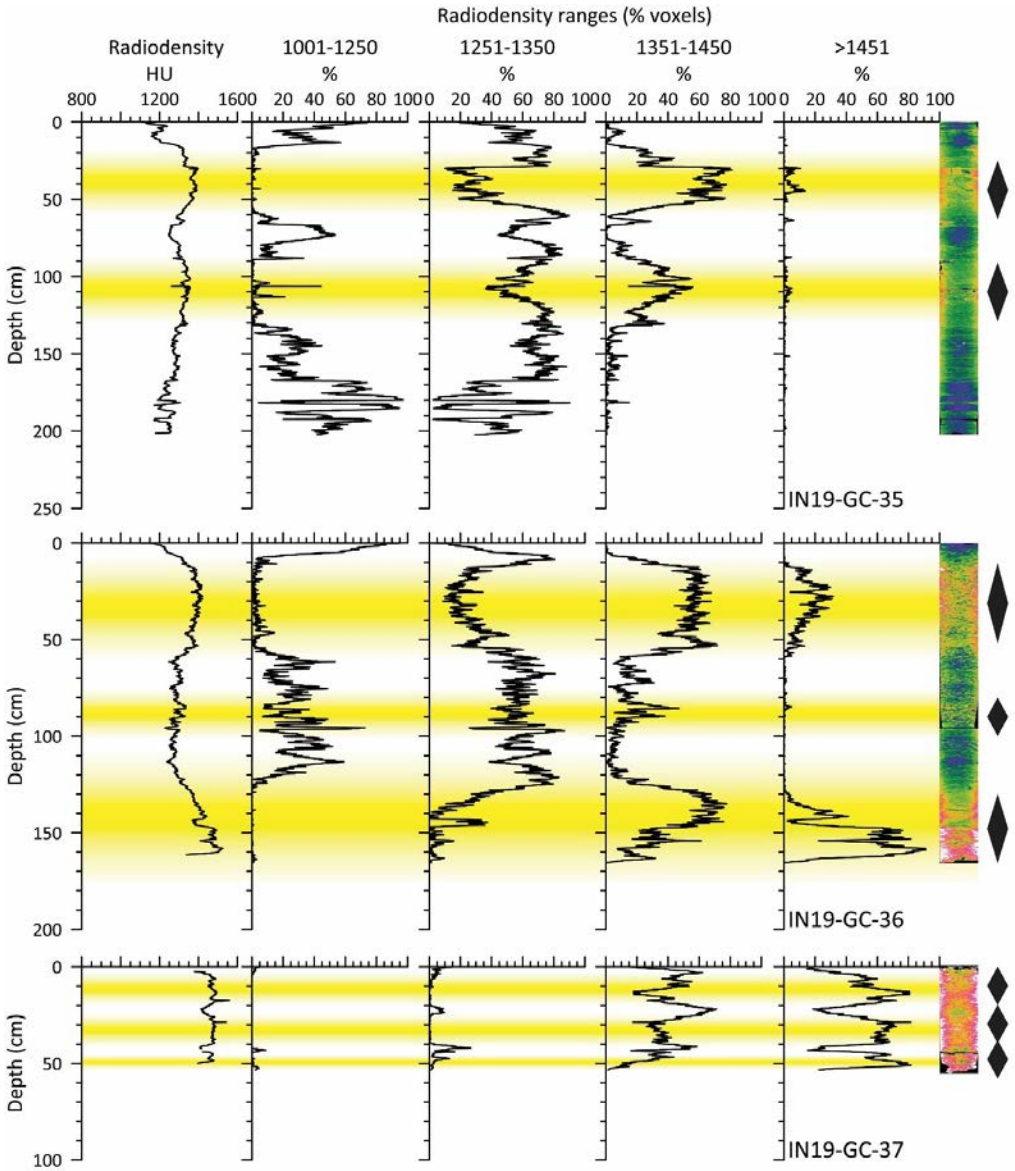


FIGURE 3 Radio-density profiles of the three gravity cores and radio-density ranges abundance. 2D tomography (Colour image) with the radio-density scale (down) Tentative bigradational sequences are marked in the records (yellow band) and in the colour image of the cores.

Assuming that this is a preliminary study, that classical sedimentary analyses are still in progress, and that is necessary to establish an accurate age model for this area, the sedimentary record across the Southern Channel and proximities reveals at least three pulses of MOW intensification. Although this water mass is continuously affecting the Southern Channel, during intensification periods it overflows the channel (Hernández-Molina et al., 2006), affecting the sites of cores 35 and 36 and generating the contouritic bigradational sequences that could be identified using the tomographic data and images.

During glacial periods, the MOW is defined as a current with stronger transport and higher winnowing capacity (Schönfeld and Zahn, 2000) that could form coarser contouritic deposits than during the interglacial. Assuming that the same MOW behaviour works in lower time-scales (cold events), the three recorded pulses of the MOW intensification identified based on tomographic data across the Southern Channel, can be linked to a climatic signal.

ACNOWLEDGEMENTS

Universitary Veterinarian Hospital Rof Codina de Lugo. INPULSE Project (CTM2016-75129-C3-1-R). Postdoctoral Xunta de Galicia Grant. TALUS Project (CGL2015-74216-JIN). Grupos de Referencia Competitiva Xunta de Galicia (ED431C 2017/55). The research studies are conducted in collaboration with 'The Drifters Research Group' of the Department of Earth Sciences, Royal Holloway University of London (UK)

REFERENCIAS

Faugères, J.C. and Stow, D.A.V (2008). Contourite drifts: nature, evolution and controls in M. Rebesco, A. Camerlenghi (Eds.), *Contourites*, Elsevier: 259-288

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Preu, B., Ercilla, G., Fontán, A., Bruno, M., Serra, N., Gomiz, J.J., Brackenridge, R.E., Sierro, F.J., Stow, D.A.V., García, M., Juan, C., Sandoval, N. and Arnaiz, A. (2014). Contourite processes associated with the Mediterranean Outflow Water after its exit from the Strait of Gibraltar: Global and conceptual implications. *Geology* 42 (3): 227–230.

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Stow, D.V:A., Garcia, M., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Maestro, A., Díaz del Río, V., León, R., Medialdea, T. and Gardner, J. (2006). The contourite depositional system of the Gulf of Cádiz: A sedimentary model related to the bottom current activity of the Mediterranean outflow water and its interaction with the continental margin. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography* 53(11):1420-1463.

Mena, A., Francés, G., Pérez-Arlucea, M., Aguiar, P., Barreiro-Vázquez, J.D., Iglesias, A. and Barreiro-Lois, A. (2015). A novel sedimentological method based on CT-scanning: Use for tomographic characterization of the Galicia Interior Basin. *Sedimentary Geology* 321: 123-138.

Mena, A., Francés, G., Pérez-Arlucea, M., Hanebuth, T.J.J., Bender, V. and Nombela, M.A. (2018). Evolution of the Galicia Interior Basin over the last 60 ka: sedimentary processes and palaeoceanographic implications. *Journal of Quaternary Science* 33(5): 536-549.

Rorden, C. and Brett, M. (2000). Stereotaxic display of brain lesions. *Behavioural Neurology* 12, 191–200.

Sánchez-Leal, R.F., Bellanco, M.J., Fernández-Salaz, L.M., García-Lafuente, J., Gasser-Rubinat, M., González-Pola, C., Hernández-Molina, F.J., Pelegrí, J.L., Peliz, A., Relvas, P., Roque, D., Ruiz-Villarreal, M, Sammartino, S. and Sánchez-Garrido, J.C. (2017). The Mediterranean Overflow in the Gulf of Cadiz: A rugged journey. *Science Advances* 3: 10.1126/sciadv.aao0609.

Schönfeld, J. and Zahn, R., 2000. Late Glacial to Holocene history of the Mediterranean Outflow. Evidence from benthic foraminiferal assemblages and stable isotopes at the Portuguese margin. P*alaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*: 159: 85 - 111.

Impacto de la temperatura del fondo en la zona teórica de la estabilidad de los hidratos de gas en los márgenes continentales europeos.

Impact of bottom water temperature on the theoretical hydrate stability zone along the European continental margins.

E. Nuñez-Varela[1,2], L.F. Pérez[2], R. León[1], D.A. Martín[3], María Isabel Reguera[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid. ELENA.NVARELA@alumnos.upm.es, r.leon@igme.es, mi.reguera@igme.es
2 British Antarctic Survey (BAS), High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET UK. larrez@bas.uc.uk
3 ETSI Minas. Rios Rosas 21, 28003 Madrid. ELENA.NVARELA@alumnos.upm.es, domingoalfonso.martin@upm.es

Palabras clave: Geographic information system (GIS), Gas Hydrates, European Margins.

Resumen

Factores ambientales como la temperatura del fondo, gradiente geotérmico, batimetría y la composición de los gases hidrocarburos controlan la base del campo de estabilidad de los hidratos de gas (GHSZ). La temperatura del fondo es la variable más sensible de la que depende la potencia de la GHSZ y se encuentra principalmente controlada por la distribución de las masas de agua profundas. En este trabajo se ha realizado por primera vez un mapa de distribución de las masas de agua afectando al fondo marino de los márgenes continentales Europeos. El cálculo de la potencia del campo de estabilidad de los hidratos revela incrementos muy significativos en las termoclinas de las masas frías profundas de origen Ártico y Antártico. Por tanto, la variabilidad oceanográfica debería ser un factor esencial a considerar en la evaluación de la peligrosidad geológica submarina asociada a los hidratos de gas en el nuevo escenario europeo de cambio global.

Abstract

Environmental factors such as seafloor temperature, geothermal gradient, bathymetry and hydrocarbon gas composition influence the base of the gas hydrate stability zone (GHSZ). The seafloor temperature is the most sensible variable controlling the thickness of the GHSZ. It is highly influenced by the distribution of the bottom water masses. A map of the bottom water masses affecting the European continental margins has been fostered for the first time in this work. The calculation of the GHSZ thickness along the European continental margins taking into account the water masses distribution reveals significant increases matching with the thermocline of the cold water masses flowing from the Arctic and Antarctica. Therefore, oceanographic variability would be an essential factor to consider in order to assess the hydrate-related geohazards in Europe in a global warming scenario.

Referencias

GARAH project. GeoERA - GeoE.171.002

Paleo-Tsunami por deslizamientos submarinos en márgenes glaciares: el caso del abanico glacial de Storfjorden (SO del Archipiélago Svalbard)

Palaeo-tsunamis in glaciated margins from submarine landslides: the case of Storfjorden glacial Fan (SW of the Svalbard Archipelago)

M.T. Pedrosa-González[1], G. Ercilla[2], J. Galindo-Zaldivar[1,3], J.M González-Vida[4], S. Ortega-Acosta[4]

1 Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Av. Fuente nueva s/n, 18071 (Granada). mpedrosa@correo.ugr.es; jgalindo@ugr.es
2 Dpto. Geosciènces Marines (ICM-CSIC), 08003 (Barcelona). gemma@icm.csic.es.
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR). 18100 Armilla, (Granada). jgalindo@iact.ugr-csci.es
4 Dpto. de Matemática Aplicada, ETSII, Universidad de Málaga, 29080, (Málaga). jgv@uma.es, sergio.ortega@uma.es

Palabras clave: Márgenes continentales polares, deslizamientos submarinos, modelización de tsunamis.

Resumen

El abanico de Storfjorden está afectado por un gran deslizamiento submarino identificado en la batimetría multihaz y perfiles sísmicos de muy alta resolución. El deslizamiento de Storfjorden cubre un área de 1200 km^2 con un volumen de 40 km^3. Se ha realizado la simulación del deslizamiento mediante el modelo numérico Landslide-HySEA (González-Vida *et al.,* 2019). El análisis del deslizamiento proporciona evidencia de la presencia de dos volúmenes de sedimentos interactivos, que se desploman simultáneamente. El tsunami comprende trenes de olas de 1 m de amplitud que se dispersan hacia N-S, afectando las costas de Spitsbergen y la Isla del Oso con olas ~ 2 m. La inestabilidad sedimentaria que desencadena el tsunami podría estar relacionada con varios factores: i) las pendientes del talud (4º); ii) la rápida deposición de arcillas durante los periodos interglaciares alternados con sedimentos glaciogénicos en eventos glaciares, favoreciendo la sub-consolidación de las arcillas; y iii) la ocurrencia de terremotos (Faleide et al, 1996). Ello contribuye al estudio y evaluación del potencial tsunamigénico de deslizamientos submarinos en escenarios similares, donde los cambios ambientales debido al impacto del cambio climático pueden favorecer el desarrollo de procesos de inestabilidad sedimentaria submarina.

Abstract

The Storfjorden Trough Mouth Fan is affected by a huge submarine landslide mapped based on multibeam bathymetry and very high-resolution seismic profiles. The Storfjorden landslide covers an area of 1200 km^2 with a volume of 40 km^3. The Landslide-HySEA numerical modelling has simulated the hypothetical tsunami (Gonzalez-Vida et al., 2019). The model related landslide evidences the presence of two interacting sediment volumes, which are slumping simultaneously. Wave trains values are one meter with N-S propagation direction and run-up value ~ 2m in Spitsbergen and Bear Islands. Sedimentary instability would be related to i) the interplay between the over-steeping of the continental slope (4º), ii) the high sedimentation rates of clays during interglacial periods, which are intercalated with glaciogenic sediments deposited during the glacial periods building a stratigraphy with over-consolidated clay levels, iii) and the seismic activity (Faleide et al, 1996). It contributes to increase the knowledge and the evaluation about the potential tsunamigenic of submarine landslides in similar scenarios, where the environmental changes by impact of climatic changes may favour submarine landslide triggering.

Referencias

González-Vida, J.M., Macias, J., Castro, M.J., Sánchez-Linares, C., De la Asunción, M., Ortega-Acosta, S., Arcas, d. 2019. The Lituya Bay landslide-generate mega-tsunami numerical simulation and sensitivity analysis. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 19, 369–388.

Faleide, J.I., Solheim, A., Fiedler, A., Hjelstuen, B.O., Andersen, E.S., Vanneste, K.,1996. Late Cenozoic evolution of the western Barents Sea-Svalbard continental margin. Global and Planetary Change 12, 53–74.

¿Depósitos de flujos subacuáticos gravitacionales extra- e intracuencales como indicadores de cambios climáticos y tectónicos?. Un ejemplo de la Unidad de Beni Ider, Norte de Marruecos.

Extra- and intrabasinal subaqueous gravity flow deposits as indicators for climatic and tectonic changes? An example from the Beni Ider Unit, North-Morocco.

E.M.Peters[1] y T. McCann[1]

1 Instituto de Geociencias, Universidad de Bonn, Nussallee 8, 53115 Bonn, Germany. m6peters@uni-bonn.de y tmccann@uni-bonn.de

Palabras clave: sedimentación marina profunda, flujo extracuencal, flujo intracuencal, flujo hiperpícnico, clima.

Resumen

En muchos sistemas de drenaje recientes de todo el mundo se han registrado flujos extracuencales (flujos hiperpícnicos) e intracuencales (flujos de densidad y flujos de turbidez) y sus depósitos resultantes. Sin embargo, los antiguos flujos hiperpícnicos (causados por grandes inundaciones) y sus depósitos son raramente documentados. Para investigar la relación entre los depósitos de flujo extracuencales e intracuencales se eligió la sucesión marina-profunda de la Unidad Beni Ider (Rif). Se puede reconocer una sucesión potente con depósitos de flujos hiperpícnicos (con típicos componentes terrestres) así como de flujos hiperconcentrados, es decir de alta densidad y turbidez. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de los cambios climáticos, tectónicos y del nivel del mar en los mecanismos de formación de estos flujos. La unidad estudiada se subdivide en tres subunidades (inferior, intermedia, superior), cada una de las cuales puede interpretarse por cambios específicos en la historia climática y tectónica de la unidad depositada. Por lo tanto, la Unidad Beni Ider se considera un ejemplo excelente para demostrar la importancia de los sistemas marinos-profundos para la reconstrucción de los cambios climáticos y tectónicos.

Abstract

Extrabasinal (hyperpycnal flows) and intrabasinal flows (density flows and turbidity flows) and their resulting deposits have been recorded in many recent drainage systems around the world. However, ancient hyperpycnal flows (caused by major flood events) and their deposits are rarely documented. To investigate the relation between extra- and intrabasinal flow deposits, the deep-marine succession of the Beni Ider Unit (Rif) was chosen. A thick succession with deposits of hyperpycnal flows (comprising typical terrestrial components) as well as hyperconcentrated-, concentrated density- and surge-like turbidity flows can be recognized. The aim of this study was to determine the influence of climatic, tectonic and sea-level changes on these different flow mechanisms. The studied unit can be subdivided into three parts (lower, intermediate, upper) each of which can be interpreted as specific changes in the climatic and tectonic history of the depositional system. The Beni Ider Unit is, therefore, considered to be an excellent example for demonstrating the importance of deep-marine systems for the reconstruction of climatic and tectonic changes.

Microfacies de sedimentos oceánicos del monte submarino de Amanay, El Banquete, y Banco de la Concepción (Islas Canarias)

Microfacies of oceanic sediments from the Amanay Seamount, El Banquete, and Conception Bank (Canary Islands)

L. Quevedo[1], J. Mangas[1], I. Menéndez[1], E. Tauler[2]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC, Campus de Tafira 35017 Las Palmas de Gran Canaria. luis.quevedo101@alu.ulpgc.es

2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona.

Palabras clave: microfacies, composición, carbonatos, sedimentos, montes submarinos

Resumen

Los sedimentos superficiales del monte submarino Amanay, El Banquete, y Banco de la Concepción contienen carbonatos marinos de organismos heterótrofos de aguas templadas. El análisis de procedencia y tamaño de grano sugiere una segmentación geoespacial de microfacies. Fondos de maërl con gravas de macroides (ej.: rodolitos) de edad holocena (McMaster and Conover, 1966), con arenas de foraminíferos (ej.: *Miniacina*), briozoos incrustantes (ej.: *Celleporina*), micro-gasterópodos (ej.: *Bittium*) y serpúlidos cubren las terrazas someras de Amanay y Banquete (70-200 m prof.). Arenas medias con micro-bivalvos (ej.: *Limopsis*) y diversos bioclastos relictos abundan en el techo de Concepción (200-400 m prof.). Estas facies sumitales dejan paso a facies batiales de transición (400-1000 m prof.) por cambio composicional, transporte de ladera y grano-selección en campos de ondas sedimentarias (Rivera *et al.*, 2016). Las arenas finas polimodales dominadas por especies modernas de foraminíferos planctónicos (ej.: *G. ruber 'rosa'*) y conchas de pterópodos (ej.: *Cavolinia*) (1000-1400 m prof.) forman la antesala a los clásicos sedimentos pelágicos profundos. La descripción textural en sedimentos litificados (fondos duros) sugiere un modelo deposicional similar con excepciones ligadas a la batimetría (ej.: deslizamiento). Las huellas diagenéticas en estas calizas fosilíferas se reflejan en la bioturbación, oxidación y fosfatización de cementos. Costras de hierro y manganeso cubren la superficie de las rocas en la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO).

Abstract

Surface sediments of Amanay Seamount, El Banquete and Conception Bank are made up of marine carbonates from heterozoan organisms of temperate waters. Provenance and grain-size analyses suggest a geospatial segmentation of microfacies. Maërl beds of Holocene-aged (McMaster and Conover, 1966), gravel-sized macroids (e.g.: rhodolites) with sand-sized forams (e.g.: Miniacina), encrusting bryozoans (e.g.: Celleporina), micro-gastropods (e.g.: Bittium) and serpulids overlie the shallow terraces of Amanay and Banquete (70-200 m bsl). Medium sands of micro-bivalves (e.g.: Limopsis) and varied relict bioclasts are abundant on top of Conception Bank (200-400 m bsl). These summit facies give way to transitional bathyal facies (400-1000 m bsl) by compositional change, downslope transport and sorting at sedimentary wave fields (Rivera et al., 2016). Polymodal fine sands dominated by modern species of planktic forams (e.g.: G. ruber 'pink') and pteropod conchs (e.g.: Cavolinia) (1000-1400 m bsl) set the stage to the classic pelagic deep-sea sediments. The textural description of lithified sediments (i.e.: hardgrounds) suggests a similar depositional model with exceptions linked to bathymetry (e.g.: landslide). Diagenetic imprints in these limestones are mirrored by cement bioturbation, oxidation and phosphatization. Iron and manganese crusts cover the surface of the rocks bound within the Oxygen Minimum Zone (OMZ).

Referencias

McMaster, R.L. and Conover, J.T. (1966). *Journal of Geology*, doi: 10.1086/627198

Rivera, J., Canals, M., Lastras, G. *et al.* (2016). PLoS ONE, doi: 10.1371/journal.pone.0156337

Petrología de rocas ígneas alteradas del monte submarino de Amanay, El Banquete, y Banco de la Concepción (Islas Canarias)

Petrology of altered igneous rocks from the Amanay Seamount, El Banquete, and Conception Bank (Canary Islands)

L. Quevedo[1], J. Mangas[1], I. Menéndez[1], E. Tauler[2]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC, Campus de Tafira 35017 Las Palmas de Gran Canaria. luis.quevedo101@alu.ulpgc.es

2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona.

Palabras clave: petrografía, geoquímica, mineralogía, rocas ígneas, montes submarinos

Resumen

El monte submarino Amanay, El Banquete y el Banco de la Concepción son los tres edificios volcánicos sumergidos más próximos a las islas de Fuerteventura y Lanzarote (Ancochea y Huertas, 2003). Estudios petrográficos, mineralógicos y geoquímicos de 45 rocas volcánicas, 15 subvolcánicas, 15 volcaniclásticas y 5 volcano-sedimentarias nos ha permitido ampliar su conocimiento geológico. Los análisis de roca total y los diagramas de elementos normalizados de lavas y diabasas son coherentes con las series alcalinas de islas de intraplaca oceánica, con rocas que varían desde ultrabásicas hasta intermedias en sílice (ej.: picrita, basanita, traquibasalto). Los estudios petrográficos y los análisis con microsonda electrónica muestran variedad de texturas (ej.: lávicas, diabásicas, autoclásticas, peperíticas) y de minerales (ej.: olivino, plagioclasas, augita, diópsido, kaersutita, hornblenda, ilmenita, perovskita, titanomagnetita, cromo-espinela). La alteración se manifiesta con facies de baja temperatura submarina e hidrotermal por sustitución de las fases primarias, halos de alteración, y cristalización secuencial en fracturas y vesículas (ej.: zeolitas, sulfatos, carbonatos, oxi-hidróxidos). El olivino muestra los grados más amplios de alteración desde fresco hasta totalmente reemplazado por varias fases minerales (ej.: iddingsita, carbonatos). La palagonitización de hialoclastitas de Amanay y El Banquete, así como la incipiente meteorización y neoformación mineral en vesículas de diabasas que afloran en la cima del Banco de la Concepción, son algunas de las facies más destacables.

Abstract

Amanay Seamount, El Banquete, and Conception Bank are three closest submarine volcanic edifices to both Fuerteventura and Lanzarote islands (Ancochea and Huertas, 2003). Petrography, mineralogy, and geochemistry studies on 45 volcanic, 15 subvolcanic, 15 volcaniclastic, and 5 volcano-sedimentary rocks have made it possible to extend our geological knowledge. Whole-rock analyses and normalized element diagrams of lavas and diabases are consistent with alkaline series from oceanic intraplate islands, with rocks from ultrabasic to intermediate in silica content (e.g.: picrite, basanite, trachybasalt). Petrography and microprobe analyses show variable textures (e.g.: lavic, diabasic, autoclastic, peperitic) and minerals (e.g.: olivine, plagioclases, augite, diopside, kaersutite, hornblende, ilmenite, perovskite, titanomagnetite, chrome-spinel). Alteration is due to low-temperature, submarine and hydrothermal facies after primary phases substitution, alteration halos, and sequential crystallization in fractures and vesicles (e.g.: zeolites, sulphates, carbonates, oxy-hydroxides). Olivine shows the widest alteration grades from fresh up to fully replaced by distinct mineral phases (e.g.: iddingsite, carbonates). Palagonitization of hyaloclastites from Amanay and El Banquete, as well as the incipient meteorization and mineral neoformation within vesicles of diabases that outcrop on top of Conception Bank, are some of the most remarkable facies.

Referencias

Ancochea, E. and Huertas, M.J. (2003). *Mar. Geophys. Res*., doi: 10.1007/s11001-004-1100-7

Cartografía geológica submarina del oeste de la costa de Bizkaia

Offshore geological mapping of the western coast of Biscay

L. Rodríguez-Méndez[1], N. Vegas[1] y A. Aranguren[1]

1 Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU) 48940 Leioa lidia.rodriguez@ehu.eus, nestor.vegas@ehu.eus, aitor.aranguren@ehu.eus

Palabras clave: Geología submarina, cartografía geológica, batimetría, Sinclinorio de Bizkaia.

Resumen

Durante los últimos años, debido al desarrollo tecnológico, se ha generalizado la obtención de batimetrías de alta resolución mediante ecosondas multihaz (MBES) o LIDAR batimétrico. Estas técnicas de detección remota ofrecen datos de calidad que permiten la obtención de información geológica. En este trabajo se presenta una cartografía geológica de la plataforma continental de la provincia de Bizkaia, frente a la desembocadura de la ría del Nervión, utilizando datos batimétricos entre los 10 y los 100 m de profundidad. A pesar de que este sector está parcialmente cubierto por sedimentos cuaternarios, la cantidad y la calidad de los afloramientos rocosos es suficiente para realizar una interpretación estratigráfica y estructural de los datos. La información obtenida se ha integrado con los mapas geológicos disponibles en el continente a escala 1:25.000 y 1:100.000 (EVE, varios autores, 1991 y 1995), así como con datos de campo recogidos en la zona litoral, para elaborar un mapa geológico a escala 1:25.000.

La zona de estudio está situada en la Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC), en la terminación occidental de la cadena pirenaica, y se engloba en el denominado Arco Vasco (Feuillée y Rat, 1971). El Arco Vasco constituye la zona más deformada de la CVC y presenta una estructura compleja caracterizada por el arqueamiento de grandes pliegues y cabalgamientos vergentes al NE. Una de las estructuras más relevantes es el Sinclinorio de Bizkaia, que deforma rocas sedimentarias del Cretácico y del Paleógeno y cuya traza axial se reconoce en tierra durante más de 80 km. La interpretación de los datos batimétricos ha permitido extender las formaciones y las estructuras cartografiadas en tierra hacia el mar y se han podido reconocer estructuras nuevas. Entre otras cuestiones, la traza axial del Sinclinorio de Bizkaia se ha prolongado más de 13 km mar adentro.

Abstract

With the widespread of multibeam echosounder technology (MBES) and bathymetric LIDAR in the last decades, ship-borne multibeam bathymetric surveys have provided detailed digital terrain models. These remote sensing techniques offer high-quality data that can deliver geological information. In this work, a geological cartography of the Biscay continental shelf off the Nervion estuary, from -10 to -100 m, is presented. Although the study area is partially covered by quaternary sediments, the extensive rocky outcrops allow a structural and stratigraphic interpretation of the data. The obtained information together with the existing onshore cartography at 1:25.000 and 1:100.000 (EVE, multiple authors, 1991 & 1995) and field data from the coast have been integrated in an offshore geological map at 1:25.000 scale.

The study area is located in Basque-Cantabrian Basin (BCB), the western termination of the Pyrenean Alpine orogenic system, within the so-called Basque Arc (Feuillée y Rat, 1971). The Basque Arc is the most deformed area in the BCB and exhibits a complex structure characterized by the arched shape of a number of NE-verging folds and thrusts. The Biscay Synclinorium stands out as one of the most relevant structures; its axial trace continues for more than 80 km inland and deforms Cretaceous and Paleogene sedimentary rocks. The interpretation of the MBES data has allowed the offshore north-westwards extension of the onshore sedimentary formations and the identification of new ones. For example, the Biscay Synclinorium axial trace is recognized at seafloor for more than 13 km.

Referencias

Varios autores. (1991). Cartografía geológica de la Cuenca Vasco Cantábrica a escala 1:25.000. EVE.

Varios autores. (1995). Cartografía geológica de la Cuenca Vasco Cantábrica a escala 1:100.000. EVE.

Feuillée, P. y Rat, P. (1971). En: Histoire structurale du Golfe de Gascogne (J. Debyser, X. Le Pichon, L. Montadert, Eds.) Ed. Technip, Paris, V 1.1- V 1.48.

Caracterización geomorfológica del sistema de cañones submarinos del talud continental de Murcia (Escarpe de Mazarrón).

Geomorphological characterization of the submarine canyon system of the continental slope of Murcia (Mazarrón Escarpment).

M. Sayago-Gil[1], L.M. Fernández-Salas[1], C. López-Rodríguez[2] , J.T. Vázquez[2] y N. López-González[2]

1 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Cádiz. Puerto Pesquero, Muelle de Levante, s/n, 11006 Cádiz. miriam.sayago@ieo.es; luismi.fernandez@ieo.es

2 Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Málaga. Puerto Pesquero, s/n, 29640 Fuengirola, Málaga. carmina,lopez@ioe.es; juantomas.vazquez@ieo,es; nieves.lopez@ieo.es

Palabras clave: geomorfología, cañones submarinos, talud continental, Escarpe de Mazarrón.

Resumen

El área de estudio se localiza en el talud del margen continental de Murcia (SE Península Ibérica), en el denominado "Escarpe de Mazarrón", entre Cabo Tiñoso y Cabo de Palos. Se trata de un margen abrupto que presenta una plataforma continental estrecha y donde el talud continental se encuentra surcado por un sistema complejo de cañones submarinos. La morfología dominante de la zona está controlada por la tectónica y modificada por procesos tanto erosivos como sedimentarios (ITGE, 1990; Durán *et al.*, 2018). Este sistema de cañones se caracteriza por presentar un drenaje muy jerarquizado, donde los cañones están fuertemente encajados en el talud, presentando perfiles en "V", principalmente en el curso alto-medio, y más suaves, en forma de "U", hacia la zona más profunda. Este cambio se localiza a ~1000 m de profundidad, coincidente con un escarpe de dirección O-E, y cuya existencia está posiblemente relacionada con la presencia de fallas en la zona. Basándonos en estudios anteriores (ITGE, 1990), estas fallas se corresponderían con un alto del basamento (unidad Bética) aflorante y debido a reactivaciones posteriores, ha modificado tanto el curso como la morfología de dichos cañones submarinos. El recubrimiento sedimentario de los cañones está compuesto por fango compacto con manchas de materia orgánica. No se aprecian diferencias texturales significativas a lo largo del perfil de los cañones.

Abstract

The study area is located on the slope of the Murcia continental margin (SE Iberian Peninsula), in the so-called "Mazarrón Escarpment", between Cape Tiñoso and Cape Palos. It is an abrupt margin with a narrow continental shelf, where the slope is crossed by a complex system of submarine canyons. Morphology of the area is controlled by tectonics and modified by both erosive and sedimentary processes (ITGE, 1990; Durán et al., 2018). This system of canyons is characterized by a highly hierarchical drainage system, where the canyons strongly incised the slope, showing "V" profiles, mainly in the upper-middle course, and smoother, U-shaped, towards the deeper zone. This change is located at ~1000 m depth, coinciding with a W-E escarpment possibly related to the presence of faults. Based on previous studies (ITGE, 1990), these faults would correspond to an outcropping basement high (Betic unit) and due to later reactivations, both the course and morphology of these submarine canyons have been modified. The sedimentary cover of the canyons is mainly composed of compacted mud with spots of organic matter. There are no significant textural differences longwise the canyon profiles.

Referencias

Durán, R., Lobo, F.J., Ribó, M., García, M. y Somoza, L. (2018). *Geosciences*, 8, 168.

ITGE (1990). Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes Escala 1:200.000. Hoja nº 79-79E (Murcia). Mapas y memoria. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 148 p.

La Red Europea de Observación y Datos Marinos (EMODnet)

The European Marine Observation and Data Network (EMODnet)

J. Valencia[1], G. Ercilla[2]

1 LYRA, Engineering Consulting, 01015 Gazteiz, Spain. javi.valencia.m@gmail.com
2 Instituto de Ciencias del Mar-CSIC. Continental Margins Group-GMC. Passeig Maritim 37-49, Barcelona 08003, Spain. gemma@icm.csic.es

Palabras clave: Base de datos, geología, batimetría, costa, ingestión de datos.

Resumen

La Red Europea de Observación y Datos Marinos (EMODnet, https://www.emodnet.eu/en) está formada por más de 160 organizaciones que trabajan juntas para reunir, armonizar y hacer que los datos, productos y metadatos marinos estén más disponibles para los usuarios públicos y privados. EMODnet comprende varios portales: batimetría, biología, química, geología, física, costa, actividades humanas, e ingestión de datos. Para las investigaciones en geología marina son especialmente de gran interés los portales de batimetría, geología, costas y el de ingestión de datos. El portal de batimetría (https://www.emodnet.eu/en/bathymetry) proporciona un servicio gratuito para ver y descargar un modelo digital del fondo marino armonizado para las regiones marítimas europeas a partir de datos batimétricos, que provienen de gubernamentales y de investigación. El portal de geología (https://www.emodnet.eu/en/geology) proporciona acceso a (i) datos y metadatos geológicos en poder de varias organizaciones de geociencias en Europa, entregados de acuerdo con estándares internacionales, y (ii) productos de datos geológicos compilados en su mayoría a escalas de 1: 1.000.000, 1: 250.000 y 1: 100.000. El portal costero (https://www.emodnet.eu/en/coastal-mapping) permite a los usuarios consultar y descargar datos y metadatos de fuentes públicas y privadas de toda Europa, sobre las áreas costeras de Europa, especialmente la batimetría y la cartografía de los fondos marinos. El portal de ingestión de datos(https://www.emodnet-ingestion.eu/) tiene como objetivo captar a sectores público y privado con datos que aún no están conectados a las infraestructuras de gestión de datos marinos existentes.

Abstract

The European Marine Observation and Data Network (EMODnet, https://www.emodnet.eu/en) consists of more than 160 organisations that together work on assembling, harmonising and making marine data, products and metadata more available to public and private users. EMODnet includes several portals: bathymetry, biology, chemistry, geology, physics, coastal, human activities, and data ingestion. Bathymetry, geology and coastal portals are of great interest for research in marine geology. EMODnet Bathymetry portal (https://www.emodnet.eu/en/bathymetry) aims to provide a single access point to bathymetric products, Digital Terrain Models of the seafloor and collected by organisation from government and research scattered over Europe. The geology portal (https://www.emodnet.eu/en/geology) provides free access to (i) geological data and metadata held by various geoscience organisations in Europe, delivered in accordance with international standards, and (ii) geological data products compiled at scales of 1:1,000,000, 1:250,000 and 1:100,000. The coastal portal (https://www.emodnet.eu/en/coastal-mapping) allows users to view, consult and download data and metadata from public and private sources, throughout Europe, on the coastal areas of Europe, especially the bathymetry and cartography of the seabed. The data ingestion portal (https://www.emodnet-ingestion.eu/) aims to engage the public and private sectors with data and not yet connected to existing marine data management infrastructures.

Deformación de la superficie del fondo marino durante el Cuaternario en el Canal de Mallorca (Mediterráneo Occidental)

Seafloor deformation during the Quaternary in the Mallorca channel (Western Mediterranean)

J.T. Vázquez[1], O. Sánchez-Guillamón[1], D. Palomino[1], N. Martínez-Carreño[1], P. Bárcenas[1], M.C. Fernández-Puga[2], L.M. Fernández Salas[3], O. Tello[4], N. López González[1], M. Gómez Ballesteros[4]

1 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola. juantomas.vazquez@ieo.es; olga.sanchez@ieo.es; desiree.palomino@ieo.es; natalia.martinez@ieo.es; patricia.barcenas@ieo.es; nieves.lopez@ieo.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Univ. Cádiz. Puerto Real, 11510.
3 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, Muelle de Levante s/n, 11006 Cádiz. luismi.fernandez@ieo.es
4 Instituto Español de Oceanografía, Servicios Centrales, C/ Corazón de María 8, 28002 Madrid. olvido.tello@ieo.es; maria.gomez@ieo.es

Palabras clave: Morfología, Escarpe de falla, Anticlinales, Depresiones, Promontorio Balear

Resumen

El estudio del sector central del Promontorio Balear, entre las islas de Ibiza y Mallorca mediante datos de batimetría multihaz y perfiles de sonda paramétrica ha permitido identificar rasgos morfológicos a diferente escala, relacionados con actividad tectónica: 1- los montes submarinos de tendencia NNE-SSO Ausias March (AM) y Ses Olives (SO) al este de Ibiza y Emile Baudot sobre el escarpe de igual nombre; 2- elevaciones longitudinales de orientación NE-SO situadas al sur de la isla de Mallorca y al sur del monte SO, interpretadas como pliegues anticlinales en los perfiles de sonda paramétrica; 3- escarpes de falla normal y depresiones tectónicas de dirección NNE-SSO a N-S, localizados al NE de la elevación norte, al oeste de SO y atravesando longitudinalmente AM; 4- cadenas rectilineas de pockmarks que en ocasiones forman depresiones alargadas y se sitúan sobre fallas normales; 5- cicatrices y depósitos de deslizamientos entorno a los principales relieves. La sismicidad no es importante en el Promontorio Balear, por tanto estos tipos morfológicos de origen tectónico, o asociado, deben estar generados por deformación lenta, probablemente en relación con la movilidad de una capa salina de edad Messiniense situada en la base de la cobertera Plioceno-Cuaternaria (Acosta *et al.*, 2004).

Abstract

The study of the Balearic Promontory central sector, between Ibiza and Mallorca Islands, using multibeam bathymetry and parametric echosounder profiles has allowed to identify several morphological features at different scales related to tectonics: 1- NNE-SSW trending seamounts Ausias March (AM) and Ses Olives (SO) at the east of Ibiza and Emile Baudot on the escarpment of the same name ; 2- NE-SW ridges located to the south of Mallorca island and to the south of SO, both interpreted as folded anticlines in parametric profiles; 3- normal fault scarps and tectonic depressions with NNE-SSW to N-S trends located to the NE of the North ridge, to the W of SO and running across AM; 4- straight strings of pockmarks that in some cases develop elongated depressions and are emplaced on normal faults recognized in the parametric profiles; 5- slide scars and deposits around the main reliefs. The seismicity is not important in the Balearic Promontory. Therefore, these morphological types of tectonic origin, or associated, must be generated by slow deformation, probably related to the mobility of a Messinian salt layer located at the base of the Pliocene-Quaternary cover (Acosta et al., 2004).

Referencias

Acosta, J., Canals, M., Carbó, A., Muñoz, A., Urgeles, R., Muñoz-Martín, A. y Uchupi, E. (2004) *Marine Geology* 206, 165-179.

Concreciones de ferromanganeso en el mar Báltico: caracterización y mecanismos de formación.

Ferromanganese concretions in the Baltic Sea: characterization and forming processes.

I. Zalba[1], F.J. González[2], M.C. Fernández-Puga[1] y J. Nyberg[3]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, Campus de Puerto Real, Puerto Real, 11610, España. inigozalba@gmail.com
2 Geología Marina, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Rios Rosas 23, Madrid, 28003, Spain. fj.gonzalez@igme.es
1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, Campus de Puerto Real, Puerto Real, 11610, España. mcarmen.fernandez@uca.es
3 Geological Survey of Sweden (SGU), Villavägen 18, Uppsala, Sweden. johan.nyberg@sgu.se

Resumen: Las concreciones de ferromanganeso son depósitos de minerales polimetálicos que se distribuyen por todos los océanos. Su elevado contenido en metales estratégicos y críticos los hace atractivos desde el punto de vista económico, y se emplean en el estudio del registro paleoceanográfico. Se han analizado concreciones de 15 ubicaciones diferentes del Báltico. Los resultados obtenidos revelan tres tipos diferentes de concreciones. Tipo 1: concreciones subesféricas con diámetros de 1–2 cm que contienen principalmente óxidos de hierro (goethita) y, en menor medida, óxidos de manganeso (birnesita); Mn/Fe = 0,40, abundancias de metales traza 0,29%. Tipo 2: concreciones tabulares (1-7 cm de longitud) de superficie irregular; Mn/Fe = 0,06, contenido de metales traza 0,65%. Tipo 3: concreciones discoidales de textura rugosa con diámetros de 2-3 cm compuestos principalmente de silicatos y óxidos de hierro (goethita); Mn/Fe = 0,18 y contenido de metales traza (0,13%). Los tres grupos presentan un contenido bajo en tierras raras (REE) (<0,04%). El análisis de microsonda electrónica revela una estructura mineral compleja. Las características de las concreciones indican que la formación de estas mineralizaciones está fuertemente condicionada por los procesos diagenéticos, que, a su vez, están controlados por los periodos de estancamiento y renovación en el Báltico.

Palabras clave: Concreciones de ferromanganeso, Diagénesis, Mar Báltico, Metales críticos, GeoERA

Abstract: *Ferromanganese concretions are polymetallic ore deposits present in all the oceans of the planet. Economically they are attractive because of their composition, rich in strategic and critic metals, and also are interesting for the paleoceanographic record study. Concretions from 15 different locations within the Baltic Sea have been analyzed. The obtained results reveal three types of concretions. Type 1: subspherical concretions with diameters of 1–2 cm containing mainly iron oxides (goethite) and lesser extent manganese oxides (birnessite); Mn/Fe=0.40, trace metals abundances 0.29%. Type 2: tabular concretions (length range between 1-7 cm) with irregular surfaces and formed mainly by silicates; Mn/Fe=0.06, trace metal content 0.65%. Type 3: rough discoidal concretions with diameter between 2–3 cm composed primarily of silicates and iron oxides (goethite); Mn/Fe=0.18 and small trace metals content (0.13%). The three groups content small amounts of rare earths (REE) (<0.04%). Electron probe micro-analyzer reveals a complex mineral structure. All the characteristics of concretions suggest a high correlation between the formation of the ferromanganese concretions and the diagenetic processes, which, in turn, are controlled by stagnation and renewal periods in the Baltic sea.*

Keywords: *Ferromanganese concretions, Diagenetic growth, Baltic Sea, Critical metals, GeoERA*

INTRODUCCIÓN

Una concreción de ferromanganeso está formada por la precipitación de oxihidróxidos de hierro y manganeso (Fe-Mn) sobre un núcleo o un sustrato. Presentan tamaños desde milimétricos hasta métricos (Allaby, 2013) y morfologías muy variadas, desde tabulares a esferoidales.

El elevado contenido en metales como el Ni, Cu, Co y REE, con múltiples aplicaciones en la industria tecnológica, así como el aumento de la demanda y la escasez de los mismos, ha puesto a estos depósitos submarinos en el foco de la industria minera en los últimos años (Hein y Koschinsky, 2014). Además, el crecimiento laminar subparalelo que algunos tipos de concreciones presentan, junto con su lenta tasa de crecimiento (desde mm/año a mm/millón de años), les convierte en interesantes registros paleoceanográficos de las cuencas donde se han formado.

Características del mar Báltico

El mar Báltico es un mar salobre parcialmente aislado con una superficie aproximada de 418.500 km^2 y una profundidad promedio de 50 m. La cuenca actual del Báltico se formó tras el deshielo, hace 16.000 años, de la gruesa capa

de hielo que la cubría casi por completo durante la última glaciación. Algunas de las morfologías presentes en los fondos del Báltico están relacionadas principalmente con los procesos de erosión glacial y de la actividad neotectónica. Actualmente la cubierta sedimentaria del Cuaternario se compone de sedimentos de origen glacial y glacio-fluvial. Las zonas localizadas por encima de la picnoclina acumulan sedimentos de tamaño grano grueso, tipo arena y grava, mientras que por debajo se acumulan sedimentos finos, tipo arcilla.

El mar Báltico se caracteriza principalmente por una estratificación termohalina que se define por una haloclina permanente y una termoclina estacional. Esta estratificación de la columna de agua dificulta la renovación de las masas de agua del fondo, favoreciendo la formación de ambientes anóxicos durante largos períodos de tiempo en zonas profundas y dificultando la entrada de aguas ricas en oxígeno. Estas fases de aislamiento varían según la zona del Báltico. Pueden durar desde meses hasta años. Desde el punto de vista geoquímico, estos sistemas anóxicos están controlados por la diagénesis anaerobia y son fuente de Fe y Mn para las concreciones que crecen en estos fondos (Glasby *et al.*, 1997).

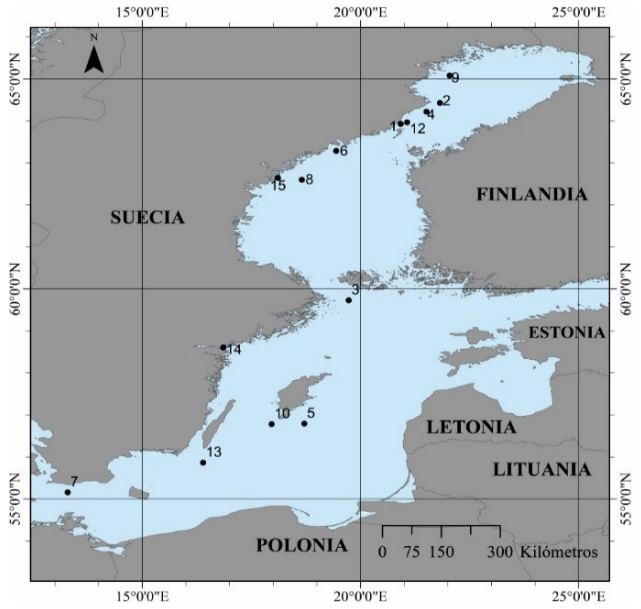


FIGURA 1. Mapa del mar Báltico. Los puntos negros indican los las zonas de muestreo de este estudio.

Muestras y técnicas de análisis

En este trabajo se han estudiado 15 muestras representativas de diferentes ubicaciones del Báltico (Fig. 1). El análisis mineralógico se ha realizado mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica (SEM y EPMA). El contenido de compuestos mayoritarios, metales traza y tierras raras se ha obtenido mediante técnicas de espectrometría (XRF, AAS y ICP-MS), pérdida por calcinación (LOI) y carbono orgánico total (TOC).

RESULTADOS

La clasificación de los tres grupos de concreciones se ha llevado a cabo empleando un criterio morfológico (características superficiales).

Clasificación morfológica, mineralogía y geoquímica

Tipo 1:Concreciones nodulares o nódulos (4 muestras)

Los nódulos (Fig. 2A) presentan una morfología redondeada y un alto grado de esfericidad Algunos de ellos son ligeramente elipsoidales. El diámetro mayor de los nódulos oscila entre 0,5 - 2,5 cm. La superficie de los nódulos presenta una gran diversidad de texturas, desde densas y lisas a granulares e irregulares. La presencia de pequeños botroides (<0,5 cm) son frecuentes. La estructura interna de estos nódulos se caracteriza por una zonación concéntrica bien definida alrededor de la zona central. Esta zonación está conformada por la alternancia de laminaciones subparalelas de color marrón y ocre de un grosor mayor de 3mm. Los análisis realizados con microsonda (EPMA) muestran que las laminaciones de color ocre se componen principalmente de óxidos de Fe mientras que las de color marrón se constituyen por óxidos de Mn y en menor medida por silicatos. Cabe destacar la ausencia de un núcleo como tal en los nódulos analizados. La zona central se compone de un material con una composición muy similar al de las laminaciones.

Los resultados de XRD muestran una composición mineralógica dominada por la goethita seguida de la birnesita. En menor medida se encuentran la buserita y minerales del grupo de los silicatos (cuarzo, feldespatos, biotita y moscovita).

La geoquímica de la muestra total indica que el componente principal es el Fe_2O_3 (32,6%), seguido del SiO_2 (23,48%) y MnO (11,54%). El contenido en carbono orgánico total (TOC) es de 1,27%. El contenido total de metales traza (fundamentalmente Ba, Mo, As) es de 2929 µg/g y de 205,37 µg/g en REE.

Tipo 2: Concreciones tabulares (8 muestras)

Las concreciones con morfología tabular (Fig. 2B) analizadas han sido mayoritariamente fragmentos que provienen de concreciones de mayor tamaño. Las piezas oscilan entre de 1-7 cm de diámetro mayor y su grosor no supera 1,5 cm. La superficie de estas concreciones presenta texturas muy diversas. Pueden ser irregulares y lisas, con abundantes poros de hasta 2 mm de diámetro. En otros casos predomina una textura rugosa e irregular. La estructura está formada por una matriz de sedimento arcilloso-arenoso consolidado de un grosor de 0,5-1 cm cementado por óxidos de Fe-Mn. Esta puede estar más o menos compactada y puede ser de colores marrón, gris u ocre.

El análisis de los difractogramas de rayos X muestra una mineralogía dominada por los silicatos, principalmente minerales del grupo de los tectosilicatos (cuarzo, feldespatos). Las concreciones también contienen goethita y en menor medida birnesita y buserita. De manera esporádica se ha identificado magnetita.

La muestra total se conforma principalmente por SiO_2 (41,78%). Mientras que el contenido en Fe_2O_3 asciende a 23,12% y el de MnO a 1,38%. El TOC es de 0,97%. El promedio de metales traza (esencialmente Ba, Zn, As) es de 6542 µg/g y el de REE de 239,54 µg/g.

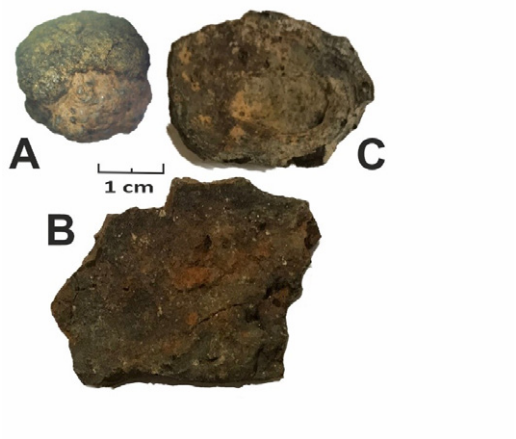


FIGURA 2. Ejemplos de las tres tipologías de concreciones del mar Báltico clasificadas en función de su morfología. A) Concreciones nodulares o nódulos. B) Concreciones tabulares. C) Concreciones discoidales.

Tipo 3: Concreciones discoidales (3 muestras)

Las concreciones discoidales (Fig. 2C) presentan una morfología ovalada con una de las caras ligeramente cóncava y la otra convexa, similar a un plato hondo. Tienen unas dimensiones aproximadas de 2 cm de ancho y entre 2 y 3 cm de largo, con un grosor inferior a 0,4 cm. Presentan un crecimiento lateral de láminas de óxidos de Fe-Mn alrededor de un clasto subredondeado, que hace las veces de núcleo. Estas concreciones tienen la particularidad de que el núcleo queda expuesto al exterior. La superficie de la concreción es ligeramente irregular con zonas más lisas en el borde de la concreción. Se observa una coloración marrón bastante homogénea en la que intercalan tonalidades anaranjadas.

La composición mineralógica es muy similar a la de las concreciones tabulares. Predominan los minerales del grupo de los silicatos como los tectosilicatos cuarzo, feldespatos y los filosilicatos. En menor medida también contienen goethita y birnesita.

La geoquímica de las concreciones discoidales se compone principalmente por SiO_2 (52,80%) y Fe_2O_3 (13,27%). El valor de MnO es de 2,41% y el del TOC 0,61%. 1351 µg/g de metales traza (principalmente Ba, Zn, V) y 177,37 µg/g de REE.

DISCUSIÓN

Modelo genético de las concreciones

Teniendo en cuenta el ratio tan bajo (0,02-0,55) en la relación Mn/Fe de las concreciones, así como los contenidos extremadamente bajos de elementos traza y de tierras raras y los resultados obtenidos en el diagrama de discriminación de REE (Bau *et al.*, 2014) (Fig. 3), todo hace indicar que la formación de las concreciones se debe a mecanismos diagenéticos de crecimiento rápido. Aunque, alguna concreción parece presentar influencia de crecimiento hidrogenético.

En el Báltico existen algunos estudios que han estimado que la tasa de acreción de las concreciones puede ser de mm/año (Glasby *et al.*, 1997).

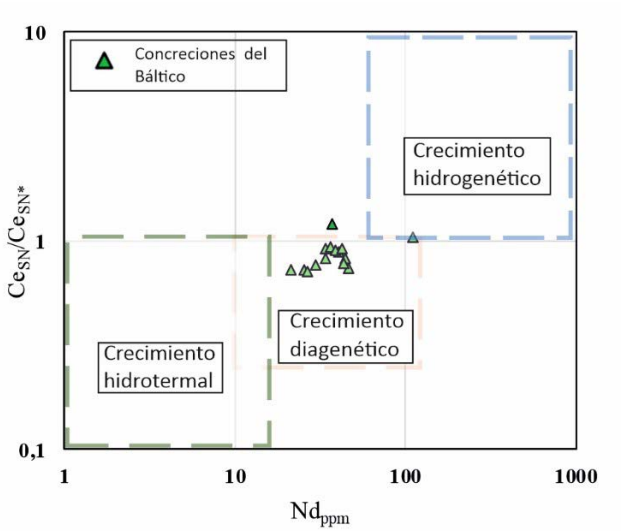


FIGURA 3. Relación entre Ce_{SN}/Ce_{SN}* y Ndppm donde Ce_{SN}=Ce normalizado a las lutitas australianas postarqueana (SN= shale normalized) y $Ce_{SN^*} = 0.5\times La_{SN}+0.5\times Pr_{SN^*}$ donde se muestra que las concreciones analizadas del mar Báltico presentan un crecimiento diagenético. Basado en Bau *et al.* (2014).

Mecanismos de formación

La formación de concreciones en el Báltico varía en función de las características del medio donde se encuentren. La profundidad a la que se encuentra el límite redox controla principalmente la génesis de las concreciones, pero otros factores como la producción primaria, la disponibilidad de elementos, la concentración de oxígeno y la tasa de sedimentación son igualmente relevantes (Ingri, 1985; Hlawatsch *et al.*, 2002). Estas condiciones o una variación de las mismas en el tiempo quedan reflejadas en la morfología y composición (Glasby *et al.*, 1997)

Los procesos de estratificación estacionales que tienen lugar en el Báltico afectan directamente en los procesos de oxidación/reducción de los óxidos de Fe-Mn (Zhamoida *et al.*, 1996), y esto se ve reflejado en un bajo ratio Mn/Fe.

Durante la época de primavera a otoño la columna de agua está fuertemente estratificada, impidiendo que las masas de agua superficiales más oxigenadas se mezclen con las del fondo, en las que dominan condiciones de anoxia. En ausencia de oxígeno se intensifica la diagénesis en los sedimentos de fondo y se genera un flujo ascendente de Fe, Mn y elementos minoritarios (ej. Zn, Cu, Co y REE)

aumentando la concentración de estos elementos en el agua intersticial y por encima del límite sedimento-agua (Glasby, 2006). Con el descenso de las temperaturas en invierno la columna de agua superficial aumenta de densidad permitiendo la mezcla con las aguas profundas y el aumento en la concentración de oxígeno. Esto permite la oxidación del hierro y el manganeso disueltos, que precipitan en forma de oxihidróxidos sobre la superficie de las concreciones dando lugar al crecimiento de las mismas (Glasby, 2006).

En el caso de las concreciones nodulares este proceso se puede apreciar en la estructura de las laminaciones que lo conforman. En los periodos de estratificación intensa la anoxia es muy fuerte en el fondo. Bajo estas condiciones la precipitación de óxidos de Mn no está favorecida dando lugar a la formación de láminas ricas en Fe, mientras que durante periodos de estratificación más débil las condiciones redox del fondo favorecen la formación de laminaciones ricas en óxidos de Mn (Zhamoida *et al.*, 1996). Por lo tanto, cada una de las láminas de color ocre indica un periodo en el que la anoxia ha sido muy intensa (ox. Fe abundantes) mientras que las de color marrón (ox. Mn abundantes) indican periodos donde la renovación de las masas de agua del fondo era más habitual (Ingri, 1985).

CONCLUSIONES

El análisis morfológico, mineralógico y geoquímico que se ha realizado sobre 15 muestras de concreciones de Fe-Mn ha permitido conocer de manera detallada sus características principales. A su vez, se ha observado que la formación de concreciones en el Báltico se rige por un crecimiento diagenético. Este mecanismo está controlado por la posición de la capa límite redox en la columna de agua, que varía en función del grado de estancamiento en el que se encuentre la cuenca. Este límite marca una frontera entre un medio óxico, donde las concreciones crecen debido a que la precipitación de óxidos está favorecida, y un medio reductor, donde las concreciones se degradan debido a la disolución de los óxidos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado en el marco del Proyecto del Programa Europeo Horizonte 2020 **GeoERA-MINDeSEA** (Grant Agreement Nº 731166, project GeoE.171.001) de los Servicios Geológicos Europeos (EuroGeoSurveys). Agradecer al **Dr. Johan Nyberg** del **Servicio Geológico** de Suecia (SGU) que ha cedido las muestras que han sido objeto de estudio de este trabajo.

REFERENCIAS

Allaby, M. (2013): *A dictionary of geology and earth sciences*. Oxford University Press, Londres, 660.

Bau, M., Schmidt, K., Koschinsky, A., Hein, J., Kuhn, T., y Usui, A. (2014): Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. *Chemical Geology,* 381: 1-9.

Glasby, G.P., Emelyanov, E. M., Zhamoida, V. A., Baturin, G.N., Leipe, T., Bahlo, R., y Bonacker, P. (1997): Environments of formation of ferromanganese concretions in the Baltic Sea: a critical review. *Geological Society of London, Special Publications*, 119: 213-237.

Glasby, G.P. (2006): Manganese: Predominant Role of Nodules and Crusts. En: *Marine Geochemistry* (H.D. Schulz y M. Zabel, eds.). Springer, Berlin, 371-427.

Hein, JR., y Koschinsky, A. (2014): Deep-Ocean Ferromanganese Crusts and Nodules. En: *Treatise on Geochemistry* (H.D. Holland y K.K. Turekian eds.). Elsevier, Amsterdam, 273-291

Hlawatsch, S., Neumann, T., Van Den Berg, C.M.G., Kersten, M., Harff, J., y Suess, E. (2002): Fast-growing, shallow-water ferro-manganese nodules from the western Baltic Sea: Origin and modes of trace element incorporation. *Marine Geology*, 182: 373-387.

Ingri, J. (1985): *Geochemistry of ferromanganese concretions and associated sediments in the Gulf of Bothnia.* Tesis doctoral, Univerisdad de Luleå, 342 p.

Zhamoida, V.A., Glasby, G.P. y Popova, I.A. (1996): Ferromanganese concretions of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Marine Georesources and Geotechnology*, 14: 161-176.

La “Meteorología Endógena”.
The “Endogenous Meteorology”.

J. Batlló

1 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya - ICGC. Parc de Montjuïc s/n, E-08038 Barcelona. Josep.batllo@icgc.cat

Palabras clave: Meteorología endógena, Sismología, España, Filipinas.

Resumen

A mediados del siglo XIX la sismología da sus primeros pasos como ciencia autónoma. En la misma época la meteorología se mostraba más avanzada ya que el telégrafo y las redes de observación continua permitieron los primeros éxitos en la previsión del tiempo.

Este éxito hizo preguntar a diferentes estudiosos si el interior de la Tierra no se comportaría de forma similar a la atmósfera y si aplicando un sistema similar al utilizado por los meteorólogos a la observación del subsuelo no podría dar los mismos resultados: un mejor conocimiento de los terremotos y, en definitiva, su previsión. Esta idea cuajó fuerte en Italia y Michelle Stefano de Rossi se convirtió en su portavoz. Publicó una extensa obra en dos volúmenes titulada “La Meteorología endógena”. El intento, voluntarioso, no tuvo el éxito que se esperaba. Y es que el estado de los conocimientos telúricos se encontraba en pañales e, incluso, no había acuerdo en qué variables eran significativas. Sin embargo, permitió avances importantes para la sismología.

En España, con fuertes relaciones con Italia las ideas de la meteorología endógena, si bien no cuajaron en muchas acciones, fueron seguidas con atención. Encontramos la obra de de Rossi en multitud de bibliotecas y seguidores españoles como Daniel de Cortázar. Además, los jesuitas catalanes en el Observatorio de Manila siguieron también estas corrientes llevándolas a oriente. Además, son autores de una de las series mundiales más largas de lo que se llamaron observaciones tromométricas.

En este trabajo presentamos una breve visión de las teorías y métodos de la Meteorología endógena y de su influencia en la Península Ibérica.

Abstract

In the middle of the 19th century, seismology took its first steps as an autonomous science. At the same time, meteorology was more advanced since the telegraph and continuous observation networks allowed the first successes in forecasting the weather.

This success made different scholars ask if the interior of the Earth would not behave in a similar way to the atmosphere and if applying a system similar to that used by meteorologists observing underground parameters could not give the same results: a better knowledge of the earthquakes and, ultimately, their forecast. This idea caught on in Italy and Michelle Stefano de Rossi became its spokesperson. She published an extensive two-volume work entitled “Endogenous Meteorology.”. The willful attempt was not as successful as expected. And it is that the state of telluric knowledge was in its infancy and, even, there was no agreement on which variables were significant. However, it allowed important advances for seismology.

In Spain, with strong relations with Italy, the ideas of endogenous meteorology, although they did not materialize in many actions, were followed closely. We find de Rossi's work in a multitude of libraries and Spanish followers such as Daniel de Cortázar. Furthermore, the Catalan Jesuits at the Manila Observatory also followed these currents, taking them to the far east. In addition, they recorded one of the longest world series of what were called tromometric observations.

In this work we present a brief vision of the theories and methods of endogenous meteorology and its influence in the Iberian Peninsula.

La visión del autor. Descubrimiento de un manuscrito del Mapa geológico de Vizcaya a escala 1: 128.000 de Carlos Collette (1848).

The autor's vision. Discovery of a manuscript of the Charles Collette's Geological map of Biscay at a scale of 1 to 128,000

E. Boixereu[1], J. Argento[2] y A. Robador[3]

1 Dirección de Investigación en Recursos Geológicos. IGME. Ríos Rosas, 23 28003 MADRID e.boixereu@igme.es
2 Departamento de Documentación. Senado. Bailén, 3 28071 MADRID argento.vidal@gmail.com
3 Dirección de Investigación y Prospectiva Geocientífica. IGME. La Calera, 1 28760 TRES CANTOS a.robador@igme.es

Palabras clave: Carlos Collette, mapa geológico, Cretácico, Vizcaya

Resumen

Recientemente, en la Biblioteca del IGME se ha encontrado un mapa geológico manuscrito de la provincia de Vizcaya a escala 1:128.000 del que hasta ahora no se tenía ninguna noticia. El mapa está firmado en el ángulo inferior izquierdo por Ch. Collette y fechado en abril de 1848. Charles Collette era un ingeniero de minas belga al que la Diputación de Vizcaya le había encargado el reconocimiento geológico del Señorío para evaluar el potencial en yacimientos de carbón del territorio. Ese mismo año, se publicaron los resultados del estudio en Bilbao en una memoria titulada "Reconocimiento Geológico del Señorío de Vizcaya", acompañada de un mapa geológico a escala 1: 278.200 y de unas tablas con la relación de las muestras litológicas recogidas en el campo (Collette, 1848).

El principal mérito del trabajo de Collette es que parte desde un conocimiento casi nulo del territorio estudiado. La monografía está impecablemente organizada, y sus argumentos bien expuestos y muy detallados. Además, se reconocen con acierto los principales grupos estratigráficos que caracterizan la geología de la provincia, aunque Collette comete varios errores (Boixereu Vila, 2016).

El objetivo del estudio era encontrar yacimientos de carbón en la provincia, sin embargo, por su constitución geológica, en Vizcaya no hay grandes depósitos de estos materiales, y así Collette lo demuestra. La principal contribución de este trabajo es la descripción y cartografía de los principales yacimientos minerales de hierro, que se sitúa correctamente en el Cretácico y que a partir de entonces habrían de ser el principal motor económico de Vizcaya.

Abstract

Recently, a manuscript of a geological map of the Biscay province, at scale 1:128,000, has been found at the IGME library. The map is signed by Ch. Collette and dated April 1848. Charles Collette was a Belgian mining engineer to which the Vizcaya Provincial Council commissioned the geological survey of the territory to assess its potential in coal deposits. The results of its study were published in a report entitled "Geological Recognition of the Señorío de Vizcaya", accompanied by a geological map at scale 1: 278,200 and tables with the relation of the lithological samples collected in the field (Collette, 1848).

The main virtue of Collette's work is that it starts from an almost null knowledge of the studied territory. In the work, the main stratigraphic groups that characterize the geology of the province are well recognized, although Collette makes some mistakes (Boixereu Vila, 2016). Whit his study Collette proves that the geological constitution of Biscay doesn't allow to the existence of coal deposits. The main contribution of this work is the description and mapping of the main iron ore deposits, which he correctly located in the Cretaceous and which thereafter would be the main economic driver of Biscay.

Referencias

Boixereu Vila, E. (2016) E*volución histórica de la cartografía geológica en España, desde sus orígenes hasta los mapas de Verneuil y Collomb (1864) y Maestre (1864)* Tesis Doctoral Universidad politécnica de Madrid. 468 pag

Collette C. (1848) *Reconocimiento Geológico del Señorío de Vizcaya*. Librería de Delmas e hijo. Bilbao.

Josep Closas i Miralles (1900-1962). Un excursionista científico en el XVII Congreso Geológico Internacional de Moscú (1937).

Josep Closas i Miralles (1900-1962). A scientific hiker at the XVII International Geological Congress in Moscow (1937)

E. Boixereu[1], C. Martín-Closas[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid e.boixereu@igme.es
2 Dept. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat Ciències de la Terra. UB. Martí i Franqués s/n. 08028 Barcelona cmartinclosas@ub.edu

Palabras clave: Josep Closas i Miralles, excursionismo científico, historia de la geología, XVII Congreso Internacional de Moscú

Resumen

Josep Closas i Miralles (1900-1962) fue un topógrafo, espeleólogo, montañero y geólogo catalán que desarrolló sus trabajos a mediados del siglo XX. Cursó estudios de ingeniería industrial y topografía en Barcelona. Su interés por la geología se despertó temprano. El joven Closas fue un socio activo de varias entidades excursionistas y naturalistas como el *Club Muntanyenc* o la *Institució Catalana d'Història Natural*, donde aprendió geología de manera casi autodidacta y por intercambio de información con un destacado grupo de excursionistas, entre los que se contaban también profesores de la universidad. Durante la Guerra Civil Española (1936-1939) trabajó en la búsqueda de yacimientos de carbón para la "Cooperativa de Fluido Eléctrico S.A." y según Irena Malakhova (com. pers.), asistió al XVII Congreso Geológico Internacional de Moscú (1937) junto con otros representantes de universidades de la República. Sin embargo en España no quedó ningún registro de su viaje. Recientemente, entre su documentación particular se ha encontrado su carnet de congresista. Puede ser que asistiera al congreso a título particular, pero que, al conocer la represión que sufrieron los otros congresistas republicanos tras finalizar la guerra civil española (1936-1939), ocultase todo rastro sobre su visita a la URSS. Durante la posguerra se dedicó profesionalmente a la geología, destacando sus trabajos de prospección de bauxitas para la empresa "La Alquimia". Closas Miralles describió varios yacimientos en el Pirineo, Cadena iIbérica, Cordillera Cantábrica y también prospectó en la Guinea Española. Fue autor de monografías y de un gran de número artículos sobre paleontología, mineralogía y yacimientos minerales, algunos de los cuales se publicaron en revistas de prestigio internacional como *Economic Geology*.

Abstract

Josep Closas i Miralles (1900-1962) was a Catalan topographer, speleologist, mountaineer and geologist who worked in the mid-twentieth century. He studied courses in industrial engineering and topography in Barcelona but he developed very soon a strong interest for geology, which he developed mainly in naturalistic and hiking societies. The young Closas was an active member of several such entities, e.g. Club Muntanyenc and Institució Catalana d'Història Natural, where he learned geology almost self-taught and by exchanging information with an outstanding group of hikers, among which were also university professors. During the Spanish Civil War (1936-1939) he searched coal deposits for the firm Cooperativa de Fluido Electrico S.A., and according to Irena Malakhova (pers. comm.), he attended the XVII International Geological Congress of Moscow (1937) together with some delegates from universities of the Spanish Republic. However this trip left no records in Spain. Recently, his congress delegate card was found among his private documents. It might be that he attended the congress individually and he tried later to hide every trace of his visit to the USSR, when he learned of the repression suffered by the other Spanish delegates after the end of the Spanish Civil War. During the postwar period he worked professionally in geology, mainly by prospecting bauxites for the firm La Alquimia. His studies on bauxites in the Iberian Chain, Pyrenees and the Cantabrian mountain range are outstanding. He also searched for bauxites in the former Spanish Guinea. He was the author of some monographs and a large number of papers on paleontology, mineralogy and mineral deposits, some of which were published in internationally renowned journals such as Economic Geology.

La piedra como lienzo: Tiziano y la pizarra

Stone as canvas: Titian and the slate

V. Cárdenes[1], A. Rubio-Ordóñez[1], V.G. Ruiz de Argandoña[1]

1 Geology Department, Oviedo University, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, Asturias, Spain.

Palabras clave: pizarra, pintura, restauración, marmolizado, Tiziano

Resumen

Tiziano Vecellio (¿1476/1490? - 1576) fue uno de los pintores más prolíficos y versátiles de la Escuela Veneciana del Renacimiento. Sus obras abarcan gran cantidad de temas (paisajes, retratos, religión…) y materiales. Tiziano vivió y desarrolló su obra principalmente en Venecia. Como retratista, adquirió un gran prestigio que le llevo a trabajar para las personas más poderosas e influyentes de la época. Siempre buscando nuevos caminos artísticos, Tiziano investigó las posibilidades que tenía la piedra como soporte pictórico. En la Península Itálica existen varios yacimientos de pizarras que se utilizan desde época prehistórica tanto en construcción como en la elaboración de objetos ornamentales (Boccardo, 1985). Los principales yacimientos se concentran en la región de Liguria (Fontanabuona). La pizarra de Liguria es de color negro-gris, con un elevado contenido en carbonato (>25%) que hace que adquiera un color blanquecino al cabo de pocos años. Sin embargo, Tiziano no estaba interesado en las propiedades constructivas de esta pizarra. Utilizando grandes placas de pizarra como lienzo, pintó varias de sus obras más representativas, entre ellas el Ecce Homo (1547) que se conserva en el Museo del Prado. El proceso por el cual Tiziano preparaba la pizarra como lienzo se ha perdido. Este proceso era fundamental, ya que aseguraba la perdurabilidad de la obra. Solo unos pocos pintores, como Sebastiano del Piombo y Leandro Bassano, llegaron también a dominar este proceso olvidado… ¿o no? En el siglo XIX y parte del XX existió una industria paralela a la industria de la pizarra para cubiertas en USA y Reino Unido, consistente en el marmolizado de pizarra (Scientific American, 1895). Al ser el mármol una roca ornamental cara, se recurría a la pizarra, más barata, para construir chimeneas y mesas. Para ello se aplicaban una serie de barnices y pinturas a los bloques de pizarra que hacían que esta se pareciese al mármol, lo que se llamaba marmolizado. Investigaciones recientes (Cárdenes *et al.*, 2018) han demostrado que esta técnica no está muy alejada del tratamiento que daba Tiziano a sus pizarras, aunque aún quedan varios puntos sin aclarar en esta investigación, donde convergen la petrología, el arte y la restauración. Esta investigación pone de relieve el papel que tiene la Geología en la vida, arte e historia de la humanidad.

Abstract

Titian Vecellio (¿1476/1490? - 1576) was one of the main painters of the Venetian School. Among his artworks there are several paints using slate as canvas. There are several slate outcrops in the Italic Peninsula, in the area of Liguria (Fontanabuona), which have been used for artistic and constructive purposes since the Prehistoric ages (Boccardo, 1985). Before the slate was able to be used as canvas, it was necessary to apply a process to prepare the surface. Not many artists knew about this process, it was kept in secret. A good example of this art is the Ecce Homo (1547), from the Prado Museum. This process is forgotten, but recent research (Cárdenes et al., 2018) has shown many similarities with the marbleized of slate (Scientific American, 1895) applied by the 19th century in USA and the UK. This is a good example of how Geology meets other disciplines, like art, history and restoration.

Referencias

Manufacture of marbleized slate mantels (1895). *Scientific American* 73, (10): 149.

Boccardo, P. (1985) Ardesia: tecnica e cultura del dipingere e scolpire in pietra. Editorial SIAG, 128 p.

Cárdenes, V. y García-Guinea, J. Determinación del soporte pictórico pétreo en obras de Tiziano, Sebastiano del Piombo y Leandro Bassano. En *In lapide Depictum. Pintura italiana sobre piedra*, 1530-1555 (A. González-Mozo, Eds.). Madrid, Museo Nacional del Prado: 52-55. (2018).

Clays, granites and continents: A "Big History" of potassium

Arcillas, granitos y continentes. Una "Gran Historia" del potasio

Antonio Castro[1] y Olga García Moreno[2]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT). Consejo Superior de Investigaciones Científicas- Universidad de Granada (CSIC-UGR). Armilla, Granada, España. antonio.castro@csic.es

2 Departamento de Geología. Universidad de Oviedo – CINN (CSIC-PA-UO). Jesús Arias de Velasco s/n. Oviedo. España

Palabras clave: Granitos, batolitos, corteza continental, arcillas, reciclaje cortical

Resumen

Los continentes son un rasgo característico de la Tierra, no sólo por la existencia de océanos sobre los que emergen en su mayor parte, sino por la composición de las rocas que los forman. Aparte de la composición, los continentes contienen las rocas más antiguas de la Tierra. En las rocas de los continentes está escrita la mayor parte de la historia de nuestro planeta y descifrar los mensajes de las rocas es la labor esencial de los geólogos. Conocer el origen de los continentes, los mecanismos de formación de nuevas masas continentales y la evolución en el tiempo son piezas clave para entender mejor la Tierra, sus recursos y los riesgos de los fenómenos naturales. En este trabajo me voy a centrar en un elemento que ha sido clave en la evolución de los continentes: El potasio. La composición de los continentes cambió drásticamente al final del Arcaico, aproximadamente 2.500 millones de años atrás; un cambio marcado por la composición de las rocas y por la aparición de grandes masas de rocas ígneas ricas en K. Los cambios observados llevan necesariamente a establecer una conexión entre los procesos externos de meteorización, la composición de la mezcla de gases en la atmósfera, relacionados a su vez con la actividad biológica y la génesis de magmas. Un complejo sistema que puede ser trazado por el comportamiento particular del K en los procesos implicados a lo largo de la historia geológica.

Abstract

Continents are a characteristic feature of the Planet Earth, not only because the existence of oceans over which they emerge, but because the composition of the rocks that form the continental masses. In spite of the particular and intriguing composition, continents contain the oldest rocks of the Earth, and written in rocks is most of the history of the Planet. To decipher the messages of rocks is the essential job of geologists. To know the origin of continents, the mechanisms of formation of new continental masses and their evolution along the geological time, are keystones to better understanding the Earth, the resources and natural hazards. In this work I will focus the attention in an element that has been key in the evolution of continents: Potassium. The composition of the continents has changed drastically at the end of the Archaean period, approximately 2.500 million years ago; a change marked by the composition of the rocks and by the appearance of large masses of igneous rocks rich in K: the granites. The observed changes necessarily lead to establish a connection between external weathering processes, the composition of the gas mixture in the atmosphere, at the same time related with biological activity and the genesis of magmas. A complex system that can be traced by the particular behavior of K in the processes involved throughout geological history.

Integración de los datos históricos y geológicos en el estudio de minería vasca: el caso de Mina Primitiva (Bizkaia)

Integration of historical and geological data in the study of Basque mining: the case of Primitiva Mine (Bizkaia)

I. Esteban-Arispe[1,2,3], J. M. Esteban-Arispe[2,3,4], P. P. Gil-Crespo[1]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Campus de Bizkaia, Barrio Sarriena s/n, C.P. 48940, Leioa (Bizkaia). E-mail: inaki_esteban@hotmail.com
2 Asociación Vasca de Mineralogía y Paleontología Harridunak. C/Zurbarán 1, lonja 8. C.P. 48007, Bilbao (Bizkaia)
3 Museo de la Minería del País Vasco. Barrio Campodiego s/n, C.P. 48500, Gallarta (Abanto-Zierbena, Bizkaia)
4 Ente Vasco de la Energía (EVE). Alameda de Urquijo 36, 1ª Planta. C.P. 48011, Bilbao (Bizkaia)

Resumen: Se ha puesto en marcha el trabajo de un grupo multidisciplinar cuyo objetivo es analizar y estudiar la abundante información bibliográfica de la minería vasca, focalizándose inicialmente en el histórico distrito minero de Bilbao. Este estudio abarca desde los conocimientos geológicos en diferentes épocas hasta la propia historia y evolución minera en dicha zona, incluyendo los progresos tecnológicos implementados en su exploración, explotación, procesado de mineral y transporte. Dicha información se complementará con trabajo de campo, incluyendo estudios actualizados y modernos de las mineralizaciones. Como punto de partida se ha tomado el caso de Mina Primitiva, concesión minera de tamaño pequeño-medio situado en el término municipal de Bilbao (Bizkaia), al W de su casco urbano. El estudio en profundidad de dicha mina ha revelado un mayor tamaño e importancia de lo establecido anteriormente. Se presenta un resumen de los resultados más relevantes y significativos obtenidos en dicho estudio, cuyo objetivo final es divulgar la geología e historia minera de esta explotación.

Palabras clave: Minería del País Vasco, Distrito Minero de Bilbao, Mina Primitiva, yacimientos de hierro, minería histórica.

Abstract: *A multidisciplinary group has been launched for the analyze and study of the abundant bibliographic information of basque mining, firstly centered in the historic mining district of Bilbao. This study covers from geological knowledge to the history and mining evolution in that area, including the technological progress implemented in its exploration, exploitation, processing of minerals and transportation. This information will be complemented by field work, including updated and modern studies of mineralizations. As a starting point, the case of Mina Primitiva, a small-medium-sized mining concession located in the municipality of Bilbao (Biscay), at the W of its urban area, has been taken. The deep study of mentioned mine has revealed a greater size and importance than previously established. A summary of the most relevant and significant results obtained in this study, whose final objective is the dissemination of geology and mining history of this mine.*

Keywords: *Mining of Basque Country, Bilbao Mining District, Primitiva Mine, iron mineral deposits, historic mining*

INTRODUCCIÓN

La minería en el País Vasco, y en especial en Bizkaia, ha sido históricamente importante, de especial relevancia en su posterior devenir industrial y económico. Su minería, que se remonta al menos a época romana, ha mostrado un continuado desarrollo hasta finales del siglo XX, donde diversas crisis económicas y el agotamiento de las principales reservas minerales provocó su cierre, marcando su final el cierre de su última gran mina de hierro (Mina Bodovalle) en 1993.

Se han realizado diferentes estudios para dilucidar la génesis y evolución de las mineralizaciones en esta región (Herrero, 1989; Gil-Crespo, 2014, y otros); desde el punto de vista histórico, se ha abordado frecuentemente el impacto socioeconómico de la minería en esta región (Montero, 1995). Sin embargo, a escala de cada depósito no se ha abordado ni su historia, ni su evolución minero-tecnológica. Este trabajo se inscribe en un esfuerzo para realizar una investigación en dicho sentido, centrándonos como primer objetivo en la concesión minera denominada Mina Primitiva.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La Mina Primitiva se encuentra en el flanco Norte del Anticlinorio de Bilbao, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica, cuenca sedimentaria mesozoica plegada y levantada durante el orógeno alpino.

Los materiales que afloran en la zona son calizas, lutitas, areniscas y margas de edad Aptiense-Albiense (125-110 Ma). El plegamiento alpino genera que estos materiales muestren una deformación importante (estructura Sinforme de Arraiz), así como una importante fracturación. En este último caso, la representante más importante es la Falla Primitiva (Esteban-Arispe, 2005), de tipo de desgarre dextro y orientación que oscila de N110ºE a N130ºE y un

buzamiento que va de 50 a 80º, frecuentemente trastocada por fallas menores de dirección N050ºE.

MINERALIZACIONES

Se distinguen tres tipos de mineralizaciones: masiva, filoniana y la mineralización de óxidos que se sobreimpone a los dos anteriores.

Mineralización masiva

Se identifican dos grandes zonas de mineralización masiva, que consisten en dos masas (masa SW y masa NE) de carbonatos de hierro emplazadas en las calizas aptienses (Fig. 1). Ambas masas de siderita-ankerita están limitadas por la mineralización filoniana o por un tránsito, hacia las calizas, que puede ser gradual o neto (marcado por estilolitos con materia orgánica, pirita, cuarzo y filosilicatos).

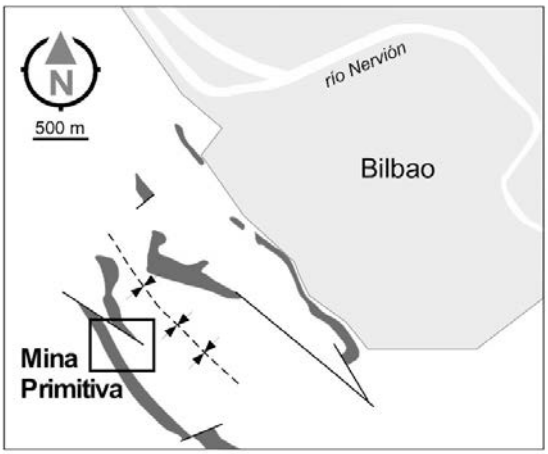


FIGURA 1. Mapa de situación de la Mina Primitiva respecto al casco urbano de Bilbao (gris claro), con la posición en superficie de las calizas aptienses donde encajan las mineralizaciones (gris oscuro). Modificado de Eusko Jaurlaritza / Gobierno Vasco. geoEuskadi.

Mineralización filoniana

Tanto la ya mencionada Falla Primitiva, como algunas fallas menores asociadas, muestran mineralogía diferente a la observada en las mineralizaciones masivas. En el caso de la Falla Primitiva, ésta muestra un relleno que oscila de 2 hasta 5 metros, con un claro zonado mineral (con fases tales como siderita, pirita, calcopirita, cuarzo) y estructural, que pone de relieve su funcionamiento prolongado, definido por texturas brechificadas (Fig. 2). Por su parte, los filones menores son fracturas de dirección N090ºE y N020ºE, subverticales y con un relleno que nunca supera el medio metro de potencia; su mineralogía varía de un filón a otro, siendo las fases presentes siderita, ankerita, calcita, cuarzo, pirita y calcopirita.

Mineralización de alteración secundaria

En zonas superficiales de las mencionadas mineralizaciones se ha desarrollado alteración supergénica, en forma de un importante nivel métrico de óxidos. En todo caso predominan fases secundarias de hierro, tales como goethita y hematites, y mezclas en proporciones variables de los mismos (*limonita*). No obstante, en las mineralizaciones filonianas, y debido a la presencia de la calcopirita, su alteración ha dado lugar a otro tipo de fases, como cobre nativo, cuprita, delafossita, malaquita y azurita (Esteban et al., 2006). Se debe señalar que la citada masa de óxidos-hidróxidos, por tratarse del principal objetivo explotable de la mina en sus primeras fases, ha desaparecido casi en su totalidad. Sólo se conservan pequeños tramos que no resultaron económicamente de interés.



FIGURA 2. Aspecto general de la mineralización filoniana de Falla Primitiva (Fotografía de Ana Álvaro).

HISTORIA MINERA

Si bien diversos escritos del siglo XIX y XX ponen en relieve que su explotación no ocurrió hasta época reciente, debido a la escasez de mineral apto para tratar mediante procesos metalúrgicos preindustriales (ferrerías), la realización del presente estudio ha podido constatar que la actividad minera se remonta al menos hasta el siglo XV, continuándose su explotación hasta finales del siglo XVII. Dicha explotación remarcaría la existencia de cantidades significativas de mineral que pudiera ser tratado en ferrerías cercanas. Su importancia se constata por el hecho de que durante el siglo XVI dichas minas pertenecieron a la familia Recalde, de gran importancia e influencia en Bizkaia en dicho periodo. Entre los miembros de esta familia destaca el prominente Almirante Juan Martínez de Recalde y Larrinaga, el cual vendió los terrenos de estas minas a la villa de Bilbao en 1585 (BFAH/AHFB BILBAO ANTIGUA 0054/001/007, 1585). Si bien la explotación contenporánea ha borrado cualquier rastro de aquella época, manuscritos de los siglos XVI-XIX evidencian que la *vena* (hematites de gran pureza y baja dureza), se agotó rápidamente en superficie, y pasó a ser explotada mediante un sistema rudimentario de galería de interior.

Sin noticias de su explotación durante el siglo XVIII, la zona donde se enclava esta mina es conocida en el siglo XIX por su riqueza en *limonita*, que era explotada exclusivamente para su exportación a Inglaterra y su uso en los altos hornos de aquella época (DGAIC, 1866). En 1859, algunas minas de esta zona (“minas de Castrejana”) son

vendidas por la familia Ibarra (BFAH/AHFB YBARRA 2037/002, 1859).

Pero no es hasta finales de la década de los 60 del siglo XIX (1868) cuando comienza la explotación contemporánea. La concesión Primitiva es denunciada por Ignacio de Ubieta, que la obtiene oficialmente en 1870 (Euskal Autonomia Erkidegoko Herri Administrazioaren Artxibo Nagusia/Archivo General de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Euskadi, INRMB-00007, ELKAG-DE-C166-B3, 1870). Dicha concesión es vendida en 1872 por Ignacio de Ubieta y su socio José Gutiérrez Vallejo a los británicos Trevor Berkley y Charles Liddell.



FIGURA 3. Aspecto del tranvía aéreo en funcionamiento (finales del siglo XIX) (Bilboko Udal Artxiboa-Archivo Municipal de Bilbao. Fondo Ayuntamiento de Bilbao. Autor desconocido).

Berkley (hombre de negocios de minas de carbón y ferrocarriles) y Liddell (ingeniero y dueño de compañías de construcción de ferrocarril) vendieron rápidamente la concesión a la empresa Landore Siemens Steel Co. Ltd., que el propio Berkley fundó junto con Sir William Siemens, conocido industrial, uno de los creadores del convertidor Siemens-Martin y perteneciente a la familia que creó la compañía Siemens en Alemania. La compra de esta mina se circunscribe en la política de asegurar el suministro de mineral de hierro al complejo siderúrgico que poseía dicha empresa en Gales.

La minería en esta época se desarrolla mediante explotación a cielo abierto ("canteras"), con arranque del mineral a mano y mediante dinamita, realizándose el transporte mediante carros de bueyes hasta embarcaderos donde se cargaban los barcos para Gran Bretaña. No obstante, el transporte mediante carros limitaba la cantidad a desplazar y encarecía la producción. Por ello, en 1881 se construyó un tranvía aéreo (Fig. 3) que facilitó y abarató el transporte del mineral, llegando a acarrear más de 50.000 toneladas de mineral en 1892. Dicho tranvía transportaba el mineral hasta un cargadero en la orilla izquierda de la ría de Bilbao (zona de Zorroza), donde se embarcaba.

Tras la muerte de Sir William Siemens en 1883, la compañía continuó con su actividad, pero fue deteriorándose su funcionamiento hasta su desaparición. Durante este proceso de decadencia la mina pasó a mediados de los años 90 del siglo XIX a manos del Coronel Sir John Roper Wright, de Isaac Butler y de Roger Beck. Se incorporaba así a su empresa Wright, Butler and Co., que la mantuvo hasta 1903, cuando pasó a manos de los inversores Edward Ascherson y al miembro del parlamento británico John Wilson. La titularidad de la mina vuelve a ser española cuando en 1908, a la muerte de Ascherson, la mina es vendida a José Mac Lennan (BBVA ARCHIVO HISTÓRICO Mac Lennan L-10/C-256, 1909), incorporándose a su conglomerado minero como Coto Minero Primitiva.

En el aspecto puramente minero, a finales del siglo XIX (1899) el comienzo del agotamiento de los óxidos (principalmente *limonita*) hace que construya un primer horno de calcinación de carbonato de hierro para poder beneficiar también la siderita, la cual se comienza a explotar en subterráneo mediante el método de "cámaras y pilares" en la masa SW, a lo largo del denominado frente Collantes. Para facilitar su explotación, se construye un desagüe que permite drenar las labores mineras subterráneas sin peligro de inundación. La explotación de siderita va aumentando a medida que va agotándose la *limonita*, llegando a construirse hasta 4 hornos de calcinación para 1918. Su producción sigue transportándose por el tranvía aéreo, que sufre



FIGURA 4. Aspecto general del cargadero de mineral de Mina Primitiva en Zorroza a mediados del siglo XX (Bilboko Udal Artxiboa-Archivo Municipal de Bilbao. Fondo Ayuntamiento de Bilbao. Autor desconocido).

diversas modificaciones y mejoras, y embarcándose en el ya citado cargadero a orillas de la Ría de Bilbao. En 1937 se accede a explotar a la masa NE, a través de una galería perpendicular a las dos masas, creando lo que se denomina como frente Teruel.



FIGURA 5. Imagen del tambor en la cabecera del plano inclinado de acceso a las labores subterráneas de Mina Primitiva (Fotografía de Miguel Ángel Cantero).

En 1949 la mina es vendida a Cementos Lemona, que realiza una explotación mixta: en superficie, caliza para áridos y cementos; en profundidad, continúa con la explotación de la siderita, que calcina en los hornos y transporta por el tranvía aéreo hasta el cargadero de mineral (Fig. 4). Sin embargo, esta estrategia se trunca en 1968, con el proyecto de construcción de la autopista de circunvalación de Bilbao (Solución Sur), que provoca la supresión del tranvía aéreo. La falta de alternativas viables que hagan económicamente rentable la explotación a gran escala de hierro y cemento provoca el cierre de la mina de hierro (oficialmente cerrada en 1974) y la dedicación a la larga de la concesión para la producción de árido calizo, hasta su cierre definitivo en 2003. La concesión se da por caducada en 2009, tras más de 140 años de funcionamiento continuado.

RESTAURACIÓN Y ACTUALIDAD: PATRIMONIO HISTÓRICO-MINERO

A principios del siglo XXI se estudia la posibilidad de instalar una planta de procesado e incineración de residuos sólidos urbanos (Zabalgarbi). Así, se elige la plaza de la cantera de áridos de Mina Primitiva. Este proceso implica derribar gran parte de las antiguas instalaciones mineras y recuperar las cortas mineras. No obstante, se conservan restos del pasado minero, los cuales se incluyeron en 2012 dentro del conjunto monumental del Camino de Santiago. Entre ellos se encuentran 2 de los 4 hornos de calcinación, conservados dentro de las instalaciones de Zabalgarbi. Al sur, y fuera de las instalaciones, se encuentra el resto del conjunto patrimonial, compuesto por las labores mineras subterráneas, el plano inclinado de acceso a las mismas y el tambor del cabrestante del mismo (Fig. 5). En Zorroza, aún se conservan los restos del cargadero de mineral, en forma de una plataforma alargada con una plataforma de hormigón a cada lado de la anterior, destinada al amarre de los barcos, teniendo el conjunto una característica forma en "T".

La reciente construcción de un túnel para la Variante Sur Metropolitana de Bilbao a varias decenas de metros por debajo de las antiguas labores mineras ha mostrado la presencia de mineralizaciones en profundidad. Ello implica la existencia de un yacimiento de grandes dimensiones que fue explotado intensamente para hierro a lo largo de 100 años, del que aún quedaría un porcentaje significativo, aunque no rentable.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración de las instituciones que nos han permitido acceder a información: Archivo Municipal de Bilbao, Archivo Histórico Foral de Bizkaia (BFAH/AHFB), Archivo General del País Vasco (EAE-HAAN/AGAP-CAE) y el Archivo Histórico del BBVA.

REFERENCIAS

Euskal Autonomia Erkidegoko Herri Administrazioaren Artxibo Nagusia/Archivo General de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Euskadi, INRMB-00007, ELKAG-DE-C166-B3 (1870). Inscripción en el registro minero de Bizkaia de la explotación de Hierro nº 000172 denominada PRIMITIVA.

BBVA ARCHIVO HISTÓRICO Mac Lennan L-10/C-256 (1909). Escritura de venta y cesión de la Mina "Primitiva" a favor del Señor Don Jose MacLennan y White autorizada por Don Alfredo Donnison.

BFAH/AHFB BILBAO ANTIGUA 0054/001/007 (1585). Carta de pago de Juan Martínez de Recalde a favor de la Villa de Bilbao, 6 p.

BFAH/AHFB YBARRA 2037/002 (1859). Nota relativa a la escritura de venta y sociedad comanditaria sobre tres minas de Castrejana, 4 p.

DGAIC (1868). Estadística Minera correspondiente al año de 1866. 92 pp. + 8 pp. de tablas estadísticas.

Esteban, I., Gil, P.P. y Velasco, F. (2006). Macla 6, 183-185.

Esteban-Arispe (2005). Los minerales de cobre de Mina Primitiva. Tesis de Licenciatura, Universidad del País Vasco, 118 p.

Gil-Crespo, P.P. (1991). Introducción a la geología y mineralogía de los yacimientos de hierro de Bilbao. En: Historia del Hierro en Bizkaia y su entorno. Eds.: Orue-Etxebarria-Urkitza, X., Apellaniz-Ingunza, E., Gil-Crespo, P. P. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 19-52.

Herrero, J.M. (1989). Las mineralizaciones de Zn, Pb, F del sector occidental de Vizcaya: mineralogía, geoquímica y metalogenia. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 285 p.

Montero, M. (1995). La California del hierro: Las minas y la modernización económica y social de Vizcaya. Ediciones Beta III Milenio, Bilbao.

Métodos prospectivos de oro en época romana, ¿usaban mercurio para su beneficio?

Gold-ore prospection in Roman times, did they use mercury for its extraction?

J. Fernandez-Lozano[1], A.N. Nnandong[2], S. Rivera[2], J.M. Esbrí[2], R. Carrasco[3], J. Pedraza[4] y P. Higueras[2]

1 Área de Prospección e Investigación Minera. Dpto. Ingeniería Minera, Topografía y Estructuras. ESTI de Minas. Universidad de León. Campus de Vegazana s/n, 24071, León. jferl@unileon.es
2 Instituto de Geología Aplicada, Univerrsidad de Castilla-La Mancha, 13400 Almadén (Ciudad Real) pablo.higueras@uclm.es, josemaria.esbri@uclm.es
3 Dpto. Ingeniería Geológica y Minera. Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Carlos III s/n, 45071, Toledo. rosa.carrasco@uclm.es
4 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis 12, 28040, Madrid. javierp@geo.ucm.es

Palabras clave: Mercurio, Yacimientos Oro, Minería Romana, Geoarqueología, Provincia León.

Resumen

Una de las mayores incógnitas en el estudio geoarqueológico de la minería aurífera romana se refiere al empleo de la amalgama con mercurio para su extracción en yacimientos tipo placer, donde el oro libre se concentra formando pequeñas partículas o pepitas extraídas directamente del sedimento aurífero mediante la fuerza hidráulica. A pesar de que el uso y propiedades del mercurio eran conocidas en época romana, son escasos los estudios realizados que permitan establecer las condiciones en las que su empleo estaba justificado en la recuperación y beneficio del oro procedente de yacimientos secundarios (Sánchez-Palencia y García, 2014). En este trabajo se ha realizado un estudio geoquímico de Hg para establecer cuáles eran los métodos de recuperación relacionados con este tipo de explotaciones. Para ello, se han seleccionado dos sectores mineros con características semejantes, donde su uso estaría justificado en los tramos de canal donde se realizaría la extracción (agogae). Los resultados indican que las anomalías observadas estarían ligadas al acopio para su posterior uso, ya que se concentran en los tramos inferiores de las mismas. Esto confirma el uso de mercurio para el beneficio aurífero en yacimientos de tipo placer, arrojando luz sobre los métodos de recuperación empleados en época romana.

Abstract

The use of mercury (Hg) for the extraction of gold from placer-type deposits by amalgamation, where free-gold is found in the sediments as a result of the hydraulic force, represents the cornerstone of Roman archaeology. Although there exist evidences for the use of mercury during this historical period, few studies have been carried out to establish the conditions under which its use was justified in the recovery and benefit of gold from secondary deposits. In this work, a geochemical study of mercury was performed to establish the mechanism of gold recovery in relation to this type of exploitations. For this purpose, two mining sectors with similar characteristics have been selected, where the use of Hg would be justified across the washing sector of the mines (agogae channel). The results indicate that the anomalies observed would be linked to the collection of Hg for subsequent use, since a high concentration is revealed in the lower sectors of the exploitation. This confirms the use of mercury for gold mining in gold-bearing placer deposits, shedding light on the recovery methods used in Roman times.

Referencias

Sánchez-Palencia, F.J. y García, A. (2014). En: *Minería romana en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal* (Sánchez-Palencia, Ed.). Consejería de Cultura y Turismo, Junta de Castilla y León, España, 231-242.

Big History en la enseñanza secundaria. Una visión desde el campo de la Geología y sus alrededores.

Big History in Secundary education. An outlook from geosciences and beyond.

J. Fernández Ruiz[1] y O. García Moreno[2,3]

1 IES Llanera. C/ Rio Carrión 21, 33424, Posada de Llanera (Asturias) javierfruiz@gmail.com
2 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005, Oviedo (Asturias) garciaolga@uniovi.es
3 Centro de Investigación en Nanomateriales y Nanotecnología, UO-CSIC-PA. Av. la Vega, 4, 6, 33940 El Entrego (Asturias)

Palabras clave: Gran Historia, Big History, interdisciplinar, secundaria.

Resumen

Big history es un método de aproximación al conocimiento de carácter interdisciplinar e integral que combina variadas disciplinas, de lo que llamamos tradicionalmente ciencias y humanidades, en busca de una visión del mundo integradora y global. Metodológicamente cuatro son los regímenes en los que se divide su campo de estudio: el universo, la Tierra, la vida y la humanidad, encajando a los seres humanos en un universo y en un planeta cambiante para tratar de comprender los sucesos y fenómenos que observamos actualmente. Originalmente diseñado en los 90 del siglo pasado como curso universitario en la Macquarie University de Sídney por el historiador David Christian, posteriormente se han ido sumando al proyecto y han aportado apoyos y doctrina profesores como Walter Álvarez (Universidad de California, Berkeley) o Fred Spier (Universidad de Amsterdam). Actualmente, *Big history* ha ampliado su radio de acción a la enseñanza secundaria en diversos de países, entre ellos España. Aquí es en Asturias donde desde hace 2 años son varios los IES que de una u otra manera utilizan *Big history* en sus programaciones. En el caso del IES de Llanera se acude a las denominadas "*pequeñas grandes historias*". Estas historias como manera de acercarse a la *Big History* fueron definidas por Esther Quaedackers (Universidad de Amsterdam) y en ellas se escoge un concepto, lugar u objeto como hilo conductor para adentrarse en, al menos, dos de los regímenes de la *Big history.* En el caso que se presenta en este trabajo se ha adoptado esta manera de abordar la evolución cósmica para realizar un aprendizaje basado en proyectos (ABP) que incluye geología, biología, ecología, francés, geografía, alemán, educación plástica y visual y educación física, en 3º y 4º de ESO y 1º de bachillerato. Se muestra en este trabajo el planteamiento de las experiencias llevadas a cabo en este centro y la producción de los alumnos.

Abstract

Big history is an interdisciplinary and integral approach that combines various disciplines, of what we traditionally call sciences and humanities, in search of an integrative and global worldview. Methodologically, there are four regimes in which the field of study is divided: universe, Earth, life and humanity, in which human beings fit into a changing universe and planet, trying to understand the events and phenomena we presently observe. Originally designed by historian David Christian in the 90s of the last century as a university course at the Macquarie University of Sydney, other academics have subsequently joined the project and have provided support and doctrine, such as Walter Álvarez (University of California, Berkeley) or Fred Spier (University of Amsterdam). Currently, Big history has expanded its range of action to secondary education in various countries, including Spain. Here it is in Asturias where, for two years, there are several secondary schools that in one way or another use Big history in their curricula. In the case of the IES Llanera school, the so-called "little big history" approach is used. This approach to Big History was defined by Esther Quaedackers (University of Amsterdam): a concept, place or object is chosen as a thread to get into at least two of the four regimes of Big history. In the case presented in this paper, this way of approaching cosmic evolution has been adopted to carry out project-based learning that includes geology, biology, ecology, French, geography, German, visual and plastic education and physical education for 3rd and 4th year secondary students and 1st year high school ones. This paper shows the method and experiences carried out in this school and some papers produced by students.

Rocas y fósiles de la Comisión del Mapa Geológico de España en las Colecciones Reales del Patrimonio Nacional

Rocks and fossils of the Commission for the Geological Map of Spain in the Royal National Heritage Collections

R.P. Lozano, I. Rábano y M.J. Torres-Matilla

Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. r.lozano@igme.es

Palabras clave: colección, cinabrio, etiquetas Alfonso XIII, Historia de la Geología.

Resumen

La colección de rocas y fósiles que la Comisión del Mapa Geológico de España entregó en 1902 a Alfonso XIII forma parte de las Colecciones Reales del Patrimonio Nacional y se conserva en el Palacio Real de Madrid. Presenta un claro carácter didáctico, ya que incluye la información necesaria para el aprendizaje del Rey, que tenía 17 años en esos momentos. La colección está compuesta por 198 rocas y 110 fósiles, todos recolectados en territorio español y ubicados en una vitrina de madera. Cada ejemplar tiene una etiqueta adherida y otra anexa. La colección de rocas está incompleta (198 ejemplares de al menos 203). La etiqueta anexa de cada muestra no tiene estadillos para rellenar; toda la información está mecanografiada y es la misma de las etiquetas de la colección didáctica de rocas de Zaragoza (Lozano y Rábano, 2004). Este tipo de etiquetas adheridas no se ha reconocido previamente en las muestras históricas del Museo Geominero. En esta vitrina se conservan también cinco ejemplares en bruto de cinabrio y un magnífico ejemplar labrado en forma de corona real sobre un bastón de mando, ambos apoyados sobre un almohadón de forma rectangular. Estos ejemplares no fueron remitidos por la Comisión, sino que, probablemente, fueron regalados a Alfonso XIII en 1929 durante la celebración de la Exposición Internacional en Barcelona. La colección de fósiles consta de 110 muestras y está completa. El tipo de etiquetas adheridas ya había sido catalogado previamente (tipo 18) en la colección histórica de fósiles de Barcelona conservada en el Museo Geominero (Lozano *et al*., 2005). Las etiquetas anexas de la Comisión no contienen estadillos para rellenar con la información de cada fósil. No se han encontrado estas etiquetas en las catalogaciones previas de colecciones paleontológicas de la Comisión, pero sí en las colecciones de fósiles históricos que restan aún por estudiar en el Museo Geominero.

Abstract

The geological collection that the Commission for the Geological Map of Spain delivered in 1902 to the young King Alfonso XIII is preserved in the Royal National Heritage Collections. It consists of 198 rocks and 110 fossils, all collected in Spanish territory. Each specimen has a sticked label and an attached label. The rock collection is incomplete (198 samples of at least 203). Each attached label does not contain statuses to fill in: all the information is typed and is the same as the labels of Zaragoza didactic rocks collection (Lozano and Rábano, 2004). This type of sticked labels has not been previously recognized in the historical samples of the Geominero Museum. Also, five raw specimens of cinnabar and one magnificent cinnabar specimen carved in the shape of a royal Crown on a baton, both supported on a rectangular cushion, are also preserved. These samples were not sent by the Commission but, probably, were offered to the King Alfonso XIII in 1929, during the celebration of the International Exhibition in Barcelona. The fossil collection consists of 110 samples and is complete. The type of sticked labels had previously been cataloged (type 18) in the historical fossil collection of Barcelona of the Geominero Museum (Lozano et al., 2005). The attached labels of the Commission do not contain statuses to fill with the information of each fossil. These labels have not been found in the previous catalogs of paleontological collections of the Commission, but in the historical fossils collections of the Geminero Museum that still remain to be studied.

Referencias

Lozano, R.P. y Rábano, I. (2004). *Boletín Geológico y Minero* 115 (1), 85-102.

Lozano, R.P., Rodrigo, A., Menéndez, S. y de la Fuente, M. (2005). *Boletín Geológico y Minero* 116 (3), 257-272.

Las rocas lunares de las misiones Apolo en España

The lunar rocks of the Apollo missions in Spain

R.P. Lozano, A. Rodrigo, M.J. Torres-Matilla, E. Baeza, R. González-Laguna, M.P. Hernández-Pinilla y X. Moreno.

Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

Palabras clave: Franco, Travesí, Sanz, Herrera, Oró

Resumen

El material recogido durante las misiones Apolo tiene un gran interés científico y también un indudable valor histórico dentro de la exploración espacial de la humanidad. Estados Unidos puso en marcha dos programas de regalos institucionales de piedras lunares, el primero en 1970 (Apolo XI) y el segundo en 1973 (Apolo XVII). En estas fechas, Francisco Franco recibió las dos muestras que se encontraban embutidas en esferas de plástico y acompañadas de la bandera de España (que acompañaron a los astronautas a la Luna) y placas grabadas. El primer regalo se encuentra en paradero desconocido y el segundo lo custodia el Museo Naval de Madrid, gracias a la donación del hijo de Carrero Blanco. Hermógenes G. Sanz fue el primer español que tocó una piedra lunar, participando en la publicación de la edad del material recogido en la Apolo XI (Albee et al., 1970). Antonio Travesí estudió los elementos traza del material lunar (Apolo XI+XII) que la NASA envió a España (Travesí et al., 1972). Manuel Casajust Rodríguez, discípulo de Emilio Herrera Linares, inventor del traje estratosférico en 1934 (Atienza, 1994), recibió una piedra lunar de manos de Neil Armstrong. Tras permanecer un tiempo en el Museo del Aire (Madrid), hoy en día está desaparecida. En 1970 se expuso una roca lunar (Apolo XI) en Madrid y Barcelona. Tras finalizar la exposición en la ciudad condal, la muestra debió ser estudiada por juan Oró Florensa. Actualmente este ejemplar se encuentra también desaparecido.

Abstract

The material collected during the Apollo missions is of great scientific interest and also an undoubted historical value within the space exploration of humanity. The United States developed two institutional gift programs for lunar rocks, the first in 1970 (Apollo XI) and the second in 1973 (Apollo XVII). On this dates, Francisco Franco received the two samples which were enmedded in plastics spheres and accompanied by two Spanish flags (which accompanied the astronauts to the Moon) and engraved plaques. The first gift is in unknown whereabouts and the second is custody of the Naval Museum in Madrid, thanks to the donation of Carrero Blanco's son. Hermogenes G. Sanz was The first Spaniard to touch a lunar rock, participating in the publication of the age of the material collected in the Apolo XI (Albee et al., 1970). Antonio Travesí studied the trace elements of lunar material (Apollo XI + XII) that NASA sent to Spain (Travesí et al., 1972). Manuel Casajust Rodriguez, disciple of Emilio Herrera Linares, inventor of the stratospheric suit in 1934 (Atienza, 1994), received a moon rock from Neil Armstrong. After staying for a while in the Air Museum, it has now disappeared. In 1970 a lunar rock (Apollo XI) was exhibited in Madrid and Barcelona. After finishing the Barcelona exhibition, the sample had to be studied by Juan Oró Florensa. Nowadays this specimen is also missing.

Referencias

Albee, A.L., Burnett, D.S., Chodos, A.A., Eugster, O.J., Huneke, J.C., Papanastassiou, D.A., Podosek, F.A., Russ, G.P., Sanz, H.G., Tera, F. y Wasserburg, G.J. (1970). *Science*, 167 (3981), 463-466.

Travesí, A. Palomares, J. y Adrada, J. (1972). *Anales de la Real Sociedad Española de física y Química*, 68 (9-10), 1111-1124.

Atienza, E. (1994). *El general Herrera: aeronáutica, milicia y política en la España contemporánea*. Tabapress S.A., Madrid, 680 p.

El fondo documental de la litoteca del IGME como testimonio histórico de la actividad minera en España durante los siglos XIX y XX.

The documentary archive of the IGME repository as a historical testimony of mining activity in Spain during the 19th and 20th centuries

M. P. Mata[1], J. Sánchez Valverde[2], C. Molina Muñoz[3], J. J. Muñoz León[3], Á. Romero Esquinas[3], R. Rodríguez Rodríguez[4], M. T. López López[4] y H. Velayos Mayo[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España. La Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. P.mata@igme.es;
2 Calle Real, 10 (18193) Monachil, Granada, fsvalverde@gmail.com
3 Litoteca del IGME. Ctra. Estación, Pol. Ind. La Papelera s/n, 14200 Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba), c.molina@igme.es, jj.munoz@igme.es, alvaro.romero@igme.es; h.velayos@igme.es;
4 Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, r.rodriguez@igme.es, m.lopez@igme.es

Palabras clave: historia de la minería, recursos geológicos, archivo documental, IGME, Peñarroya

Resumen

La litoteca de sondeos de Peñarroya – Pueblonuevo (Córdoba) alberga una importante colección de sondeos y muestras del subsuelo de toda España. Uno de los aspectos menos conocidos de la misma, es el extenso archivo documental procedente de empresas cuya actividad fue la exploración de los recursos geológicos. Aunque la actividad de estas empresas ha cesado, estos archivos cerrados constituyen una fuente de conocimiento esencial para conocer la historia, evolución, datos sociales, estadísticas, datos de género y actividades varias de estos sectores durante finales del siglo XIX y XX. La documentación es de carácter fundamentalmente técnico y administrativo, con gran cantidad de mapas, cartografías, planos y documentos gráficos de interés histórico y científico, que junto con fondos de otras instituciones españolas, constituyen una valiosa fuente para el estudio de la historia empresarial y social de la minería española. Los fondos más importantes son el de La Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya (SMMP) con 346 ML de documentación de los años 1850 a 1992; la Empresa Nacional del Uranio S.A. (ENUSA) con 158.4 ML, con documentos de los años 1918 a 2004; la Empresa de Transformación Agraria, S.A (TRAGSA), con 151.2 ML de los años 1918 a 2004 y la Empresa Nacional de Investigaciones Mineras (ENADIMSA) con 81 ML de documentos desde 1943 a 1997.

Abstract

The core repository of the IGME in Peñarroya - Pueblonuevo (Córdoba) houses an important collection of cores and subsoil samples of Spain. One of the least known features of the repository, is the extensive documentary archive coming from companies whose main activity was the exploration of geological resources. Although the activity of these companies has finished, these files constitute an essential source of knowledge to know the history, evolution, social data, statistics, gender data and other activities of these sectors during the late nineteenth and twentieth centuries. The documentation is mainly technical and administrative, with a large number of maps, cartographies, plans and graphic documents of historical and scientific interest, which, together with the funds from other Spanish institutions, constitute a valuable source for the study of the history of the mining company business of Spain. The most important collections are: the Peñarroya Metallurgical Mining Society (SMMP) with 346 ML of documentation from the years 1850-1992; the National Uranium Company S.A. (ENUSA) with 158.4 ML, with documents from the years 1918-2004; the Agrarian Transformation Company, SA (TRAGSA), with 151.2 ML and with a period from 1918-2004 and the National Company of mining research (ENADIMSA) with 81 ML of documents from 1943 to 1997. In addition, the repository curates other documents from the library of the IGME in Madrid and those related to the core collection of the repository.

El gran ciclo minero galaico-romano del oro en la constitución de la Gallaecia y el Alto Imperio Romano

The great Roman-Galician mining cycle of gold in the foundations of Gallaecia and the High Roman Empire

O. Pazos[1]

1 Tomás Alonso 193, 7ºB, 36208 VIGO

Resumen: El gran ciclo minero del oro del NO de Hispania comenzó a finales del primer milenio, más o menos con el establecimiento del Principado y la integración administrativa de la Gallaecia romana en el Imperio. Las huellas de labores muestran que la exploración y la explotación agotaron las posibilidades mineras y llevaron al límite nuestro conocimiento geológico. Semejante esfuerzo se vio recompensado con producciones nuca vistas en la Antigüedad, lo que determinó el rumbo de la gran historia de la Gallaecia tanto como del propio Imperio.

Palabras clave: minería del oro, gran historia, Gallaecia, Imperio Romano, patrón oro

Abstract: *The great gold mining cycle of the NW of Hispania began at the end of the first millennium, more or less at the same time as the establishment of the Principate and the administrative integration of Gallaecia into the Empire. Ancient mines show that exploration and exploitation exceeded the mining possibilities and pushed to the limit our geological knowledge. Such an effort was rewarded with productions never seen in antiquity, which determined the direction of the Big History of Gallaecia as much as of the Empire itself.*

Keywords: *gold mining. Big History, Gallaecia, Roman Empire, gold standar*

INTRODUCCIÓN

Galicia/Gallaecia es la única provincia del Imperio Romano que ha mantenido su identidad administrativa y política hasta hoy. Pese a ser la primera provincia en constituirse reino independiente de Roma bajo el gobierno suevo, los habitantes de este país mantuvieron su identidad galaica, reconociéndose y siendo reconocidos como tales de modo continuado desde el siglo V hasta hoy. Muchos son los factores y circunstancias que han contribuido a esta extraordinaria longevidad, pero determinante en su origen está la íntima relación de la fundación y engranaje de la Gallaecia con el gran ciclo minero del oro que tuvo lugar en el NO hispano en el marco histórico definido por el Alto Imperio Romano.

LA MINERÍA DEL ORO GALAICO-ROMANA

La huella minera romana del oro en el NO peninsular revela una asombrosa extensión e intensidad de labores (Pazos Rodríguez, 2018a). Los huecos mineros y trabajos asociados se encuentran en tantos lugares, con tal profusión y magnitud que simplemente agotan las posibilidades mineras del territorio. Con más de ochocientas explotaciones catalogadas, el proceso de identificar y localizar minas antiguas en el NO dista de estar hecho (Sánchez-Palencia *et al.*, 2018) y lleva al límite nuestro conocimiento geológico. De hecho, las propias labores romanas han sido históricamente interpretadas como indicios de mineralizaciones de interés minero cuya identificación requiere costosas inversiones e investigaciones (casi nunca realizadas), y todavía hoy seguimos encontrando nuevas labores romanas en lugares y en formaciones geológicas en las que desconocíamos siquiera la posibilidad de esas supuestas mineralizaciones, todo lo cual ha derivado en la generalización de unas interpretaciones apriorísticas del sentido minero de las propias labores romanas hechas en ausencia y en ocasiones en contra de toda evidencia geológica (Pazos Rodríguez, 2019).

En cualquier caso, lo que estos hallazgos muestran es una voluntad de explotar hasta el último yacimiento del territorio. El esfuerzo minero se extendió de modo sistemático por todo el noroeste mediante una exploración exhaustiva, desde las costas del mar a las cimas de las montañas, en todo tipo de materiales geológicos, siguiendo lineaciones estructurales apenas reconocibles hoy en cartografías de detalle, abriendo zanjas de cientos de metros de longitud bajo las terrazas pleistocenas para dejar al descubierto los paleolechos de los ríos, generando un difuso pero denso rastro de tenues erosiones en las laderas de las regiones mineras, rocas perforando pozos y galerías en los más duros conglomerados o provocando la ‘ruina de los montes’, como dijo Plinio

> ...sin tener todavía el oro ni saber si había mientras cavaban, que para tales riesgos y costes es suficiente el ansia de lo que codiciaban.

Lo que pone de manifiesto la cantidad y extensión de huellas mineras es que los romanos promovieron en el NO una

explotación minera tan extensiva como intensiva, cavando cualquier indicio de oro y trabajando a todas las escalas, combinando una minería artesanal con explotaciones que cubren miles de hectáreas y requirieron de un notable planeamiento y control administrativo y técnico, grandes inversiones y sin duda complejos sistemas de gestión humana. En definitiva, la evidencia geo-arqueológica es que la minería del oro fue un elemento central de la organización administrativa y política provincial y como tal, central en la constitución y articulación administrativa, política y social de la Gallaecia en el Imperio romano (Currás Refojos, 2014).

EL CICLO MINERO GALAICO DEL ORO EN LA GRAN HISTORIA DE ROMA Y DE GALLAECIA

Se suele dar por cierto que hacia el año 70 CE Plinio El Viejo, siendo amigo personal de Vespasiano y quizá por encargo o interés del emperador, visitó las minas del NO peninsular resumiendo lo visto en *Naturalis Historia (Nat. Hist. 33.66-78)*, siendo hoy ese texto una fuente documental de extraordinario interés geo-arqueológico. El conocido relato de Plinio termina con una valoración global de la producción de oro en el NO de Hispania.

> Según dicen, cada año Asturica, con Gallaecia y Lusitania producen veinte mil libras [de oro], la mayor parte Asturica. Ningún lugar del mundo mantiene de tantas generaciones atrás tal producción.

Si bien la cifra de producción de Plinio resulta extremadamente controvertida con las estimaciones más citadas en la actual literatura arqueológica (Pazos Rodríguez, 2018b), existe un amplio consenso al considerar que el NO de Hispania fue la principal área productora de oro del Imperio, siendo esta riqueza el motivo más repetido para explicar el empeño personal de Octavio César en hacer la guerra a cántabros y astures tras su victoria sobre Marco Antonio y su proclamación como Augusto. Como fuera, el fin de las guerras cántabras es habitualmente señalado como el inicio del gran ciclo minero del oro del NO, cuyo término -mucho más impreciso- suele colocarse en relación a la gran crisis del siglo III. Es decir, aunque de un modo no explícito, hay un consenso general en situar históricamente el gran ciclo minero del oro del NO en relación al inicio y fin del Alto Imperio, situando su apogeo dentro de lo que desde la clásica interpretación de Edward Gibbon vino a ser la 'Edad de Oro' del Imperio. Así pues, el gran ciclo minero del oro galaico-romano no solo viene a coincidir espacial y temporalmente con la fundación histórica de Gallaecia, es el evento que señala y explica su aparición en la Gran Historia, y es un suceso clave del Imperio Romano mismo y como tal también de su desarrollo, y es en interrelación con una y otra cómo la propia historia del ciclo minero toma y da sentido.

Tanto Plinio como Lucio Anneo Floro atribuyeron la especialización minera del NO a la esterilidad (agrícola) y el barbarismo de los montes galaicos. Faltos de otro producto para el Imperio, los provinciales galaicos habrían sido obligados por Augusto a extraer oro y demás metales de las entrañas de la tierra. Aunque a primera vista 'obligar' a los montes a 'entregar su oro' pueda parecer un planteamiento extraño, expresa una lógica económica de la división internacional del trabajo en el mundo colonial romano semejante al de los imperios europeos de los que también somos herederos. Esta imposición, esta voluntad de sacar oro como sea, de donde sea, a cualquier precio, también ofrece el marco explicativo conforme a las evidencias geo-arqueológicas que revelan un territorio convertido todo él en una gigantesca mina y cuyas posibilidades mineras parecen agotadas por una exploración y explotación tan intensiva como extensiva. Esta sería la cruz de la moneda, porque la cara la daría una población aparentemente volcada y entusiasta con la esa explotación minera.

> Los dálmatas viven de ordinario en las selvas, de donde salen para entregarse al pillaje. Marcio los debilitó, incendiando Delminio, su capital; Asinio Polión les despojó de sus campos, armas y ganados; por último, Vibio, por orden de Augusto, acabó de someterlos, obligando a esta raza salvaje a perforar la tierra y buscar el oro en sus entrañas; operación a que este pueblo, el más avaro de todos, se entregó con tan grande afán como si lo hubiera de conservar para destinarlo a su propio uso.

El pasaje de Floro (*Epitome, 4.12*) dedicado a la colonización de los dálmatas expresa una estrategia de asedio y conquista que fue antes ensayada con galaicos y astures, y cuyo resultado no es tan sorprendente como parece a primera vista. La asunción de los conquistados a los planes romanos es manifestación de su aculturación y asimilación, es decir, es la expresión de la romanización misma, una romanización tan forzada como efectiva. La mera supervivencia y los mayores o menores beneficios por participar del mundo romano, fueran éstos limitados a unos cortos sectores sociales o a unas élites familiares, bastaron para arrastrar al conjunto de la población e integrarla en el entramado de intereses del Imperio. Cuando Augusto inició las guerras cántabras los galaicos llevaban ya más de un siglo de luchas con los romanos y en proceso de asimilación, y hay fuertes indicios de que su participación en estas guerras cántabras fue en alianza con los romanos, lo que les habría dejado en una posición de relativo privilegio en la posterior organización provincial. Esta condición de relativo privilegio permite explicar también la continuidad de las jerarquías -príncipes- y estructuras sociales y culturales tras la plena incorporación al Imperio, integrando y conservando en la organización administrativa romana sus propias jurisdicciones ligadas a pueblos y castros, de la que tenemos noticia por el símbolo de 'ce invertida' (⊃) conservada en decenas de inscripciones (Pereira Menaut, 1979). Pero sobre todo es con la creciente importancia de la minería del oro para Roma como debe entenderse el surgimiento de una identidad y una comunidad galaica dentro del Imperio capaz de sobrevivirle.

Lo galaico surge para la Historia en el año 136 ANE como oposición al poder de Roma entre los ríos Miño y Duero (Fernández Calo, 2018), y durante el siglo siguiente reaparece de forma episódica para definir de modo más o menos impreciso los confines montañosos del NO de Hispania.

Hacia el final de las guerras Cántabras lo galaico asoma en la primera organización del NO como efímera provincia Transduriana, sirviendo de engarce entre las provincias lusitana y tarraconense, hasta que, en la reorganización del año -15, Augusto la incorpora a la Tarraconense y forma la más extensa provincia del Imperio. Esta reorganización provincial podría procurar el control de las grandes minas de oro que se abrían por entonces en Asturica desde Tarraco, mucho mejor comunicada con Roma, pues por debajo del nivel provincial la Gallaecia subyace y subsiste como entidad geográfica y administrativa que incluía los conventos bracarense y lucense, mientras que a nivel arqueológico, la epigrafía indica migraciones de mineros y cultos, quizá formando comunidades enteras del ámbito propiamente galaico a las regiones mineras del interior astur, en el Bierzo y León (Olivares Preñedo, 2014). Precisamente, sería el agotamiento de las minas en la decadencia del ciclo minero a comienzos del siglo III lo que haría posible restablecer la autonomía provincial de la Gallaecia, identificada como Hispania Nova Citerior en el reinado de Caracalla y ya definitivamente como Gallaecia con Diocleciano, a finales del siglo III, incluyendo en un principio Astúrica y más tarde toda la Cantábrica y la meseta al norte Duero en el siglo IV, lo que también tiene su correlato a nivel arqueológico en la expansión de teónimos mineros (muchos de origen lusitano y galaico) por la meseta norte, dentro el área de máxima expansión provincial. Esta expansión de los límites de la Gallaecia hacia el este fue acompaña por la emergencia de personajes históricos como Prisciliano, primer heresiarca ejecutado por Roma, los obispos Orosio o Hidacio, autor de una primera historia del mundo en perspectiva cristiana, o Teodosio el Grande, último emperador romano en Oriente y Occidente, todos ellos galaicos. Todavía en los siglos XI y XII de nuestra Era, los geógrafos de Al-Andalus daban el nombre de Galicia (*Ŷillīqa*) al conjunto de los reinos cristianos al norte del Duero, distinguiendo según el caso una Galicia estricta (*Galīsiya*) que vendría a coincidir con los conventos bracarense y lucense (Carballeira, 2007).

La minería galaico-romana del oro se inscribe claramente en la fase descendente del gran ciclo productivo de final de la Antigüedad (Fig. 1), ciclo que queda perfectamente definido a partir de la contaminación por plomo de las turberas del Xistral (Martínez Coritzas et al., 2008) o por el número de barcos hundidos en el Mediterráneo (Strauss, 2017). En una perspectiva económica, el alto Imperio se inicia con la reforma de Augusto, que transformó el sistema monetario republicano basado en el bronce y la plata en otro de patrón oro y progresiva centralización, primero monopolizando la acuñación de oro y plata en la autoridad del emperador y más tarde centralizando físicamente la acuñación, especialmente del oro, en Roma. Durante los dos siglos que Roma mantuvo este monopolio de emisión, desde el año 64 hasta la reforma de Diocleciano a finales del siglo III, tuvo lugar una sistemática devaluación, sobre todo de la moneda de plata, convertida en el siglo III en una moneda cuasi-fiat: el antoniniano. La práctica totalidad de los estudios económicos del Imperio se han centrado en la devaluación de la plata y apenas han prestado atención a la centralización de las emisiones, pero los dos procesos fueron parte de una misma política monetaria, y no se puede entender la una sin la otra. Atendiendo a los registros de monedas conservadas en los museos como reflejo de la circulación monetaria en Gallaecia e Hispania (en trazo grueso y con todas las prevenciones oportunas), al tiempo que la plata desaparecía de las monedas, el oro desapareció de de la circulación y no volvió a aparecer hasta la segunda mitad del siglo IV. Aunque quizá retrasada por la apertura de nuevas minas en Dacia, la inflación del siglo III no fue una crisis de la plata sino del sistema de patrón oro, muy probablemente por falta de numerario.

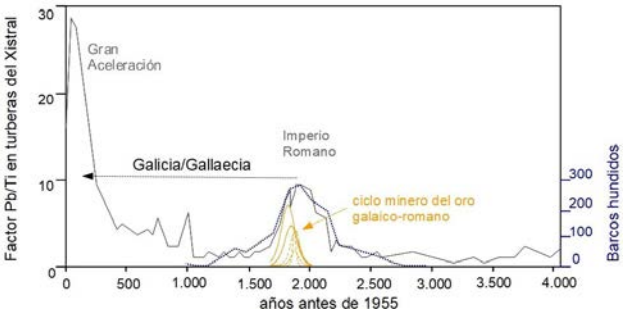


FIGURA 1. Gran Historia de Gallaecia/Galicia enmarcada entre el ciclo minero del oro galaico-romano y la actual 'gran aceleración'. En negro el factor de enriquecimiento de Pb/Ti en turberas del Xistral; en azul los barcos hundidos en el Mediterráneo en los milenios primero BCE y CE; en naranja los ciclos mineros modelados conforme a la curva Hubbert a partir del dato de producción de 6,4 t de Plinio.

ORO Y LEGIONES. LA CRISIS DE LOS CUATRO EMPERADORES.

El oro del NO dio a Roma enormes riquezas justo en el inicio la fase descendente del gran ciclo económico mediterráneo. Pero el oro no era otro bien económico, era el metal base del sistema monetario que mantenía la Pax Romana, y su principal fuente era el NO de Hispania. El papel fundamental del oro en el mantenimiento de la paz imperial se hizo evidente en la primera gran crisis del imperio, narrada por diversos historiadores romanos: el Año de los Cuatro Emperadores que puso fin a la dinastía Julia.

Como es habitual, las fuentes romanas son escasísimas de noticias económicas de este suceso, lo que puede dar una impresión engañosa sobre la importancia de los hechos económicos que traslucen las crónicas, sobreabundantes en cambio en detalles de lo que hoy consideraríamos vida privada y cualidades morales de los gobernantes y emperadores. Así pues, la interpretación económica de los sucesos narrados debe entresacarse de las crónicas mundanas y contrastarse en los rastros arqueológicos.

En resumen, el año 69 sucedió por primera vez que el trono de Roma fue puesto en subasta al mejor postor por el Senado y la guardia pretoriana. Nada extraño pues que el trono fuera ofrecido al viejo Galba, gobernador de la Tarraconense, la provincia que en mayor medida abastecía de oro a Roma. Dión Casio *(Epitome 64)* cuenta que Nerón, advertido de la conjura, no le dio importancia y siguió

con sus diversiones hasta enterarse que el pretendiente era Galba, dándose finalmente por perdido. Sin embargo, las legiones en la frontera germana, advirtiendo el soborno, exigieron también su parte. Además, Galba cometió el error de racanear el premio que el prefecto Nimfidio prometiera a los pretorianos por traicionar a Nerón, 7.500 denarios, una fortuna que en conjunto equivaldría a toda la producción de oro de Lusitania, Gallaecia y Asturica durante dos años, si nos atenemos a las cifras de Plinio. A Galba, traicionado por los descontentos legionarios de Roma, sucedió Otón, gobernador de Lusitania que aprendida la lección no escatimó en regalos a esos legionarios. Fuera o no cierto que Nimfidio ambicionaba el trono para sí y por eso enredó a Galba en semejante deuda, lo que se hizo entonces patente fue el gran secreto desnudo del sistema imperial: el poder ya no estaba en Roma sino en las legiones, y estas se vendían al mejor postor prontas a disputarse el premio (terminando la cuestión con que las legiones en campaña, más entrenadas y hechas al combate, solían alcanzar la victoria). Resultado: las legiones de Germania vencieron a las de Otón, y a aquellas vencieron las legiones de Vespasiano, que comandaba la guerra contra los judíos. Ocurre, sin embargo que si las armas ganan la guerra, es el oro el que procura la paz, y Vespasiano, ya instalado en Roma como emperador, en vez de castigar a las provincias hispanas las premió con la ciudadanía itálica, un privilegio que el resto del Imperio, incluyendo provincias mucho más civilizadas conforme al sentir romano como África o las orientales que le habían sido fieles no obtuvieron hasta el gobierno de Caracalla, a principios del siglo III.

Lo sucedido el año de los Cuatro emperadores ejemplifica la influencia del oro galaico en la Gran Historia de Roma y, en reverso, nos muestra el tipo de contrapartidas y ventajas políticas que Roma podía ofrecer a cambio del oro. Vespasiano aseguró la lealtad de la provincia convirtiéndose en su benefactor y atrayéndola a su partido concedió ventajas políticas y fiscales, urbanizó, trazó nuevas vías, etc. A este respecto, no es casual que tras la etapa fundacional de Augusto, la dinastía Flavia fuera la más determinante en el proceso de urbanización de la Gallaecia. Y la importancia de Hispania y Gallaecia en la crisis del 69 se revela también en la moneda. Lo primero que hacía cualquier nuevo emperador era emitir moneda con su efigie y nombre para pagar a las legiones y, a la vez, como símbolo de su Imperio personal, y lo cierto es que los emperadores que protagonizaron esa crisis, incluso los de gobierno más breve, están sobrerrepresentados en las colecciones numismáticas de los museos, indicando que ese periodo el dinero corrió con prodigalidad por la provincia.

La minería del oro fue una imposición de Augusto a los conquistados galaicos y astures como parte de la política de romanización e integración en el sistema económico del Imperio. Sin duda, la riqueza minera de la región era conocida, pero la extensión y dimensión de las labores muestran que las explotaciones alcanzaron unas producciones desconocidas en el Mundo Antiguo. El NO de Hispania se convirtió en la principal fuente de oro del imperio y en un territorio clave del sistema monetario establecido por Augusto. La lealtad de galaicos y astures se convirtió en un elemento capital para la estabilidad del Imperio que ofreció a las élites y población galaicas una vía singular para su romanización, surgiendo de ello una identidad a la que se aferraron una vez les fue negado seguir siendo romanos.

REFERENCIAS

Carballeira Debasa, A.M., (2007): *Galicia y los gallegos en las fuentes árabes medievales*. Tesis Doctoral, CSIC, 255 p.

Curras Refojos, B.X. (2014): *Transformaciones sociales y territoriales en el Baixo Miño entre la Edad del Hierro y la integracion en el Imperio Romanos.* Tesis Doctoral, Santiago de Compostela, 1090 p.

Fernández Calo, M., (2018): *Estado, poder e estructuras políticas na Gallaecia. s.II a.C.-VIII d.C*. Blukk Ediçoes, Santiago de Compostela, 394 p.

Martínez Cortizas, A., Nóvoa Muñoz, J.C., Pontevedra Pombal, F.X., Llana Rodríguez, J.C., García Rodeja, E. (1997). *Paleocontaminación. Evidencias de contaminación atmosférica antrópica en Galicia durante los últimos 4000 años.* Gallaecia, 16, 7-22.

Olivares Preñedo, G. (2015): *Los castella y las comunidades de Gallaecia*. Gerión, 33, 261-283.

Pazos Rodríguez, O. (2018a): *A Invención da Gallaecia e a minaría do ouro.* Aterra Libros, Vigo, 189 p.

Pazos Rodríguez, O. (2018b): Modelado do ciclo mineiro galaico-romano do ouro coa curva Hubbert. En: *Congreso internacional da Arqueoloxía do Ouro*, Lugo. [Vídeo en: https://www.youtube.com/watch?v=lAIQ8p-Gzss0&list=PL4pRTNxg7M8pCqH2b5uRoTH42pxuRrx-Br&index=9&t=0s]

Pazos Rodríguez, O. (2019): Una necesaria revisión de la «ruina montium hidráulica» y el uso del agua en la minería romana del oro. En: *XVII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geologico y Minero, Ponferrada*. [En prensa]

Pereira Menaut, G. (1982): *Los castella y las comunidades de Gallaecia*. Zephyrus, 34, 249-265.

Sánchez Palencia, F.J., Currás Refojos, B, Romero, D. (2018): O bateo dos praceres fluviais como explotación e prospección en tempos prehistóricos e antigos. Comunicación en: *Congreso Internacional de Arqueoloxía do Ouro,* Lugo. [Noticia en: https://www.lavozdegalicia.es/noticia/amarina/2018/11/10/confirmado-hallazgo-minas-oro-romanas-pontenova/0003_201811X10C6991.htm]

Strauss, J. (2013). Shipwrecks Database. Version 1.0. (consultado julio de 2017): oxrep.classics.ox.ac.uk/databases/shipwrecks_database/

Colección de levigados José Ramírez del Pozo (CIEPSA–CGS)

José Ramírez del Pozo levigates collection (CIEPSA-CGS)

Á. Salazar[1], J. Navarro[2], J.J. Muñoz[3], J. González-Blázquez[3] y M.P. Mata[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, La Calera, 1. 28760 Tres Cantos, a.salazar@igme.es; p.mata@igme.es
2 Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo, jorge.ncomet@gmail.com
3 Instituto Geológico y Minero de España, Ctra. Estación, s/n, 14200 Peñarroya-Pueblonuevo, jj.munoz@igme.es; j.gonzalez@igme.es

Palabras clave: bases de datos, hidrocarburos, litoteca, micropaleontología, sondeos.

Resumen

La colección de levigados José Ramírez del Pozo (1936-1996) se custodia en la litoteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba). Consta de 43.563 muestras micropaleontológicas y los cuadernos de registro de entrada al laboratorio. Los registros han sido transferidos a una base de datos, cuyo análisis permite evaluar el interés científico e histórico de la colección.

La colección la inició en 1954 la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. (CIEPSA) y su socio de entonces C. Deilmann Bergbau GmbH, que trabajaron en la exploración de hidrocarburos en la Cuenca Cantábrica (Puche y Navarro, 2019). Los criterios de muestreo iniciales eran muy técnicos, pero con la incorporación del Dr. Ramírez del Pozo a CIEPSA en 1960, los criterios pasan a ser más sistemáticos, siguiendo pautas estratigráficas (Ramírez del Pozo, 1971).

En 1965 el grupo CEPSA funda en Vitoria-Gasteiz (Álava) la Compañía General de Sondeos, S.A. (CGS), una empresa de perforación y consultoría a la que se incorpora Ramírez del Pozo y la colección. Inicialmente, la colección siguió vinculada a los trabajos realizados por CIEPSA y sus socios, pero en 1971 CGS traslada su sede a Madrid y amplía sus clientes y objetivos (cartografía geológica, hidrogeología, geotermia, etc.), pero siguió incorporando a la colección muestras de sondeos de exploración de hidrocarburos españoles y extranjeros. En 1990 el Dr. Ramírez del Pozo abandona CGS y la empresa, que fue vendida al grupo Ogden, da por finalizada la colección.

Abstract

The José Ramírez del Pozo (1936-1996) levigates collection is preserved in the core repository of the Instituto Geológico y Minero de España (IGME) in Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba). It includes 43,563 micropaleontological samples and the laboratory check-in notebooks. All records have been transferred into a database enabling to assess the scientific and historical value of the collection.

The collection was started in 1954 by the Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. (CIEPSA) and its partner at that time C. Deilmann Bergbau GmbH, both jointly working in the hydrocarbon exploration in the Cantabrian Basin (Puche and Navarro, 2019). The initial sampling criteria was mostly technical, but with the incorporation of Dr. Ramírez del Pozo into CIEPSA in 1960, the criteria became more systematic following stratigraphic guidelines (Ramírez del Pozo, 1971).

In 1965 the CEPSA group founded in Vitoria-Gasteiz (Álava) the Compañía General de Sondeos, S.A. (CGS), a drilling and consulting company to which Ramírez del Pozo and the collection were incorporated. Initially, the collection remained associated to the works carried out by CIEPSA and partners, but in 1971 the CGS headquarter moved to Madrid and it was opened to work for other clients with broader objectives (geological mapping, hydrogeology, geothermal energy, etc.) but continued to include samples in the collection from hydrocarbon exploration wells in Spain and abroad. In 1990 Dr. Ramírez del Pozo left CGS, which was then acquired by the Ogden group that ended the collection.

Referencias

Puche, O. y Navarro, J. (2019). Una historia de la exploración y producción de hidrocarburos en España. *De Re Metallica* 33, 3-32.

Ramírez del Pozo, J. (1971). Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (Región Cantábrica). *Memorias*, 78. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, (3 vol.).

El contexto sedimentario del yacimiento Olduvayense d' El Kherba (Argelia): estudios sedimentológicos y micromorfológico

The sedimentary context of El Kherba Oldowan site (Algeria): grain size and soil micromorphology studies

S. Abdessadok[1,2], M. Sahnouni[3,2,4*], Z. Harichane[5,2], N. Mazouni[2], R. Chelli Cheheb[2], Y. Mouhoubi[2], S. Chibane[2], A. Perez-Gonzalez[6]

1 Département Homme et Environnement, Histoire naturelle de l'homme préhistorique (UMR 7194), Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN), France, salah.abdessadok@mnhn.fr
2 Centre National de Recherches Préhistoriques, Anthropologiques et Historiques (CNRPAH), Algeria; nacimmazouni@gmail.com; chlrzk@unife.it; yasmine_mouhoubi@yahoo.fr ; chibane.saloua.cnrpah3414@gmail.com
3 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Spain; mohamed.sahnouni@cenieh.es
4 Stone Age Institute & Anthropology Department, Indiana University, Bloomington, Indiana, USA.
5 Musée National du Bardo, Algeria ; harichanezoheir@gmail.com
6 Instituto de Evolución en África (IDEA), University of Alcalá de Henares, Covarrubias 36, 28010, Madrid, Spain

Palabras clave : Sedimentología, Micromorfología, El Kherba, Olduvayense, Paleolítico inferior, Argelia.

Resumen

Se llevó a cabo un estudio exhaustivo de los sedimentos arqueológicos del yacimiento Pleistoceno inferior de El Kherba (Argelia), que incluyó análisis sedimentológicos y micromorfológico. El Kherba consiste en tres niveles arqueológicos proporcionando herramientas líticas de tecnología Olduvayense asociadas con fósiles de animales. El estudio tiene como objetivo valorar los procesos sedimentarios que actuaron en el entierro de los restos arqueológicos y la identificación de microfacies para obtener información paleoambiental de alta resolución relacionada con las actividades comportamentales de los primeros homíninos que activaron en la zona hace 1,8 millones de años. Los datos indican que los conjuntos arqueológicos se acumularon durante ciclos sedimentarios con una granulometría gradual donde cada conjunto empieza con partículas gruesas y termina con limos masivos o arenas limosas en un paisaje de llanura aluvial en un clima templado con precipitaciones en período de lluvias en la parte baja de la estratigrafía y un cambio gradual de húmedo a ambiente árido en la parte alta. Estos resultados también están respaldados por estudios tafonómicos e isotópicos realizados previamente en el yacimiento. El entorno de la llanura aluvial de El Kherba creó las condiciones para el entierro rápido de huesos de animales y herramientas líticas, así que la preservación de la información comportamental de los homíninos.

Abstract

A comprehensive investigation was conducted on the archaeological sediments from the early Pleistocene site of El Kherba (Algeria), involving grain size and soil micromorphology analyses. El Kherba yielded Oldowan stone tools associated with animal fossils from three archaeological deposits. The studies aim at assessing the sedimentary processes that acted in the burial of the archaeological remains and at identifying microfacies in order to gain high-resolution paleoenvironmental information pertaining to early hominin behavioral activities at the site 1.8 million years ago. The data indicates that the archaeological assemblages accumulated during sedimentary cycles with gradual granulometry where each deposit starts with coarse particles and ends with massive silts or micro-bedded silty sands in a floodplain landscape in a temperate climate with rainfall during rainy seasons in the lower part of the stratigraphy and a gradual change from humid to arid environment in the upper part. These results are also supported by taphonomic and isotope studies carried out previously on the site. El Kherba floodplain environment created the conditions for a rapid burial of animal bones and stone tools; and, thus, the preservation of hominin behavioral information.

Magnetic properties of the cave sediments at Gran Dolina in Sierra de Atapuerca, Spain

S. D'Arcangelo[1], F. Martín Hernández[1,2,3] and J. M. Parés[4]

1 Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC 28006 Madrid. darcangelo@mncn.csic.es
2 Instituto de Geociencias, Universidad Complutense de Madrid, CSIC 28040 Madrid. fatima@ucm.es
3 Instituto de Magnetismo Aplicado, Universidad Complutense de Madrid, 28230 Las Rozas. fatima@ucm.es
4 Geochronology & Geology, CENIEH, Paseo de Atapuerca 3, 09002 Burgos. josep.pares@cenieh.es

Keywords: *Paleomagnetism, Geology, Geochronology.*

Abstract

This study is being carried out at the Sierra de Atapuerca, near the city of Burgos (north of Spain), that represents one of the most important archaeological and paleontological sites of the Middle and Early Pleistocene in Europe. Magnetostratigraphic work in the Atapuerca site has provided a paleomagnetic age as revealed by the Matuyama-Brunhes boundary, the latest major geomagnetic reversal (0.78 Ma). Now, the goal of the current work is to analyse the environmental conditions to further understand the human presence in the occupational period. Our samples are taken at the cave entrance and cave interior sediments of Gran Dolina Cave, a cavity infilled by 25m of Pleistocene sediments from which was discovered almost 170 hominin bones that allowed the definition of a new species, Homo Antecessor. This work has two intimately related goals: i) univocally identifying the ultimate magnetic carriers and ii) further exploring the environmental coupling between of the magnetic properties and paleoclimatic framework. Preliminary results indicate that the samples contain two main magnetic minerals: magnetite and hematite. Its concentrations change within facies and also between cave entrance and cave interior sediments. It seems that the upper level of the cave entrance is characterized by a high concentration of magnetic minerals while the cave interior presents a variation of concentration, due to the different facies contained in that cave. Results summarized in the so called Day plot suggest that samples are in the PSD field (pseudo-single-domain) particle range. As far as grain-size, results show that cave entrance sediments are dominated by smaller magnetic grains, while in the cave interior includes also larger magnetic particles. Our study will help us better understanding the paleoenvironment at the time the first Europeans began to migrate into Europe.

Referencias

Evans M.E. y Heller F. (2003). *Enviromental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press, London, 299 pp.

Verosub K.L. y Roberts A.P., (1995). Environmental magnetism: Past, present and future. *Journal of Geophysical Research* 100, 2175–2192, doi: 10.1029/94JB02713.

Parés J.M., Álvarez-Posada C., Jan Sier M., Moreno D., Duval M., Woodhead J.D., Ortega A.I., Campaña Lozano I., Rosell Ardèvol J., Bermúdez de Castro J.M. y Carbonell E. (2018). Chronology of the cave interior sediments at Gran Dolina archaeological site, Atapuerca (Spain). *Quaternary Science Reviews* 186, 1-16, doi: 10.1016/j.quascirev.2018.02.004.

Luminiscencia como proxy sedimentario: caso de estudio en el macizo kárstico de Alkerdi-Zelaieta (Navarra).

Optically Stimulated Luminescence as a sedimentary proxy: a case study in the Alkerdi-Zelaieta karstic massif (Navarre).

M. del Val[1,2,3], M. Arriolabengoa[2,3], E. Iriarte[3,4], A. Aranburu[2,3], I. Álvarez[5], A. Bodego[3,6], G.I., López[1] y A. Hermoso de Mendoza[7].

1 Centro nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Paseo Sierra de Atapuerca 3, 09002, Burgos, miren.delval@cenieh.es
2 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias y Tecnología, UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n 48940 Leioa, martin.arriolabengoa@ehu.eus, arantza.aranburu@ehu.eus
3 Laboratorio de Evolución Humana, Universidad de Burgos, Edificio de I+D+i, Pl. Misael Bañuelos s/n, 09001 Burgos, eiriarte@ubu.es
4 Geo-Q, Aranzadi Zientzia Elkartea. 48940 Leioa
5 Dpto. de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería, UPV/EHU, Paseo Rafael Moreno "Pitxitxi" 2, 48013 Bilbao, irantzu.alvarez@ehu.eus
6 Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n 48490 Leioa, arantxa.bodego@ehu.eus
7 Grupo de Espeleología Satorrak, calle Descalzos 37 bajo bis, 31001, Iruña-Pamplona, arturo@troska.org

Palabras clave: Optically Stimulated Luminescence Dating, karst, multilevel cave, sediment provenance

Resumen

En 2016, a raíz del hallazgo de nuevos gravados del Paleolítico Superior se inició un estudio multidisciplinar en torno a la cueva y el sistema kárstico de Alkerdi (Urdazubi, Pirineo Occidental), entre ellos, la caracterización de los procesos espeleogenéticos. Se caracterizaron al menos 6 niveles, cuyo relleno sedimentario pudo provenir desde el exterior y niveles de cueva superiores (Arriolabengoa *et al.*, 2019). Partiendo de esta hipótesis, se realiza un estudio de la señal lumínica de 2 muestras tomadas en el piso 4 y piso 1. Se analiza la señal de OSL de granos de cuarzo, siguiendo el protocolo SAR con Single Grain. El análisis estadístico de la distribución los valores de Dosis equivalente (De) obtenidos (>400 alícuotas) permite discernir diferentes poblaciones de cuarzo en una misma muestra, es decir, granos de cuarzo que vieron la luz por última vez en diferentes momentos a lo largo del tiempo. De esta forma, se pretende valorar el potencial del OSL para la diferenciación de granos con diferente origen en un mismo depósito. Los resultados obtenidos en este trabajo son preliminares y experimentales, y no existen trabajos previos relacionados. Por tanto, la intención del trabajo es el de discutir los resultados más alentadores y las debilidades del método.

Abstract

The finding of Upper Paleolithic engravings in 2016 triggered a multidisciplinary study of the Alkerdi karst system (Urdazubi, Western Pyrenees). The study of the speleogenetic processes suggested at least 6 paragenetic cave levels. The origin of the sedimentary infill in each level could have been from the outside, or from the older superior levels (Arriolabengoa et al., 2019). To expand this hypothesis, we have analyzed the OSL signal of 2 sediment samples collected from levels 4 and 1. Quartz grains have been analyzed following SAR protocol using Single Grain. The statistical analysis of the Equivalent Dose (De) values distribution (>400 grains), shows different quartz populations in the same sample. Therefore, the quartz grains were exposed to sunlight in different moments in the past. The main objective of this work is to evaluate the potential of the OSL signal analysis to differentiate sand grains with different origin in the same sedimentary deposit. The results are preliminary and experimental, as there are no previous references on this topic. The aim of the work is the discussion of the encouraging results and the weaknesses of the method.

Referencias

Arriolabengoa, M., Hermoso de Mendoza, A., Abendaño, V., Álvarez, I., Aranburu, A., Bodego, A., … Agirre, J., 2019. Multi-level Alkerdi-Zelaieta cave system (Urdazubi/Urdax, Navare): base-level incision versus (re)sedimentation. *Geogaceta* 66, 7–10.

Caracterización de las mineralizaciones supergénicas del Complejo Minero Neolítico de Gavà. Implicaciones en arqueología.

Characterization of the supergenic mineralizations of the Gavà Neolithic Mining Complex. Implications in archaeology.

Y.Díaz-Acha[1], M. Campeny[1], F. Borrell[2], J. Bosch[3] y J.C. Melgarejo[4]

1 Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Parc de la Ciutadella s/n, 08003 Barcelona. ydiaz@bcn.cat
2 IMF-CSIC, Carrer de les Egipcíaques, 15, 08001 Barcelona.
3 Museu de Gavà, Plaça de Dolors Clua 13, 08850 Gavà, Barcelona.
4 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.

Palabras clave: Gavà, minería, neolítico, variscita, fosfatos.

Resumen

El complejo arqueológico de las Minas Prehistóricas de Gavà (Barcelona), atesora un entramado de minas construidas y explotadas entre el 5000-6000 AP (Borrell *et al.*, 2015). Este complejo neolítico muestra una explotación minera subterránea a gran escala, con galerías hasta 15 metros de profundidad. El principal objeto de explotación fue la variscita, para uso ornamental, aunque las mineralizaciones están formadas también de otros fosfatos supergénicos (e.g perhamita, crandallita, fosfosiderita), sulfatos (*e.g.* jarosita, alunita) y minerales de las arcillas (Díaz-Acha *et al.*, 2020). Distribuidos en vetas verticales, estas mineralizaciones se formaron a partir de un proceso de alteración supergénica y están encajadas en pizarras blanqueadas por fluidos meteóricos ácidos. Fruto del muestreo y cartografía de las mineralizaciones se han caracterizado las fases minerales que forman estos filones, llegando a la conclusión de que existe una zonación en profundidad, asociada al perfil de alteración. A partir del estudio de piezas arqueológicas del Neolítico, se ha observado que no solamente se explotaba variscita sino también los demás minerales asociados (*e.g.* fosfosiderita, jarosita), por lo que la correcta caracterización de estas fases y su relación con el perfil de alteración en profundidad pueden ayudar a la interpretación arqueológica del complejo minero.

Abstract

The Gavà Neolithic Mining Complex (Barcelona), treasures a network of mines built and operated between 5000-6000 BP (Borrell et al., 2015). This Neolithic complex shows a large-scale subterranean mining, with up to 15-m deep galleries. The main exploitation object was variscite, for ornamental use, although mineralizations are also formed by other supergenic phosphates (e.g. perhamite, crandallite, phosphosiderite), sulfates (e.g. jarosite, alunite) and clay minerals (Díaz-Acha et al., 2020). Distributed in vertical veins, these mineralizations were formed by a supergenic alteration process and are embedded in whitewashed shales by acidic meteoric fluids. The sampling and mapping of the mineralizations enable to characterize the mineral phases, showing there is a deep zoning associated with the alteration profile. From the study of Neolithic's archaeological pieces it has been observed that not only variscite was exploited, but also the other associated minerals (e.g. jarosite, phosphosiderite). Consequently, the correct characterization of these phases, and their relationship with the depth alteration profile, can contribute to a proper archaeological interpretation of the mining complex.

Referencias

Borrell, F, Bosch, J., y Majó, T. (2015). *Antiquity* 89 (343), 72-90.

Díaz-Acha, Y., Campeny, M., Tauler, E., Bosch, J., Melgarejo, J.C., Camprubí, A., Villanova-de-Benavent, C., Jorge-Villar, S.E., Díaz-Ontiveros, I., Fernández-Lluch, D., Proenza, J.A., Andreazini, A. y Pastor, M. (2020). *Minerals*, doi:10.3390/min10010003.

Primeras evidencias humanas en África del Norte: marco cronoestratigráfico de la secuencia Plio-Pleistocena de Oued Boucherit (Argelia)

The earliest evidence of hominin occupations in North Africa: chronostratigraphic framework of the Plio-Pleistocene sequence of Oued Boucherit, Algeria

M. Duval[1,2], J.M. Parés[1], J. van der Made[3], M. Sahnouni[1,4]

1 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Spain. mathieu.duval@cenieh.es, josep.pares@cenieh.es, mohamed.sahnouni@cenieh.es
2 Australian Research Centre for Human Evolution, Griffith University, Australia.
3 Museo Nacional de Ciencias Naturales & Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Spain, mcnjv538@mncn.csic.es
4 Centre National de Recherches Préhistoriques, Anthropologiques et Historiques (CNRPAH), Algeria

Palabras clave: Africa del Norte; Olduvayense; Achelense; Pleistoceno inferior

Resumen

El estudio publicado recientemente por Sahnouni *et al.* (2018) sobre el yacimiento de Ain Boucherit (noreste de Argelia) demostró la presencia humana en el norte de África hace al menos 2,4 millones de años (Ma). Las excavaciones arqueológicas sacaron a la luz más de 250 herramientas líticas atribuidas a la tecnología Olduvayense y casi 600 restos fósiles, distribuidos en dos niveles arqueológicos inferior (AB-Lw) y superior (AB-Up). La combinación de cuatro métodos distintos como la estratigrafía, el paleomagnetismo, la resonancia de espín electrónico (ESR) y la biocronología permitió correlacionar respectivamente AB-Lw y AB-Up a los eventos magnéticos Matuyama (post-Gauss) y Olduvai. A partir de una estimación de la tasa de sedimentación, se llegó a proponer las fechas finales de 2,44 ± 0,14 Ma (AB-Lw) y 1,92 ± 0,05 Ma (AB-Up). A raíz del trabajo de Sahnouni *et al.* (2018), se puede establecer un marco cronoestratigráfico robusto para toda la secuencia de Oued Boucherit, proporcionando estimaciones cronométricas para los varios niveles arqueológicos y/o paleontológicos identificados. También, se pondrá énfasis especial en las fuentes de incertidumbre que pueden impactar la cronología obtenida.

Abstract

Sahnouni et al. (2018) recently reported the discovery of Oldowan lithic tools and cut-marked bones from two archaeological levels at Ain Boucherit locality, Algeria. A multi-method dating approach based on magnetostratigraphy, Electron Spin Resonance (ESR) and biochronology was used to chronologically constrain the deposits. This combination provided an Olduvai and early Matuyama age for the upper (AB-Up) and lower (AB-Lw) archaeological levels, respectively. Refined age estimates of 1.92 ± 0.05 Ma (AB-Up) and 2.44 ± 0.14 Ma (AB-Lw) were finally derived from the sediment accumulation rate values. This discovery pushes back by about 0.6 Ma the earliest evidence of hominin occupation in North Africa. Based on the initial dating work presented in Sahnouni et al (2018), it is possible to establish a robust chronostratigraphic framework for the whole Plio-Pleistocene sequence of Oued Boucherit, and derive numerical age estimates for each of the archaeological and/or paleontological levels. The different sources of uncertainty that may possibly impact the dating results will also be evaluated and discussed.

Referencias

Sahnouni, M., Parés J.M., Duval, M., Cáceres, I., Harichane, Z., Van der Made, J., Pérez-González, A., Abdessadok, S., Kandi, N., Derradji, A., Medig, M., Boulaghraif, K., Semaw, S. (2018). 1.9-2.4 million-year-old artefacts and stone tool cut-marked bones from Ain Boucherit, Algeria. *Science* 362 (6420), 1297-1301. doi: 10.1126/science.aau0008.

Los tamaños y formatos como indicadores de la materia prima aprovechada en el macroutillaje de Valdocarros II (Arganda del Rey, Madrid)

Sizes and formats as indicators for raw material usage in the Large Cutting tools of Valdocarros II site (Arganda del Rey, Madrid)

S. Heras-Bastida[1], J. Panera[2, 3] y S. Rubio-Jara[2, 3]

1 Departamento de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Universidad Complutense de Madrid, Calle Profesor Aranguren s/n, 28040, Madrid. serherasb@gmail.com
2 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca 3, 09002 Burgos. joaquin.panera@cenieh.es, susana.rubio@cenieh.es
3 Instituto de Evolución en África (IDEA), Covarrubias 36, 28010 Madrid, Spain.

Palabras clave: cantos, achelense, interfluvio Jarama-Manzanares, posición secundaria, tipometría

Resumen

El análisis de la captación de las materias primas líticas para la elaboración de herramientas durante el Pleistoceno constituye una de las pocas aproximaciones al estudio de la movilidad y conocimiento del territorio de los grupos humanos de este período, especialmente de los predecesores de nuestra especie. La mayor parte de los análisis realizados en yacimientos pleistocenos se han centrado en el Paleolítico Superior, y en menor medida, en el Paleolítico Medio del Pleistoceno Superior. Por otra parte, los escasos estudios enmarcados en el Tecnocomplejo Achelense se han realizado sobre sílex, obviando otras materias primas.

Valdocarros II (MIS 8/7) es un yacimiento en posición autóctona que cuenta con varios niveles en los que se ha documentado asociación de industria lítica achelense y restos óseos con evidencias de aprovechamiento antrópico. Las rocas seleccionadas para elaborar estas herramientas fueron el sílex, el cuarzo y la cuarcita. Mientras que las dos últimas son transportadas por los ríos del entorno, especialmente el Jarama, el sílex tuvo que ser introducido de otras zonas.

Mediante la prospección sistemática de las barras en gravas se confirmó que el porcentaje de cuarcitas y cuarzos presente en estas no coincide con el que se encuentra en el yacimiento, lo que implica una selección del cuarzo sobre la cuarcita. A su vez, las grandes lascas y el macroutillaje realizado sobre estas rocas no procede del entorno inmediato al yacimiento, ya que los tamaños y formatos vistos durante las prospecciones no coinciden con los esperados de estas herramientas.

Abstract

The analysis of the catchment of lithic raw materials during the Pleistocene is one of the few approaches to the study of the mobility of the human groups of this period, especially of the predecessors of our species. Most of the studied were carried out on Upper Palaeolithic sites or Late Middle Palaeolithic sites. On the other hand, the few studies framed within the Acheulean Technocomplex have been carried out on flint, ignoring other raw materials.

Valdocarros II (MIS 8/7) is a site where its materials have been found in their original position with several levels in which acheulean lithic industry and bone remains have been found in association. The rocks selected to make these tools were flint, quartz and quartzite. While the latter two were transported by the surrounding rivers, especially the Jarama, flint had to be introduced from other areas.

Through the sampling of this alluvial deposits, it was confirmed that the percentage of quartzite and quartz present in the gravels does not coincide with that found in the site, which implies a selection of quartz over quartzite. At the same time, the large flakes and the Large Cutting Tools made of these rocks do not come from the immediate environment of the site, as the sizes and formats seen during the surveys do not match with those expected from these tools.

El proyecto de Actualización Geoarqueológica del Conjunto Histórico de la Ciudad de Oviedo (Oviedo Redondo): una acción de transferencia

The Geoarcheological Update project of the Historic Complex of the City of Oviedo (Oviedo Redondo): a transfer action

M. Jiménez-Sánchez[1], O. Requejo-Pagés[2], M. J. Domínguez-Cuesta[1], E. Berrezueta [3], L. Pando[1], F., J. Alonso-Rodríguez[1], L. Carrizo Martínez[1], M. Fernández Crespo[1], B. Ruiz-Zapata[4], M. J. Gil García[5], L. Rodríguez-Rodríguez[6], E. Pérez Díaz[2], V. Álvarez Martínez[2], N. Alonso Rodríguez[2], S. Calleja Fernández[2], G. Pajares Borbolla[2], B. Jardón[2], O. Ruiz Gago[2], J.J. Díaz [2]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo. mjimenez@uniovi.es, dominguezmaria@uniovi.es
2 Gabinete Arqueológico S. L., Posada Herrera, 3, 8ºC 33002 Oviedo otiliarequejo@gmail.com
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ Matemático Pedrayes, 25, 33005 Oviedo
4 Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Plaza San Diego, s/n, 28801 Alcalá de Henares blanca.ruiz@uah.es, mjosegil@uah.es
4 CITIMAC, Universidad de Cantabria, Avd. los Castros 48, 39005 Santander. laura.rodriguezr@unican.es

Palabras clave: Geoarqueología. Oviedo. Patrimonio. SIG. Transferencia

Resumen

La gestión del Patrimonio Cultural por parte de la Administración y de las instituciones implicadas en su estudio, conservación y promoción, requiere organizar la información generada en los procesos de gestión patrimonial, garantizando su accesibilidad y difusión. El Proyecto de Actualización Geoarqueológica del Oviedo Redondo (2007-11) abordó la recopilación y síntesis de información multidisciplinar generada en la gestión de las actuaciones relativas a 60 solares del Casco Histórico de Oviedo. La metodología de trabajo diseñada incluyó: 1) inventario de información preexistente; 2) análisis planimétricos e infográficos (29 planimetrías y 16 infografías); 3) revisión e inventario de materiales conservados en el Museo Arqueológico de Asturias (Oviedo); 4) análisis petrográficos y difractométricos (45 muestras); 5) análisis palinológicos (17 muestras) y 6) integración de información en un Sistema de Información Geográfica. El proyecto ha logrado la transferencia de conocimiento científico y aplicado a la Administración del Principado de Asturias, dotándola de un instrumento eficaz para optimizar la gestión de la información geológica y arqueológica del Oviedo Redondo.

Abstract

The management of cultural heritage by the administration requires the organization of pre-existing information, usually dispersed and in many cases unavailable. The aim of Oviedo Redondo Geo-Archaeological Update Project (2007-11) was the synthesis of multidisciplinary information on 60 sites in the Historical Centre of Oviedo. The work methodology designed included: 1) inventory of pre-existing information; 2) planimetric and infographic analyses (29 planimetries and 16 infographics); 3) review and inventory of archaeological materials conserved in the Archaeological Museum of Oviedo; 4) petrographic and diffractometric analyses of 45 samples of stone materials and mortars; 5) palynological analyses of 17 archaeological soil samples; and 6) integration and management of information in a database managed by a computer application based on a GIS. The project has achieved the transfer of scientific and applied knowledge to the Administration of the Principality of Asturias, providing an effective tool to optimize the management of geological and archaeological information in Oviedo Redondo.

Referencias

Jiménez-Sánchez, M., Requejo-Pagés, O. (coordinadoras) (2011). P*royecto de Actualización Geoarqueológica del Conjunto Histórico de la Ciudad de Oviedo* (Oviedo Redondo). Informe inédito. 174 pp y anexos. Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias.

Geoarqueología digital en el yacimiento musteriense (Pleistoceno superior) de Jarama VI (Valdesotos, Guadalajara, España).

Digital geoarchaeology at the Musterian site (Upper Pleistocene) of Jarama VI (Valdesotos, Guadalajara, Spain).

J.F. Jordá Pardo[1], C. Acevedo Pardo[2], C. Barcia[3], M. Farjas[4], A. Hernández Orgaz[4], A.M. Maximiano Castillejo[1], J. Molina Salido[1] y T. Schramm[2]

1 Dpto. Prehistoria y Arqueología. UNED. E-28040 Madrid, Spain. jjorda@geo.uned.es
2 Dpt. of Geodesy and Geoinformatic. HafenCity University. D-20457 Hamburgo, Alemania.
3 Escuela Internacional de Doctorado. UNED. E-28040 Madrid, Spain.
4 Dpto. Ingeniería Topográfica y Cartografía. UPM. E-28031 Madrid, Spain.

Palabras clave: Karst, Cañón del Jarama, LIG, Digitalización, Análisis espacial.

Resumen

Descubierto en 1988, el yacimiento arqueológico del abrigo rocoso de Jarama VI (Valdesotos, Guadalajara) fue excavado en el último tercio del siglo XX. Contiene una secuencia arqueosedimentaria con niveles musterienses y restos óseos de *Homo neanderthalensis* con una edad superior a 50 ka (Kehl *et al.*, 2013) y un depósito fluvial interestratificado entre los niveles de ocupación (Jordá Pardo, 2007). El objeto de este trabajo es presentar los resultados de nuestras últimas investigaciones en el yacimiento de Jarama VI desarrolladas en el ámbito de la Geoarqueología digital (Siart, Forbriger y Bubenzer, Eds., 2018), encaminadas a la reconstrucción digital y el análisis espacial de su registro arqueológico, tanto a escala del yacimiento (microespacio) como del cañón del Jarama en el que se encuentra situado (macroespacio). Por tanto, nuestro trabajo se centra en la aplicación de las nuevas tecnologías de la información al análisis e interpretación del registro geoarqueológico del yacimiento musteriense con restos de neandertales del abrigo rocoso de Jarama VI, lo que además conlleva la conservación, salvaguarda y almacenamiento centralizado de toda la información existente sobre el yacimiento en formatos analógicos mediante su conversión a formato digital.

Abstract

Discovered in 1988, the archaeological site of the rock shelter of Jarama VI (Valdesotos, Guadalajara) was excavated in the last third of the 20th century. It contains an archeosedimentary sequence with musterienses levels and bone remains of Homo neanderthalensis with an age greater than 50 ka (Kehl et al., 2013) and an interstratified fluvial deposit between occupation levels (Jordá Pardo, 2007). The purpose of this work is to present the results of our latest research in the Jarama VI site developed in the field of Digital Geoarchaeology (Siart, Forbriger and Bubenzer, Eds., 2018), aimed at digital reconstruction and spatial analysis of its archaeological record, both at the site scale (intrasite) and the Jarama canyon scale (extrasite). Therefore, our work focuses on the application of new information technologies to the analysis and interpretation of the geo-archaeological record of the Musterian site with Neanderthal remains of the rock shelter of Jarama VI, which also allows the conservation, safeguarding and centralized storage of all the existing information about the deposit in analog formats through its conversion to digital format.

Referencias

Jordá Pardo, J.F. (2007). *Geodinamica* Acta, 20 (4), 209-217.

Kehl, M., Burow, C., Hilgers, A., Navazo, M., Pastoors, A., Weniger, G.-C., Wood, R. y Jordá Pardo, J.F. (2013). *Quaternary Research,* 80 (2), 218-234.

Siart, C., Forbriger, M., Bubenzer, O. (Eds.) (2018). *Digital Geoarchaeology. New Techniques for Interdisciplinary Human-Environmental Research*. Natural Science in Archaeology, Springer International Publishing.

Retorno a Cova Rosa. Nuevas investigaciones geoarqueológicas en el yacimiento del Pleistoceno superior de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, España).

Cova Rosa revisited. New geoarchaeological researchs at the Upper Pleistocene site of Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, Spain).

J.F. Jordá Pardo[1, 4], D. Álvarez-Alonso[2], E. Álvarez-Fernández[3,4], M. de Andrés-Herrero[5], P. Arias[6], J. Bécares[3,4], P. Carral[7], M. Cubas[8], K. Douka[9], C. Duarte[10], N. García-Ibaibarriaga[11], M.J. Iriarte-Chiapuso[11], C. López-Tascón[8], A. Maestro[12], S. Martín-Jarque[3,4], J. Molina[1], X. Murelaga[13], A. Palencia[14], R. Portero[3,4], J. del Río[15], M. Rivero[14], A. Suárez-Bilbao[11] y L. Teira[6]

1 LEP. Dpto. Prehistoria y Arqueología, UNED. Madrid, Spain. jjorda@geo.uned.es / 2 Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, Spain. / 3 Dpto. Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Universidad de Salamanca. Salamanca, Spain. / 4 GIR-PREUSAL, Universidad de Salamanca. Salamanca, Spain. / 5 Dpto. Historia y Arqueología, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), Spain. / 6 IIIPC, Universidad de Cantabria. Santander, Spain. / 7 Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, Spain. / 8 Dpto. Historia, Universidad de Oviedo. Oviedo, Spain. / 9 ORAU, University of Oxford. Oxford, United Kingdom. / 10 ICArEHB, Universidade do Algarve. Faro, Portugal. / 11 Dpto. Geografía, Prehistoria y Arqueología, UPV-EHU. Vitoria-Gasteiz, Spain. / 12 Dpto. Investigación y Recursos Geológicos, IGME. Madrid, Spain. / 13 Dpto. Estratigrafía y Paleontología. UPV-EHU. Bilbao, Spain. / 14 Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, Spain. / 15 Instituto de Geociencias IGEO, CSIC-UCM. Madrid, Spain.

Palabras clave: Karst, Estratigrafía, Sedimentología, Pleistoceno superior, Paleolítico superior.

Resumen

La cavidad kárstica de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias), abierta en las calizas de La Escalada (Moscoviense, Carbonífero), contiene una importante secuencia arqueosedimentaria excavada durante la segunda mitad del siglo XX por Jordá Cerdá y Gómez Fuentes (1982) con niveles del Solutrense, Magdaleniense y Mesolítico, estudiada sedimentológicamente por Hoyos Gómez (1979). En los últimos años los miembros de un amplio equipo de investigación estamos trabajando de nuevo sobre este yacimiento y sus materiales (Álvarez-Fernández y Jordá Pardo, 2018) y en este trabajo presentamos la secuencia estratigráfica que ha sido estudiada de nuevo con metodología geoarqueológica.

Abstract

The karstic cavity of Cova Rosa, open in the La Escalada limestones (Moscovien, Carboniferous) contains an important archaeosedimentary sequence excavated during the second half of the 20th century by Jordá Cerdá and Gómez Fuentes (1982) with levels of Solutrense, Magdalenian and Mesolithic, studied sedimentologically by Hoyos Gómez (1979). In the last years members of a large research team are working again on this site and its materials (Álvarez-Fernández and Jordá Pardo, 2018) and in this contribution we present the stratigraphic sequence that has been studied again with geoarchaeological methodology.

Referencias

Álvarez-Fernández, E. y Jordá Pardo, J.F. (Eds.) (2018). *El poblamiento prehistórico en el valle del Sella. Cincuenta años del descubrimiento de la cueva de Titot Bustillo y 60 de las primeras intervenciones del profesor Francisco Jordá en las cuevas de El Cierro y Cova Rosa (Ribadesella, Asturias)*. Asociación Cultural Amigos de Ribadesella, Universidad de Salamanca y UNED, Ribadesella, 208 p.

Hoyos Gómez, M. (1979). *El karst de Asturias en el Pleistoceno superior y Holoceno. Estudio morfológico, sedimentológico y paleoclimático*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 446 p.

Jordá Cerdá, F. y Gómez Fuentes, A. (1982). *Cova Rosa-A*. Universidad de Salamanca, Salamanca, 108 p.

La Edad del Bronce en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel: motillas y paisaje.

The Bronze Age in the surroundings of the National Park of Las Tablas de Daimiel: motillas and landscape.

R. Mediavilla[1], J.I. Santisteban[2], M. Torres[3], A. Celis[4], S. Castaño[5], J. Rey[6] y J. Martinez[6]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, r.mediavilla@igme.es
2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, U.C.M., José Antonio Novais 2, 28040 Madrid, juancho@geo.ucm.es
3 Ayuntamiento de Daimiel, Plaza de España 1, 13250 Daimiel (Ciudad Real) migueltorresarqueologo@gmail.com
4 Museo Comarcal de Daimiel, Luis Ruiz-Valdepeñas 8, 13250 Daimiel (Ciudad Real) albertocelispozuelo@gmail.com
5 Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Alfonso XII 3 y 5, 28014 Madrid, Silvino.Castano@cedex.es
6 Dpto. Geología, E.P.S. de Linares, U. Jaen, Avenida de la Universidad, 23700 Linares (Jaen) jrey@ujaen.es, jmartine@ujaen.es

Palabras clave: Edad del Bronce, motillas, Tablas de Daimiel, medio ambiente, España.

Resumen

El yacimiento arqueológico del Azuer es el más representativo dentro de una tipología de enclaves característicos de la Edad del Bronce en La Mancha (2200-1300 a.C.) definidos cómo ”motillas”, singulares dentro de la Prehistoria Reciente Universal. Se trata de la única motilla excavada y su estudio ha aportado abundante información sobre esta fortificación de planta circular, que incluye un poblado y su necrópolis, y sobre la forma de vida de las gentes que se asentaron en este territorio (Nájera, 1984; Torres Mas, 2015). Las motillas se desarrollan durante un periodo de clima húmedo (Santisteban *et al.* 2016) y se distribuyen, con equidistancias de 4 a 5 kilómetros, a lo largo de las vegas del Río Azuer y del Río Guadiana. En el Guadiana, y en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, se sitúan la Motilla de las Cañas, la Motilla de la Parrilla y la Motilla de Malvecinos. Los estudios geológicos y geofísicos realizados en este entorno, así como el análisis sedimentológico y cronológico de tres sondeos mecánicos ubicados en las proximidades de dichas motillas indican que durante la Edad del Bronce el paisaje lo formaban ríos de márgenes poco definidos vegetados, donde se acumulaba materia orgánica, que transportaban arenas. Las áreas inundadas, que hoy caracterizan al humedal, eran muy escasas y las motillas ocupaban posiciones elevadas con relación al cauce del Guadiana.

Abstract

The Azuer archaeological site is the most representative site of a typology of peculiar settlements of the Bronze Age in La Mancha (2200-1300 BC) called “motillas”, unique within the Universal Recent Prehistory. It is the only excavated “motilla” and its study has provided abundant information about this circular plan fortification, which includes a town and its necropolis, and about the way of life of the people who settled in this territory (Nájera, 1984; Peña et al., 2009; Fernández, 2010, Nájera et al. 2012; Torres, 2015). The “motillas” developed during a period of wet climate (Santisteban et al. 2016) and are equidistant about 4 to 5 kilometers, along the floodplain of the Azuer River and the Guadiana River. In the Guadiana, and in the surroundings of the National Park of Las Tablas de Daimiel, there are the Motilla de las Cañas, the Motilla de la Parrilla and the Motilla de Calatrava la Vieja. The geological and geophysical studies carried out in this environment, as well as the sedimentological and chronological analysis of three mechanical cores drilled in their proximity indicate that, during the Bronze Age, the landscape was formed by sandy rivers with poorly defined vegetated margins, where organic matter accumulated, and flooded areas, like those that presently characterize the wetland, were very scarce.

Referencias

Nájera, T. (1984). *La Edad del Bronce en La Mancha Occidental*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 458p.

Torres Mas, M. (2015). En: I*II Jornadas de Historia de Daimiel.* Comunicaciones, 15-29.

Santisteban, J.I.; Mediavilla, R.; Celis, A.; Castaño, S.; De la Losa, A. (2016). *Quaternary International*, doi: 10.1016/j.quaint.2016.02.021

Aproximación al estudio petrográfico como herramienta para la determinación de procedencia de piezas artísticas realizadas en alabastro.

Approach to petrographic study as a tool for the determination provenance of artistic Works made in alabaster.

Alicia Muñoz del Pozo[1], Josep Gisbert Aguilar[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza 50009 Zaragoza. amdelpozo@gmail.com

Resumen: El alabastro es un material, que desde la antigüedad ha sido utilizado como soporte de numerosas piezas artísticas. Apreciado tanto por su color blanco, como por su baja dureza que permite trabajarlo con facilidad. A pesar de la gran cantidad de obras realizadas en este material, los estudios para determinar su procedencia son escasos, basados principalmente en el estudio de la señal isotópica del Sr, S, O. En el presente trabajo, se propone la posibilidad de determinar la procedencia del alabastro, mediante el estudio petrográfico de láminas delgadas, procedentes de canteras, tanto actuales como históricas, y de piezas artísticas. Un ejemplo de utilidad del estudio petrográfico como herramienta para conocer la procedencia del alabastro, nos lo proporcionan las muestras estudiadas de la cantera de Fuentes de Jiloca (Zaragoza), que nos permite relacionar las muestras de cantera con las de las esculturas de los Marqueses de Ariza, realizadas en alabastro y ubicadas actualmente en la Iglesia parroquial de Ariza (Zaragoza).

Palabras clave: Alabastro, estudio petrográfico, identificación de procedencia, Cuenca de Calatayud (Zaragoza).

Abstract: *Alabaster is a material, which since ancient times has been used as support numerous artistic pieces. Appreciated by its white color, and its low hardness that allows work it easily. Despite the great amount of works made in this material, studies to determine their origin are scarce, mainly based on the study of the isotopic signal Sr, S, O. In this paper, the possibility of determining the provenance of alabaster, through the petrographic study of thin sections, from quarries, both current and historical, and artistic works. An example of use of petrographic study as a tool to know the origin of alabaster, is found in the samples studied from the quarry Fuentes de Jiloca (Zaragoza), which allows us to link samples quarry with sculptures of the Marquises of Ariza, made of alabaster and currently located in the parochial Church of Ariza (Zaragoza).*

Keywords: *Alabaster, petrographic study, identification of provenance, Catayud Basin (Zaragoza).*

INTRODUCCIÓN

El alabastro es un material utilizado en el mundo artístico desde la Antigüedad, ya en época romana encontramos numerosas esculturas realizas con este material. Tendencia que continúo durante la Edad Media y Edad Moderna, y que actualmente está resurgiendo como elemento decorativo. Este material ha sido elegido como soporte de obras artísticas, principalmente por su color, generalmente presenta tonos blancos similares a los del mármol aunque también encontramos alabastros de tonos ocres o marrones, y su baja dureza que lo convierte en un material fácil de trabajar y que permite realizar detalles muy finos en la obra.

La importancia histórica de este material, contrasta con los escasos estudios realizados sobre su procedencia, algunos de los más recientes son los realizados por (Playà et al. 2012; W. Kloppmann et al. 2014, 2017), cuyo estudio se centra principalmente en la caracterización de la señal isotópica del (Sr, S, O) para determinar su procedencia. Aunque en el caso de materiales formados en condiciones físico-químicas similares dentro de una misma cuenca, estos valores pueden ser similares. Por ello, nuestro equipo está trabajando en diversos métodos de nos permitan conocer su procedencia (Gisbert and Muñoz del Pozo, 2018; Muñoz del Pozo and Andrés Palos, 2018).

MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio abarca los depósitos evaporíticos que precipitaron en varias cuencas de la Península Ibérica (Fig.1) durante el Paleogeno y Neogeno (Ortí et al., 2010), se localizan en la Cuenca del Valle del Ebro, Cuenca de Calatayud, la depresión costera valenciana, la Cuenca de Madrid.

El caso concreto que vamos a tratar, corresponde a las variedades de alabastro que se extraen en la localidad de Fuentes de Jiloca (Zaragoza), depositados en la Cuenca de Calatayud durante el Terciario.

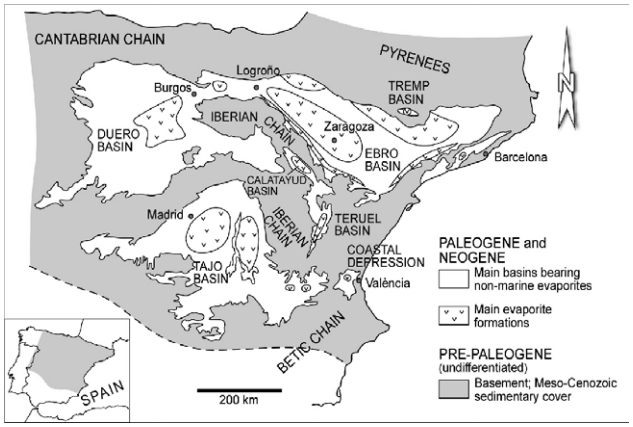


FIGURA 1. Distribución de formaciones evaporíticas. (Tomado de Ortí et al., 2010).

METODOLOGÍA

La metodología seguida en el presente trabajo, se divide en dos partes, el estudio de las piezas artísticas y el estudio de las canteras.

En el caso de las piezas artísticas, se realiza una descripción de *visú* del material, y se toman pequeñas muestras para su posterior estudio en mediante microscopio petrográfico.

Para el estudio de canteras, se toman muestras, tanto de canteras activas como de canteras históricas, cuya ubicación ha sido facilitada por el equipo de Historiadores del Arte de proyecto. Y posteriormente localizadas en el terreno por los geólogos de dicho proyecto.

Se realzan descripciones petrográficas, con el objetivo de encontrar similitudes entre las muestras tomadas en el campo, y las obtenidas de las piezas artísticas.

RESULTADOS

Tras el estudio, mediante microscopio petrográfico, se han podido caracterizar, tres variedades de alabastro presentes en la cantera próxima a la localidad de Fuentes de Jiloca.

Tabaco: Mosaico microcristalino donde domina la textura alabastrina, en el que el 54% de los cristales pertenecen al tipo microcristalina con tamaños entre de 100 a 20 µm, del tipo subidiomorfa tenemos un 20% de los cristales con tamaños entre de 400 a 100 µm y el 10% son del tipo C.E.N.U. con dimensiones entre 1 y 0.4 mm. Sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes de los cristales cóncavo – convexo e incluso rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 1 mm y MinGS microcristalina es 20 µm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 1% alcanzando tamaños entre 100 y 5 µm con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 5 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueletales) cuyos tamaños oscilan entre 250 y 5 µm con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. Destacar de igual modo la presencia de carbonatos que puede representar un 10% alcanzando tamaños de 10 a 5 µm con contactos cóncavo – convexos, junto a los que está asociada la celestina. Dispersos por la muestra se aprecian unos minerales opacos y color oscuro que reconocemos como óxidos asociados a los carbonatos y celestina. (Fig. 2a)

Blanco: Mosaico microcristalino en el cual domina la textura alabastrina, los cristales del tipo microcristalina son el 58% del total con tamaños que van desde las 100 hasta 30 µm, los del tipo subidiomorfa son el 15% de los cristales y sus dimensiones varían entre 400 a 100 µm y el 20% corresponden al tipo C.E.N.U. con dimensiones de 2 y 0.4 mm. Estos cristales tienen hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexo e incluso rectos. El MGS para C.E.N.U. es de 2 mm y MinGS en microcristalina es de 30 µm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados y se aprecia una orientación preferente dentro de los cristales. También resulta relevante la presencia de porfidoblastos que pueden alcanzar tamaños de 1 mm a 250 µm llegando a representar el 2%, sus hábitos son alotriomorfos y los contactos entre los bordes cóncavo – convexo. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina y porfidoblástica en un 2% alcanzando tamaños de 100 a 5 µm con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavo – convexos. Presencia de 2 % cristales de celestina cuyos cristales aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueletales) y sus tamaños oscilan entre 250 y 5 µm con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. (Fig. 2b)

Champán: Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina C.E.N.U. que representa el 70% del total con tamaños de 8 a 0.4 mm, del tipo subidiomorfo hay un 15% cuyas dimensiones en encuentran entre 400 a 100 µm y los de tipo microcristalina son el 10% de los del total con tamaños entre de 100 a 80 µm, los hábitos de estos cristales son alotriomorfos y los contactos de los cristales son mayoritariamente cóncavo – convexo e incluso pueden llegar a ser rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 8 mm y MinGS microcristalina de 80 µm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados sin orientación preferente, aunque se suelen agrupar dando formas arbolescentes. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 % alcanzando tamaños entre 60 y 5 µm con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavos – convexos, en algunos casos pueden tener forma lenticular. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueletales) y cuyos tamaños oscilan entre 150 y 5 µm con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. (Fig. 2c)

Pieza artística (Lámina PA-10): Mosaico microcristalino en el que domina la textura alabastrina C.E.N.U. que representa el 70% del total con tamaños de 8 a 0.4 mm, del tipo subidiomorfo hay un 15% cuyas dimensiones en encuentran entre 400 a 100 µm y los de tipo microcristalina

son el 10% de los del total con tamaños entre de 100 a 80 µm, los hábitos de estos cristales son alotriomorfos y los contactos de los cristales son mayoritariamente cóncavo – convexo e incluso pueden llegar a ser rectos, el MGS para C.E.N.U. es de 8 mm y MinGS microcristalina de 80 µm. Los cristales con textura alabastrina tienen hábitos alargados sin orientación preferente, aunque se suelen agrupar dando formas arbolescentes. Hay anhidrita relicta en forma de inclusiones dentro de los cristales de yeso con textura alabastrina en un 2 % alcanzando tamaños entre 60 y 5 µm con hábitos alotriomorfos y contactos cóncavos – convexos, en algunos casos pueden tener forma lenticular. Presencia de 3 % cristales de celestina, que aparecen tanto agrupados como aislados (cristales esqueletales) y cuyos tamaños oscilan entre 150 y 5 µm con hábitos que pueden ser idiomorfos o subidiomorfos y contactos rectos. (Fig. 3)

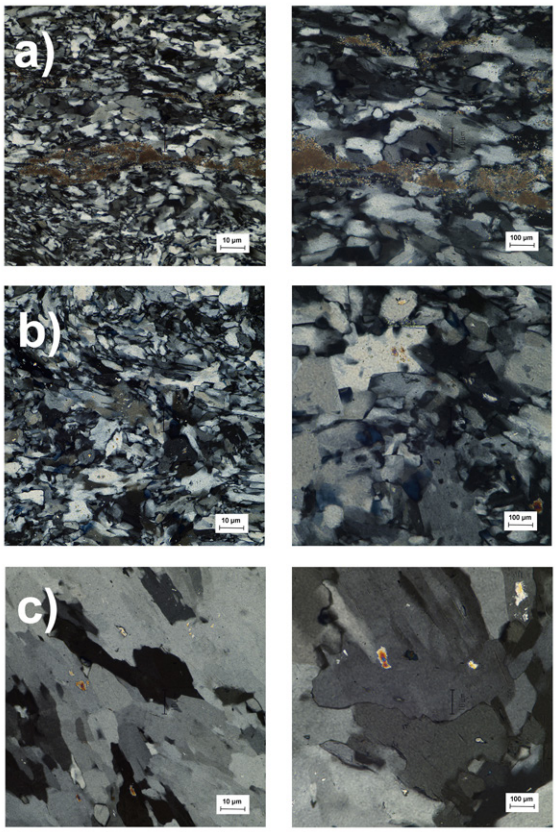


FIGURA 2. Imagen de láminas delgadas de las variedades: Tabaco, Blanca y Champán con nicoles cruzados. Variedades de alabastro presentes en Fuentes de Jiloca

Partiendo del estudio petrográfico, realizado en estas variedades. Hemos podido advertir que la muestra PA-10 (Fig. 3) tomada de la esculturas orantes de los Marqueses de Ariza (González, 2018), que se ubican actualmente en la Cripta de la Iglesia parroquial de Santa María La Real en Ariza (Zaragoza). Desde el punto de vista petrográfico, cohincide con la variedad Champán de la cantera de Fuentes de Jiloca.

Presenta el mismo mosaico microcristalino, con un porcentaje de cristales C.E.N.U. del 70% en ambos casos que alcanzan dimensiones de hasta 8 mm. La cantidad de cristales alabastrinos microcristalinos es del 10% con tamaños mínimos de 80 µm. Son características diagnosticas de esta variedad de alabastro que encontramos en la muestra procedente de la pieza artística.



FIGURA 3. Imagen de las esculturas orantes de los Marqueses de Ariza. Fotos de microscopio de la muestra tomada (PA-10), con nicoles cruzados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las láminas delgadas descritas para la variedad Champán de las canteras de Fuentes de Jiloca (Zaragoza) y la muestra PA-10, presentan la misma textura microcristalina. Lo que nos indica que posiblemente proceden de la misma cantera.

En este caso, sería posible conocer el lugar de procedencia del material utilizado para la realización de las esculturas de los Marqueses de Ariza. Aunque no localizar la cantera histórica de la que se extrajeron los nódulos, ya que es probable que el frente de cantera fuese destruido, debido a que las explotaciones han continuado activas hasta la actualidad.

La descripción petrográfica de láminas delgadas, puede resultar de gran utilidad en casos, en los que características físico-químicas del medio de formación de los materiales sean similares.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizo dentro de los proyectos interdisciplinares financiados por el MINECO HAR2012-32628 y HAR2015-66999-P. Todos los datos históricos

han sido proporcionados por los Historiadores del Arte, pertenecientes a los citados proyectos. Las preparaciones para microscopio, han sido realizadas por *Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros* de la Universidad de Zaragoza.

REFERENCIAS

Gisbert, J., Muñoz del Pozo, A., (2018). Caracterización del alabastro y parámetros útiles para identificar la procedencia en piezas histórico - artísticas, in: Morte, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional.* Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza. 135–158.

González, H., (2018). Polémicas en torno a la identidad y procedencia de los retratos orantes de los Marqueses de Ariza, in: Morte-García, C. (Ed.), *Usos artísticos del alabastro y procedencia del material. Actas I Congreso Internacional*. Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 393–404.

Kloppmann, W., Leroux, L., Bromblet, P., Guerrot, C., Proust, E., Cooper, A. H., Worley, N., Smeds, S. A., Bengtsson, H. (2014): Tracing medieval and renaissance alabaster Works art back to quarries: A multi-isotope (Sr, S, O) approach. *Archaeometry* 56, 2 (2014) 203–219.

Kloppmann, W., Leroux, L., Bromblet, P., Le Pogam, P.-Y., Cooper, A.H., Worley, N., Guerrot, C., Montech, A.T., Gallas, A.M., Aillaud, R., (2017). Competing English, Spanish, and French alabaster trade in Europe over five centuries as evidenced by isotope fingerprinting. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 114, 11856–11860.

Muñoz del Pozo, A., Andrés Palos, E., (2019). Las canteras históricas de alabastro en Aragón y las limítrofes en La Rioja, Navarra y Valencia: Estudio histórico-artístico y petrográfico-geoquímico, in: *XXII Congreso Nacional de Historia Del Arte. Vestir La Arquitectura*. Burgos, 2019, 1978 - 1985.

Ortí, F., Rosell, L., Playà, E., García-Veigas, J. (2010): Large gypsum nodules in the Paleogene and Neogene evaporites of Spain: distribution and palaeogeographic significance. *Geological Quarterly*, 2010, 54 (4): 411–422

Playà, E., Inglès, M., Rosell, L., Ortí, M., Artigau, M., Yeguas, J., Manote, R., and Pe, J. (2012): Determining gypsum alabaster provenance in sculptural artefacts: an application example, *Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 16, 50–1.

Recientes avances en la geocronología y geología del relleno sedimentario de Gran Dolina (Atapuerca).

Recent advances on the geochronology and geology of the sedimentary infill at Gran Dolina (Atapuerca).

J.M. Parés[1], D. Moreno[1], M. Duval[1,2], M. Sier[1], M. Demuro[3], L. Arnold[3]

1 Geocronología y Geología, CENIEH, Paseo Sierra Atapuerca 3, Burgos 09002. Josep.pares@cenieh.es.
2 Australian Research Centre for Human Evolution Environmental Futures Research Institute Griffith University.
3 School of Physical Sciences,University of Adelaide, North Terrace Campus, Adelaide.

Palabras clave: Geoarqueología, Cuaternario, karst, Cuenca del Duero, Arqueología.

Resumen

La cavidad kárstica conocida como Gran Dolina (GD) forma parte de los yacimientos arqueológicos de Atapuerca, situados en la ladera sudoccidental de la Sierra de Atapuerca (Cuenca del Duero). El relleno sedimentario de dicha cavidad tiene una potencia de unos 25 metros, y puede agruparse en dos grandes facies: Facies de entrada y facies de interior. La geometría y estructura de la cavidad se conoce gracias a las observaciones en superficie, combinadas con estudios geofísicos mediante georradar y tomografía eléctrica que permiten la caracterización y organización del karst en general. Desde mediados de los años noventa se han llevado a cabo numerosos análisis para el establecimiento de la cronología del relleno sedimentario, y en particular de los horizontes que contienen fósiles humanos. Los métodos utilizados incluyen paleomagnetismo, resonancia paramagnética electrónica, luminiscencia y series de uranio, aplicados bien en la matriz sedimentaria (Moreno *et al.*, 2015; Pares *et al.*, 2016) o bien directamente sobre restos fosilíferos (Duval *et al.*, 2018). Los datos existentes, en combinación con nuevos resultados, reflejan un registro único del Pleistoceno en la península Ibérica y Europa.

Abstract

The karstic cavity known as Gran Dolina (GD) is one of the archaeological sites of Atapuerca, located on the southwestern slope of the homonymous mountain range (Duero Basin). The sedimentary infilling of this cavity has a minimum thickness of about 25 meters, and can be grouped into two broad facies: Entrance facies and interior facies. The geometry and structure of the cavity is known thanks to surface observations, combined with geophysical studies by ground-penetrating radar and electric tomography that allow the characterization and architecture of the karst in general. Since the mid-1990s, numerous studies have been carried out for establishing a chronological framework of the sedimentary infilling, and in particular of the horizons containing human fossils. Methods used include paleomagnetism, electronic paramagnetic resonance, luminesce, and uranium series, either applied on the sedimentary matrix (Moreno et al., 2015; Pares et al., 2016) or directly on fossil remains (Duval et al., 2018). Existing data, in combination with new results, reflect a unique record of the Pleistocene in the Iberian Peninsula and Europe.

Referencias

Duval, M.¸ Grun, R.; Parés, J.M.; Martín-Francés, L.; Campaña, I.; Rosell, J.; Shao, Q.F.; Arsuaga, J.L.; Carbonell, E.; Bermúdez de Castro, J.M., 2018. *Quaternary Geochronology*, 47:120-137.

Moreno, D., Falguères, C., Pérez, A., Voinchet, P., Ghaleb, B., Despriée, Bahain, J.J., Sala, R., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L. 2015. *Quaternary Geochronology* 30, 535-540.

Parés, J.M., Ortega, A.I., Benito-Calvo, A., Aranburu, A., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., and Carbonell, E., 2016, In: Feinberg, J., Gao, Y., and Alexander, E.C., Jr., eds., *Caves and Karst Across Time*, Geological Society of America Special Paper 516, p. 285–300; doi:10.1130/2016.2516(22).

Caracterización geofísica de técnicas de explotación de nódulos de sílex en el yacimiento de la Leandra (La Muela, Zaragoza).

Geophysical characterization of exploitation techniques of silex nodules in the La Leandra site (La Muela, Zaragoza)

Ó. Pueyo Anchuela [1], J. V. Picazo Millán [2], Mª M. Sampietro Vattuone [3], J. Fanlo Loras [2], A. Pocoví Juan [1], J.L. Peña Monné [4], A. Tarriño Vinagre [5], F. Pérez Lambán [4]

1 Instituto Univ. de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Dpto. Ciencias de la Tierra. Univ. de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). opueyo@unizar.es apocovi@unizar.es

2 Grupo Primeros Pobladores del Valle del Ebro. Dpto. Ciencia de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza; C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). jpicazo@unizar.es, javierfanlo@gmail.com, fperezlamban@gmail.com

3 Universidad Nacional de Tucumán-CONICET. sampietro@tucbbs.com.ar

4 Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Univ. de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). jlpena@unizar.es

5 Grupo de Investigación en Prehistoria, Universidad del País Vasco CENIEH(Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana). andoni.tarrinno@cenieh.es

Palabras clave: nódulos de sílex, geofísica, minería neolítica, La Muela.

Resumen

En el yacimiento de La Leandra (La Muela, Zaragoza) afloran unidades miocenas lacustres que incluyen habituales niveles de especial concentración de nódulos de sílex. Éstos han sido explotados durante varios periodos y, dadas las características climáticas y demográficas, conservan en ocasiones la topografía original desde su explotación. Con el objetivo de evaluar desde el punto de vista geofísico la estructura de una zona explotada del yacimiento, se realizó prospección geofísica por magnetometría, medidas de susceptibilidad magnética de los materiales y prospección geofísica por georradar que fueron integrados en la información obtenida de un vuelo de dron en la zona. La integración de datos obtenida permite identificar una dinámica de explotación a través de pozos verticales, continuidad lateral de las zonas de explotación generando explanadas horizontales cuando existían niveles de interés, o el abandono y posterior relleno de los huecos de explotación generados en el avance de la explotación. El caso analizado permite inferir a partir de los cambios geométricos y estructurales la progresión de las explotaciones de época previsiblemente neolítica y la identificación de una rutina de explotación a modo de minería de transferencia.

Abstract

In La Leandra archaeological site (La Muela, Zaragoza) Miocene lacustrine deposits outcrop and usually present levels with high concentration of silex nodules. These nodules have been exploited during several periods, and due to the weather and demographic characteristics, original topographical features related to their exploitation usually persists. With the aim of evaluating the site exploitation from a geophysical point of view magnetometry, magnetic susceptibility survey and ground penetrating radar were integrated with the obtained information from a drone flight. This analysis permits to identify an exploitation progression from vertical pits, lateral continuity of the excavation when profitable levels were found through horizontal platforms and the later filling of the excavated pits during the excavation progression. The studied case permits to infer from geometrical and structural changes the mining progression from an expected Neolithic quarry and the identification of an exploitation routine through transfer mining.

Huellas de presencia humana paleolítica preservadas en estalagmitas en la Grotte aux Points (Ardèche, Francia)

Palaeolithic human occupation recorded in stalagmites from the Grotte aux Points (Ardèche, France)

M. Richard[1, 2], E. Pons-Branchu[1], H. Valladas[1], M. Toffolo[3], S. Dubernet[3], A. Dapoigny[1], J.-P. Dumoulin[1], E. Douville[1], L. Bordier[1], J. Monney[4]

1 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE-IPSL), Chemin de Saint Aubin, 91191 Gif-sur-Yvette, Francia.
2 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, CENIEH. Paseo Sierra de Atapuerca, 3, 09002 Burgos, España
3 IRAMAT-CRP2A, Université Bordeaux-Montaigne, Maison de l'Archéologie, 33607 Pessac, Francia
4 Laboratoire EDYTEM, Université Savoie Mont Blanc, Bd de la mer Caspienne, 73376 Le Bourget du Lac, Francia

Palabras clave: Cronología; Estalagmitas; Series de uranio; Hollín; Paleolítico superior

Resumen

La Grotte aux Points ("Cueva de los puntos"), en las gargantas del Ardèche (valle del Rhône, Francia), también llamada la "pequeña hermana de la Cueva Chauvet", es famosa por su arte parietal del Paleolítico superior que representa puntos hechos con impresiones de palmas. Sin embargo, excavaciones en tiempos históricos causaron la destrucción parcial de los depósitos y la fractura de varias estalagmitas.

Con el propósito de investigar la cronología de las ocupaciones humanas en la cueva y la evolución de la actividad kárstica, 15 estalagmitas recogidas en el suelo fueron datadas con series de uranio (^{230}Th/U). Varias muestras se tomaron en cada una de las estalagmitas (n=39) para determinar el período de crecimiento y la edad máxima para la fractura. En una de ellas, se observaron capas oscuras que podrían vincularse con el uso del fuego. Los análisis por microscopio electrónico de barrido y espectrometría Raman confirmaron la presencia de hollín en esas capas, proveniente de un fuego que tuvo lugar hace unos 14.000 años, en el Magdaleniense superior. Además, se efectuaron análisis por radiocarbono y de los elementos traza para reconstruir las condiciones paleoambientales.

Las edades corregidas de las 39 muestras analizadas oscilan entre 241.423 ± 4.183 y 432 ± 148 años. Se observa un hiato entre 119.000 y 14.500 años, y se destacan dos fases principales de crecimiento: una antigua entre el MIS 7 y el principio del MIS 5 y una más reciente entre el fin del MIS 2 y el principio del MIS 1. Esos datos proporcionan nueva información sobre la actividad dentro del karst desde el Pleistoceno Medio y la frecuencia de las visitas humanas: algunas de las estalagmitas son coetáneas con las ocupaciones del Paleolítico superior mientras otras se rompieron hace menos de 500 años.

Abstract

The Grotte aux Points ("Points Cave") is an Upper Palaeolithic rock art site in the Ardèche gorges, Rhône valley (France). Also called the "little sister of Chauvet cave", it is famous for providing parietal art including a series of dots made of palm prints. However, excavation of the cave during historic times led to the partial destruction of the sedimentary deposits, and many of the stalagmites were found broken.

To constrain the chronology of human presence at the cave and to understand the evolution of karstic activity, we undertook U-series (^{230}Th/U) dating of 15 stalagmites collected on the floor. Several samples were taken from each stalagmite (n=39) to determine the growth period and to provide a maximum age for the fracture. One of the stalagmites contains dark layers that appeared as possible remnant of fire-related activities at the cave. Scanning electron microscopy and Raman analysis confirmed that dark layers include soot, and U-series indicate that the fire event occurred around 14,000 years ago, during the Upper Magdalenian. In addition, radiocarbon and trace elements analyses were performed, the latter for palaeoenvironmental reconstruction.

Corrected U-series ages obtained from the 39 samples range from 241,423 ± 4,183 to 432 ± 148 years ago. A hiatus is observed from around 119,000 to 14,500 years ago, and two main growth phases are observed: an early one that spans from MIS 7 to the beginning of MIS 5 and a late one that corresponds to the end of MIS 2 and beginning of MIS 1. These ages give new information about the activity in the karst starting from the Middle Pleistocene and the frequency of human visits at the site: some of the stalagmites are coeval with Upper Palaeolithic occupation while others were broken less than 500 years ago.

Metodología para la clasificación del formato tridimensional y del tamaño de los productos líticos clásticos

Methodology for the classification of the three-dimensional format and the grain size of clastic lithic products

A. Tarriño Vinagre[1]

1 Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea 01006 Vitoria-Gasteiz. antonio.tarrinno@gmail.com

Palabras clave: Formato tridimensional, Prisma mínimo, productos clásticos, Diagrama triangular, Diagrama de Zingg

Resumen

La clasificación de los formatos tridimensionales de los productos clásticos de origen geológico es una cuestión que no está resuelta en la actualidad de un modo totalmente satisfactorio y universalmente aceptado. Se propone el 'Prisma Mínimo' como modelo geométrico para construir un sistema de clasificación del formato 3D y del tamaño.

Cualquier clasto lítico se puede circunscribir en un 'Prisma Mínimo' que es el cuboide determinado por sus tres dimensiones ortogonales de menor volumen: Largo (L), Ancho (A) y Espeso (E). Estas dimensiones se utilizan como coordenadas que definen este prisma donde: L= X; A= Y; E= Z. Entonces, cada prisma queda simbolizado por un punto de coordenadas 3D: (X, Y, Z). Si cada uno de estos puntos se une con el origen de coordenadas (proyección cónica), intersectará con el plano: x + y + z = n en un nuevo punto que tendrá una nueva coordenada: (x, y, z). Como sólo pueden existir valores positivos este plano de proyección queda restringido a un triángulo equilátero y por lo tanto se genera diagrama triangular (Tarriño, 2015).

Para construir el sistema de clasificación se dibujan las líneas de los índices de alargamiento y de carenado como límites para los diferentes formatos tridimensionales. Para representar mejor la dispersión y poder trabajar con parámetros estadísticos el diagrama triangular se convierte, por una transformación geométrica, en un diagrama cuadrangular similar al diagrama de Zingg (1935). Esta clasificación se aplica a ejemplos clásicos citados por la literatura geológica (Sneed and Folk, 1958).

Abstract

The classification of the three-dimensional formats of clastic materials from geological origin is an issue that is currently not resolved in a totally satisfactory and universally accepted way. The 'Minimum Prism' is proposed as a geometric model to build a 3D format and grain size classification system.

Any lithic clast can be circumscribed in a 'Minimum Prism' which is the cuboid determined by its three orthogonal dimensions of smaller volume: Length (L), Width (A) and Thickness (E). These dimensions are used as coordinates that define this prism where: L = X; A = Y; E = Z. Then, each prism is symbolized by a 3D coordinate point: (X, Y, Z). If each one of these points joins the coordinate origin (conical projection), it will intersect with the plane: x + y + z = n at a new point that will have a new coordinate: (x, y, z). As there can only be positive values, this projection plane is restricted to an equilateral triangle and therefore a triangular diagram is generated (Tarriño, 2015).

In order to construct the classification system, the lines of the elongation and carinated indices are drawn as limits for the different three-dimensional formats. To better represent the dispersion and to be able to work with statistical parameters, the triangular diagram is converted, by a geometric transformation, into a quadrangular diagram similar to the Zingg diagram (1935). This classification applies to classic examples cited by geological literature (Sneed and Folk, 1958).

Referencias

Sneed, E.D. and Folk, R.L. (1958) *Journal of Geology* 66, 114-150.

Tarriño, A. (2015): *Archaeometry* 57, 928-948

Zingg, T. (1935): *Schweiz Mineral. Petrog. Mitt.* 15, 39-140.

Financiación: Este trabajo ha sido financiado por el proyecto MINECO: HAR2015-67429-P

La cantera de sílex Neolítica de Pozarrate (Treviño, Burgos) al sur de la Cuenca Vasco-Cantábrica

The Neolithic Flint quarry of Pozarrate (Treviño, Burgos) south of the Basque-Cantabrian Basin

A. Tarriño Vinagre[1], D. Herrero Alonso[2], H. Hernández Hernández[1], M. Aguirre Ruiz de Gopegui[3], C. López Tascón[4], I. Elorrieta[1], N. Castañeda[5], A. Bandrés[6], J.A. Mujika Alustiza[1], J. Fdez-Eraso[1]

1 Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea 01006 Vitoria-Gasteiz, antonio.tarrinno@gmail.com
2 Dpto. Historia, Universidad de León 24071 León
3 Dpto. Humanidades, UNED de Bergara 20570 Gipuzkoa
4 Dpto. Historia, Universidad de Oviedo, 33011 Oviedo
5 Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid
6 Dpto. Geología, TÜV SÜD Iberia S.A.U. 26009 Logroño

Palabras clave: Cantera de sílex, Escombrera prehistórica, Neolítico, Sierra de Araico, Sílex de Treviño

Abstract

In the "Sierra de Araico - Montes de Cucho" (Treviño, Burgos and Berantevilla, Álava), in the South-Pyrenean of Miranda-Treviño (Basque-Cantabrian Basin), materials from the continental Tertiary of the Miocene (Aquitaine) outcrop. It is a set of lacustrine-palustrine limestones and marls hosting many levels with nodular and tabular silicifications (Tarriño, 2006). Several of these horizons have flint with exceptional quality for knapping which have been exploited during Prehistory.

On the field, there are many stigmas of mining activities. In the site of Pozarrate (Grandival, Treviño), hillside mining dumps have been identified with crescent morphologies where we are currently carrying out an archaeological excavation. Until now, a very high number of flint fragments have been recovered (tens of thousands of evidences) and abundants remnants of mining extractive tools: dolerite hammers, flint hammerstones and fragments of deer antlers, etc (Tarriño et al., 2014).

It is indeed one of the few prehistoric flint mines dated in the Iberian Peninsula. The chronology obtained have confirmed a Neolithic affiliation for the crescent-dump, offering dates between 5000-4500 (Cal. BC). The information obtained by the study of provenances of Raw Materials during the Upper Pleistocene and the Holocene indicates that Treviño flint have been circulated hundreds of kilometers through archaeological sites of the Cantabrian, the western Pyrenees and the South of the Aquitaine Basin in southwest of France (Tarriño et al., 2015).

Referencias

Tarriño, A., (2006). *El sílex en la Cuenca Vasco-Cantábrica y Pirineo navarro: caracterización y su aprovechamiento en la Prehistoria*. Monografía nº 21. Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira

Tarriño, A., Elorrieta, I., García-Rojas, M., Orue, I., and Sánchez de Lafuente, A. (2014). *Journal of Lithics Studies* 1, 129-147.

Tarriño, A., Elorrieta, I., García-Rojas, M. (2015). *Quaternary International* 364, 94-108.

Financiación: Este trabajo ha sido financiado por el proyecto MINECO: HAR2015-67429-P

Litologías, arquitectura y cinemática de la roca de falla de la Falla de Alhama de Murcia

Lithologies, architecture and kinematics of the Alhama de Murcia Fault Rock

J. Alonso-Henar[1], E. Rodríguez-Escudero[1], C. Fernández[2], J.J. Martínez-Díaz[1], P. Herrero-Barbero[1], J.A. Álvarez-Gómez[1], J.M. Insua Arévalo[1], J.L. Sánchez-Roldán[1]

1 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040, Madrid, Spain jahenar@geo.ucm.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, Campus de El Carmen, 21071-Huelva, Spain

Palabras clave: zona de cizalla, microtectónica, tectónica activa, creep asísmico, transpresión triclínica.

Resumen

En este estudio se presenta una síntesis de las características litológicas y cinemáticas de la roca de falla de la Falla de Alhama de Murcia, en la zona de cizalla de las Béticas Orientales. La excavación de grandes trincheras atravesando la roca de falla y la limpieza de superficies revelan una zona de cizalla muy heterogénea, asimétrica, con varios dominios de deformación que posiblemente estén reflejando diferentes procesos cinemáticos que conviven en el tiempo. Las constricciones cinemáticas han sido posibles mediante la aplicación del modelo analítico de transpresión triclínica con extrusión oblicua (Fernández y Díaz-Azpiroz, 2009), lo que ha permitido testar el modelo con datos de deformación absoluta GPS abriendo una nueva aproximación metodológica para el estudio de las fallas activas, combinando la microtectónica, el análisis cinemático cuantitativo y datos geoquímicos (Alonso-Henar *et al.*, 2020). Los resultados indican que la zona de cizalla presenta procesos de partición de la deformación, posiblemente controlados por contrastes mecánicos: un dominio de baja competencia cinemática (fault gouge), deformado de manera pseudo-dúctil, con valores bajos de vorticidad cinemática y de manera asísmica, estaría reflejando procesos de convergencia regionales (convergencia Eurasia – Nubia), mientras que el resto de los dominios, que acomodan energía elástica, con valores altos de vorticidad cinemática están reflejando los valores de convergencia locales calculados a partir de la red GPS local.

Abstract

This study is a synthesis of the lithological and kinematics features of the Alhama de Murcia Fault Rock, at the Eastern Betics Shear Zone. The trenches excavation and the outcrop cleaning across the fault rock show an heterogeneous and asimetric shear zone with different deformation domains that reflect at the same time different kinematic processes. We have applied the analytic model of general triclinic transpression with oblique extrusion (Fernández and Díaz-Azpiroz, 2009). This study offers the possibility of testing the model with absolute data of active deformation such as GPS velocity gradients and opens a new methodological approach in the study of active fault zones, combining quantitative kinematics, microtectonics and geochemical analyses (Alonso-Henar et al., 2020). The obtained results point to a highly partitioned heterogeneous shear zone with domains showing competency contrasts: a low competency domain composed by the fault gouge, ductilely deformed, with low vorticity values, which probably experienced a steady-state, aseismic slip that reflects regional convergence vectors (convergence Eurasia–Nubia); and a domain out of the fault gouge that accommodates elastic energy, with higher vorticity values, and showing convergence vectors which are parallel to the local convergence vectors calculated from the GPS velocity field.

Referencias

Fernández, C., Díaz-Azpiroz, M., 2009. *Journal of Structural Geology* 31, 1255–1269.

Alonso-Henar, J., Fernández, C., Martínez-Díaz, J.J. (2020). *Journal of Structural Geology* 130, 1-15.

Agrupamiento jerárquico de mecanismos focales en sismotectónica

Hierarchical clustering of focal mechanisms on seismotectonics

J.A. Álvarez-Gómez[1]

1 Department of Geodynamics, Stratigraphy and Paleontology, Faculty of Geology, Complutense University of Madrid, José Antonio Novais, 12, 28040, Madrid, Spain joseantonio.alvarez@ucm.es

Palabras clave: Sismotectónica, tectónica activa, mecanismos focales, terremotos, clustering

Resumen

La sismicidad es usada con frecuencia para deducir características tectónicas de una región. El estudio de los terremotos como componente tectónico, la sismotectónica, ha crecido a lo largo de las últimas décadas convirtiéndose en una herramienta fundamental para la comprensión de la geodinámica, especialmente a partir del análisis de los mecanismos focales. Desde los años 70 los mecanismos focales son calculados de manera sistemática alimentando bases de datos globales. Al aumentar la cantidad de datos disponibles mejora nuestro conocimiento de los procesos tectónicos, pero hace más complejo su análisis. A la hora de representar poblaciones de mecanismos focales se han propuesto diagramas que facilitan su análisis (*e.g.* Frohlich y Apperson, 1992; Kaverina *et al.*, 1996). Para mejorar nuestra capacidad de análisis de mecanismos focales se pueden implementar algoritmos de agrupamiento que nos permiten manejar un mayor número de datos estadísticamente. En este trabajo presento ejemplos de uso de algoritmos de agrupamiento jerárquico (implementados en el software FMC, Álvarez-Gómez, 2019) en diversas series sísmicas y contextos tectónicos.

Abstract

Seismicity is often used to deduce tectonic features of a region. The study of earthquakes as a tectonic component, seismotectonics, has grown over the last decades becoming a fundamental tool for the understanding of geodynamics, especially from the analysis of focal mechanisms. Since the 1970s, focal mechanisms are systematically calculated, populating global databases. The increase of available data improves our knowledge of tectonic processes, but makes their analysis more complex. When representing populations of focal mechanisms, diagrams have been proposed to facilitate their analysis (e.g. Frohlich and Apperson, 1992; Kaverina et al., 1996). To improve our capacity to analyze focal mechanisms, we can implement clustering algorithms that allow us to handle a larger number of data statistically. In this work I present examples of the use of hierarchical clustering algorithms (implemented in FMC software, Álvarez-Gómez, 2019) in various seismic series and tectonic contexts.

References

Álvarez-Gómez, J.A. (2019). *SoftwareX* 9, 299-307.

Frohlich, C., and Apperson, K.D. (1992). *Tectonics* 11(2), 279-296.

Kaverina, A.N., Lander, A.V., and Prozorov, A.G. (1996). *Geophysical Journal International* 125(1), 249-265.

Modelo cinemático del antearco Centroamericano

Kinematic model of the Central American Forearc

J.A. Álvarez-Gómez[1], A. Staller Vázquez[2], J.J. Martínez-Díaz[1,3], C. Canora[4], J. Alonso-Henar[1], J.M. Insua-Arévalo[1] y M. Béjar-Pizarro[5]

1 Department of Geodynamics, Stratigraphy and Paleontology, Faculty of Geology, Complutense University of Madrid, José Antonio Novais, 12, 28040, Madrid, Spain. joseantonio.alvarez@ucm.es
2 Dpto de Ingeniería Topográfica y Cartografía, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, 28031, Madrid, Spain.
3 IGEO Geosciences Institute, Severo Ochoa, 7, 28040, Madrid, Spain.
4 Department of Geology and Geochemistry, Science Faculty, Universidad Autónoma de Madrid, Francisco Tomas y Valiente, 7, 28049, Madrid, Spain.
5 Geohazards InSAR Laboratory and Modelling Group, Geoscience Research Department, Geological Survey of Spain (IGME), Alenza 1, 28003, Madrid, Spain.

Palabras clave: Tectónica, Centroamérica, Geodinámica, Caribe, GPS

Resumen

Se han propuesto diferentes modelos cinemáticos para el punto triple difuso de las placas de Norteamérica, Caribe y del Coco. Las dos hipótesis más aceptadas para el mecanismo generador de la deformación son (a) la tracción ejercida sobre el antearco por la placa de Norteamérica en su deriva hacia occidente y (b) el empuje ejercido por la subducción de la cresta del Coco. Presentamos un campo de velocidades GPS actualizado que es analizado conjuntamente con mecanismos focales de terremotos y relieve regional. Las dos hipótesis han sido utilizadas para hacer predicciones cinemáticas que son comparadas con las observaciones. También incluimos un análisis de oblicuidad para analizar la posible influencia de la partición del deslizamiento en la subducción sobre la cinemática del bloque de antearco. El modelo de tracción por la placa de Norteamérica presenta un mejor ajuste general a las observaciones, aunque el empuje de la cresta del Coco es necesario para explicar la deformación en Costa Rica y el sur de Nicaragua. Ambos mecanismos son por lo tanto necesarios para explicar el conjunto de observaciones en Centroamérica y deben actuar de manera conjunta como mecanismos de generación de la deformación del antearco, de manera análoga a un tren con locomotoras en cabeza y cola. El antearco centroamericano se desplaza a una tasa de 12-14 mm/a hacia el O-NO, estando acoplado a la placa de Norteamérica en Chiapas y Guatemala, donde la deformación por desgarre debida al desplazamiento del antearco es muy baja.

Abstract

Different kinematic models have been proposed for the triple junction between the North American, Cocos and Caribbean plates. The two most commonly accepted hypotheses on its driving mechanism are (a) the North American drag of the forearc and (b) the Cocos Ridge subduction push. We present an updated GPS velocity field which is analyzed together with earthquake focal mechanisms and regional relief. The two hypotheses have been used to make kinematic predictions that are tested against the available data. An obliquity analysis is also presented to discuss the potential role of slip partitioning as driving mechanism. The North American drag model presents a better fit to the observations, although the Cocos Ridge push model explains the data in Costa Rica and Southern Nicaragua. Both mechanisms must be active, being the driving of the Central American forearc towards the NW analogous to a push-pull train. The forearc sliver moves towards the west-northwest at a rate of 12–14 mm/yr, being pinned to the North American plate in Chiapas and western Guatemala, where the strike-slip motion on the volcanic arc is very small.

Deformación tectónica en la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales mediante técnicas geodésicas (GNSS e InSAR), resultados preliminares

Tectonic deformation in the Eastern Betic Shear Zone from geodetic techniques (GNSS and InSAR), preliminary results

M. Béjar-Pizarro[1], A. Staller Vázquez[2], J.J. Portela Fernández[2], P. Ezquerro[1], J.J. Martínez-Díaz[3], J.A. Álvarez-Gómez[3], R. Pérez-López[1] y G. Herrera[1]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. SPAIN. m.bejar@igme.es, p.ezquerro@igme.es, r.perez@igme.es, g.herrera@igme.es

2 Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía. Cra. Valencia km. 7. Campus Sur. Universidad Politécnica de Madrid. 28031-Madrid. a.staller@upm.es, jj.portela@alumnos.upm.es

3 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid. jmdiaz@ucm.es, jaalvare@ucm.es

Palabras clave: Deformación tectónica, Falla Alhama de Murcia, InSAR.

Resumen

La corteza en torno a las fallas activas se deforma como consecuencia de los procesos de carga y descarga que se suceden a lo largo de su ciclo sísmico (Reid 1910). La medida de esa deformación permite entender mejor la estructura y comportamiento de las fallas y estimar su potencial sísmico, lo que es fundamental para la mitigación y prevención del riesgo sísmico. Este estudio está focalizado en la deformación en torno a la Falla de Alhama de Murcia, una de las fallas principales de la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales donde tuvo lugar el terremoto de Lorca de 2011. Para ello analizamos datos geodésicos de interferometria radar (InSAR) y GNSS que cubren la zona de falla en el periodo 2003-2019 y los comparamos con la deformación que predicen los modelos de deformación intersísmica. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos proponemos un enfoque metodológico para separar la señal tectónica de otras señales presentes en los datos InSAR y GNSS (topografía, efectos atmosféricos, deformación en el acuífero del Alto Guadalentín)

Abstract

The crust around active faults is deformed as a result of the loading and unloading processes that occur throughout the seismic cycle (Reid 1910). Measuring this deformation help us better understand the structure and behaviour of faults and estimate their seismic potential, which is fundamental for the mitigation and prevention of seismic risk. This study focuses on the deformation around the Alhama de Murcia Fault, one of the main faults of the Eastern Betic Shear Zone where the Lorca earthquake occurred on 2011. For this purpose, we analyse geodetic data of radar interferometry (InSAR) and GNSS that cover the fault zone during the 2003-2019 period and compare them with the deformation predicted by interseismic models. Taking into account the results obtained, we propose a methodological approach to separate the tectonic signal from other signals present in the InSAR and GNSS data (topography, atmospheric effects, deformation in the Alto Guadalentín aquifer).

Referencias

Reid, H. (1910). *The California Earthquake of April 19, 1906*, vol. 2, ed. R. S. I. Comm., Carnegie Institution, Washington, D.C.

Travertinos asociados a la actividad de la Falla de Alhama de Murcia: Estudio geoquímico para la caracterización de una falla de desgarre.

Travertines deposits associated with the Alhama de Murcia Fault activity: Geochemical analysis for a strike-slip fault characterization.

C. Canora[1], J. Cuevas[1], J.J. Martínez Díaz[2,3] y A. Garralon[4]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, UAM. Campus de Cantoblanco, 28049, Madrid. carolina.canora@uam.es, jaime.cuevas@uam.es
2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Geología, UCM, 28040, Madrid. jmdiaz@ucm.es
3 Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), 28040, Madrid.
4 Dpto. Medio Ambiente, CIEMAT, 28040, Madrid. antonio.garralon@ciemat.es

Palabras clave: Falla de Alhama, riesgo sísmico, análisis geoquímicos, travertinos, isotopos estables.

Resumen

La Falla de Alhama de Murcia (FAM) constituye una de las fuentes sísmicas más importantes de la Península Ibérica. La caracterización de la FAM se ha centrado hasta la fecha en estudios paleosísmicos, geodésicos, sismotectónicos y estructurales. En este trabajo hemos utilizado el estudio geoquímico de los depósitos de travertinos asociados a la falla como una herramienta más para la determinación de su historia sísmica. Los análisis geoquímicos y geocronológicos de estos depósitos puede aportar datos fundamentales para la determinación de la peligrosidad sísmica (Vignaroli *et al.*, 2016; Temiz *et al.*, 2013).

Al noreste de Lorca, ubicados en las inmediaciones de los antiguos baños termales de Carraclaca, aparecen depósitos de travertinos ligados a la FAM. El análisis de los isotopos estables $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ nos indican que, dichos depósitos, son el resultado de la precipitación de carbonatos disueltos en aguas subterráneas profundas, llevadas hasta la superficie a través de la falla en los momentos de actividad. Los análisis también nos indican que debe existir una interacción entre aguas profundas y acuíferos superficiales, lo que hace que se produzca un enriquecimiento de isotopos pesados. Parece, por tanto, que existe una relación directa entre la actividad de la FAM y la formación de travertinos en la zona.

Abstract

The Alhama de Murcia Fault (FAM) is a major seismic source in the Iberian Peninsula. Over the last 20 years, efforts have been focused on the fault characterization through paleoseismic, geodesic, seismotectonic and structural studies in an attempt to reduce the seismic risk in the area. In this work, we use the geochemical analysis of the carbonate deposits (travertine) associated to the fault activity as a new tool for the determination of the seismic history of the FAM. The geochemical and geochronological determination of these deposits informs us about the ruptures history and can provide fundamental data for seismic hazard assessment (Temiz et al., 2013; Vignaroli et al., 2016). Northeast of Lorca city, coinciding with ancient Carraclaca's thermal baths, there are travertine deposits related to the FAM.

The stable isotopes $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ analysis carried out in the Carraclaca's travertine confirm its thermogenic origin. The travertines are the result of the precipitation of carbonates dissolved in deep water, transported to the surface through the fault during seismic events. The analyses also indicate that there is an interaction between deep waters and surficial aquifer, which causes an enrichment in the isotopes signature. It seems, therefore, that there is a direct correlation between FAM activity and travertine formation in the Carraclaca area.

Referencias

Vignaroli, G., Berardi, G., Bili, A., Kele, S., Rossetti, F., Soligo, M. and Bernasconi, M. (2016). *Lithosphere* 8, 335-358.

Temiz, U., Gokten, Y.E. and Eikenberg, J. (2013). *Quaternary International* 312, 132-140.

Terremoto de Benavente de 1909 (Intensidad X, Portugal): Uso de efectos geológicos para la determinación de la fuente sísmica.

1909 Benavente Earthquake (Intensity X, Portugal): Seismic source determination through geological effects.

C. Canora[1], J.L. Giner-Robles[1], J. Elez[2] y P.G. Silva[2]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco, 28049 Madrid. carolina.canora@uam.es; jorge.giner@uam.es

2 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca. j.elez@usal.es; pgsilva@usal.es

Palabras clave: Terremoto Benavente, Valle del Tajo, Efectos geológicos, ESI-07, fuente sísmica.

Resumen

La Escala Macrosísmica de Efectos Ambientales de Terremotos (ESI-07) nace a raíz de la exclusión de los efectos sobre la naturaleza para la asignación de intensidades en las nuevas escalas macrosísmicas europeas (EMS-98). Esta escala permite evaluar el parámetro de intensidad exclusivamente en función de los efectos ambientales de los terremotos (EAEs), en zonas despobladas (sin edificaciones), en sectores en los cuales los elementos diagnósticos han quedado saturados y es aplicable a cualquier época histórica o prehistórica. Proporciona una medida de intensidad cuantitativa con las características geológicas, hidrológicas, geomorfológicas y ambientales asociadas a cada uno de los grados (Guerrieri y Vittori, 2007). Los EAEs representan una importante información para la determinación de la fuente sísmica, sobre todo para terremotos históricos donde las intensidades son calculadas a partir de daños en edificaciones, que no son suficientes para determinar el origen. Este es el caso del terremoto de Benavente de 1909 (Intensidad X) que arrasó al menos siete localidades donde la mayoría de edificaciones colapsaron o tuvieron que ser demolidas, produciéndose así una saturación en la escala de intensidad MM. Por otro lado, los datos de intensidad para la zona epicentral se encuentran bastante sesgados debido a que existían amplias zonas de cultivos (sin apenas edificaciones) y una distribución geográfica desigual de las poblaciones a ambos lados del Valle del Tajo. En este trabajo se presenta la clasificación de los efectos geológicos y ambientales descritos en el detallado informe de campo elaborado por Choffat y Bensaude (1912), según la escala ESI-07, para el cálculo de la fuente sísmica.

Abstract

The Environmental Seismic Intensity Scale (ESI-07) appeared after the exclusion of natural effects for intensity assignments in the new European Macroseismic Scale (EMS-98). This scale allows the evaluation of the intensity exclusively from earthquake environmental effects (EAEs), applicable in unpopulated areas without buildings, areas where damage has been saturated by extensive devastation and of use for any historical or prehistoric period. The scale provides a quantitative intensity assessment from geological, hydrological, geomorphological and environmental anomalies associated with each of the intensity degrees (Guerrieri and Vittori, 2007). The EAEs featured in the ESI scale provide essential information for seismic source assessment, especially for historical earthquakes where the intensity values are calculated trough building damage, no sufficient for source location. The 1909 Benavente earthquake (Intensity X) is one of these cases. This event devastated at least seven towns (most of the buildings collapsed or were demolished), producing saturation on the MM intensity scale. On the other hand, the intensity data for the epicentral area are quite biased due to the existence of large crop areas (barely populated) and an unequal geographical distribution of populations on both sides of the Tagus Valley. This paper presents the ESI-classification of the variety of EAEs described in the field report produced by Choffat and Bensaude (1912), to explore the most feasible location for the responsible seismic source.

Referencias

Guerrieri, L. y Vittori, E. Eds. (2007). APAT, System Cart Srl, Roma, Italia.

Choffat, P., y Bensaude, A. (1912). Lisbon: Ed. Imprensa Nacional.

Terremotos históricos en el Valle Bajo del Tajo (Portugal): Identificación de la rotura superficial a través de estudios paleosísmicos.

Lower Tagus Valley historical earthquakes: Surface rupture identification through paleoseismic analysis.

C. Canora[1], S. Vilanova[2], Y. de Pro[3], S. Heleno[2], P. Pina[2] y J. Fonseca[2]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, UAM. Campus de Cantoblanco, 28049, Madrid. carolina.canora@uam.es
2 CERENA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal. susana.vilanova@tecnico.ulisboa.pt, sandra.heleno@tecnico.ulisboa.pt, jfonseca@tecnico.ulisboa.pt, ppina@tecnico.ulisboa.pt
3 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Geología, UCM, 28040, Madrid. ypro@ucm.es

Palabras clave: Terremotos históricos, Santarem, Valle Bajo del Tajo, paleosismología, rotura superficial.

Resumen

El Valle Bajo del Tajo es una de las zonas con mayor riesgo sísmico del Portugal continental. En esta zona se han producido algunos de los mayores terremotos históricos de la Península Ibérica, como son el llamado terremoto de Lisboa de 1531 y el terremoto de Benavente de 1909. Estos terremotos alcanzaron intensidades superiores a MM X y dejaron su huella en el terreno a través de la formación de grietas, fracturas y estructuras de licuefacción, que afectaban a los materiales más recientes depositados por el río. Debido a la alta dinámica fluvial del Tajo, con procesos de erosión y sedimentación que modifican el paisaje en pocos años, los rastros de estos eventos sísmicos han sido, en su mayoría, borrados de los depósitos más recientes. Por tanto, la identificación de indicios de actividad reciente en el Valle Bajo del Tajo, a día de hoy, es todo un reto.

A pesar de este hecho, varios autores (Fonseca y Vilanova, 2010; Besana *et al.*, 2012; Canora *et al.*, 2015) han conseguido pruebas de actividad reciente asociada a la denominada Zona de Falla del Valle Bajo del Tajo (ZFVBT), una zona de desgarre sinestral de dirección NE-SO. En este trabajo se han identificado dos posibles terremotos históricos asociados al movimiento de la ZFVBT a través del estudio de trincheras paleosísmicas excavadas en los depósitos más recientes de la llanura aluvial del río Tajo.

Abstract

The Lower Tagus Valley is a high-risk seismic zone within Portugal mainland. Some of the greatest historical earthquakes in the Iberian Peninsula have occurred in this area. The 1531 Lisbon earthquake and the 1909 Benavente earthquake are two examples. These earthquakes reached intensities greater than MM X and left an imprint on the surface through fissures, fractures and liquefaction structures, which affected the most recent river deposits. The fast fluvial activity, with erosion and sedimentation processes modifying the landscape in a short time, has resulted in seismic activity evidences being erased from the most recent deposits. Therefore, the recent activity identification in the Lower Tagus Valley is still a challenge.

Despite this fact, several authors (Fonseca and Vilanova, 2010; Besana et al., 2012; Canora et al., 2015) have obtained evidence of recent activity associated with the so-called Lower Tagus Valley Fault Zone (LTVFZ), a NE-SW left-lateral strike slip fault zone. In this work, two historical earthquakes related to the LTVFZ activity have been identified through paleoseismology trenches excavated in the most recent deposits of the Tagus alluvial plain.

Referencias

Canora, C., Vilanova, S., Besana-Ostman, G., Carvalho, J., Heleno, S. and Fonseca, J. (2015). *Tectonophysics* 660, 117-131.

Besana-Ostman, G.M., Vilanova, S.P., Nemser, E.S., Falcao-Flor, A., Heleno, S., Ferreira, H. and Fonseca, J.D. (2012). *Seismological Research Letters* 83, 1, 67-76.

Fonseca, J.F.B.D. and Vilanova, S.P. (2010). *Seismological Research Letters* 81, 534–536.

Escenarios de Riesgo Sísmico tipo PAGER (USGS) aplicados a terremotos históricos en España

USGS PAGER Seismic Risk scenarios applied to selected historical earthquakes in Spain

J. Elez[1], P.G. Silva[1], A. Martínez-Graña[1], R. Pérez-López[2], J.L. Giner-Robles[3], M.A. Rodríguez-Pascua[2]

1 Dpto. de Geología, Fac. de Ciencias, Universidad de Salamanca (USAL), 37008 Salamanca. j.elez@usal.es, pgsilva@usal.es, amgranna@usal.es
2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28004 Madrid ma.rodriguez@igme.es, r.perez@igme.es,
3 Dpto. Geología y Geoquímica. Fac. Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid (UAM) 28049 Madrid. jorge.giner@uam.es

Palabras clave: Terremotos Históricos, ShakeMaps, Riesgo sísmico, Pérdidas humanas y económicas.

Resumen

La aplicación de modelos de ShakeMap a terremotos históricos ha permitido obtener escenarios específicos de movimiento del terreno para este tipo de eventos (Silva *et al.*, 2017). En este trabajo presentamos los resultados preliminares de la aplicación de la metodología PAGER: "*Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response*" (USGS). Esta metodología permite, a partir de modelos ShakeMaps, hacer una estimación de que es lo que ocurriría en términos de Riesgo Sísmico (perdidas económicas y víctimas mortales; Jaiswal y Wald, 2010). El método se aplica a eventos históricos como los de Torrevieja de 1829 (IX-X EMS-98 / X ESI-07) o Arenas del Rey en 1884 (IX-X EMS-98 / X ESI-07), que de tener lugar a día de hoy resultarían desastrosos debido al notable incremento de la vulnerabilidad (expansión urbana y crecimiento de población) que han sufrido esas zonas desde mediados del siglo XX. Los niveles de pérdidas obtenidos no son alentadores y apuntan a que los niveles de respuesta sugeridos son de tipo Internacional (código rojo) para la mayoría de los escenarios calculados. Los escenarios de pérdidas obtenidos no están siquiera contemplados en la normativa de construcción española, no obstante solo alguno de los escenarios examinados prevé pérdidas humanas del orden de las 1000 personas, similares a las registradas en los eventos del siglo XIX. Los datos obtenidos señalan claramente que la sociedad española actual no está preparada para el tipo de eventos que ocurrieron en el pasado y ocurrirán con toda seguridad en un futuro.

Abstract

The application of ShakeMap models to historical earthquakes has made it possible to obtain specific ground motion scenarios for this type of strong events (Silva et al., 2017). In this work we present the preliminary results of the application of the PAGER procedure: "Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response" (USGS). This methodology, based on seismic scenarios (ShakeMaps), allows to make an estimate of what will happen in terms of Seismic Risk (economic losses and fatalities; Jaiswal and Wald, 2010). The method is applied to historical events such as those of Torrevieja in 1829 (IX-X EMS-98 / X ESI-07) or Arenas del Rey in 1884 (IX-X EMS-98 / X ESI-07), which would be disastrous today due to the notable increase in vulnerability (urban expansion and population growth) that the study zones have suffered since the middle of the 20th century. The resulting economic losses for both earthquakes are not encouraging and indicate that the suggested earthquake response hold an international level (red code) for most of the calculated scenarios. The expected damage scenarios are not even contemplated in Spanish building regulations, although only some of the examined scenarios anticipate fatalities in the order of 1000 persons, similar to those truly recorded in the historical events of the 19th century. The obtained results clearly indicate that at present the Spanish society is not prepared for this type of strong events that occurred in the past and will certainly occur in the future.
This work has been funded by the QTECSPAIN project MINECO-FEDER CGL2015-67169-P, USAL.

Referencias

Silva, P.G., Elez, J., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Roquero, E., Bardají, T. y Martínez-Graña, A.M. (2017). *Quaternary international* 451, 185-208

Jaiswal, K.S., y Wald, D.J. (2010). *Earthquake Spectra*, 26 (4), 1017-1037.

Estructuras neotectónicas y estado de esfuerzo asociados a la colisión oblicua y formación de la microplaca Septentrional en el norte de la República Dominicana: implicaciones para la evaluación del riesgo sísmico

Neotectonic structures and stress field associated to oblique collision and Septentrional microplate formation in northern Dominican Republic: implications for the seismic hazard assessment

J. Escuder Viruete[1], Y. Pérez[2], Á. Suárez Rodríguez[1], J. García Senz[1], B. Roque[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España, La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, España j.escuder@igme.es
2 Servicio Geológico Nacional, Av. Winston Churchill 75, 3er piso, Santo Domingo. República Dominicana

Palabras clave: Neotectonics, strike-slip fault, fault-slip data inversion, Caribbean plate, seismic hazard.

Resumen

La colisión oblicua activa entre las placas Caribeña y Norte Americana ha dado lugar a la formación de la microplaca Septentrional, que está limitada al N por la zona de subducción de La Española-Puerto Rico y al S por la Zona de Falla Septentrional (ZFS). En el N de la República Dominicana, el registro litoestratigráfico indica que la destrucción de la plataforma carbonatada somera desarrollada en el ante arco, el levantamiento y erosión de la Cordillera Septentrional-Península de Samaná, la emersión de la Cuenca del Cibao, la sedimentación sin-tectónica de abanicos aluviales y el levantamiento de terrazas de coral del Cuaternario son procesos relacionados con la colisión oblicua de la Plataforma de Bahamas, que comenzó en el Plioceno más alto al Pleistoceno Inferior y continúa en la actualidad. En esta área, el análisis geométrico y cinemático de las estructuras neotectónicas a todas las escalas y el campo de esfuerzo regional obtenido desde la inversión de datos de desplazamiento en fallas tardi-Cenozoicas, establece que la colisión de dirección ENE indujo un campo de esfuerzos externo que dio lugar a la formación de la ZFS de dirección ONO-ESE y movimiento senestro, cuando fue transferido a la placa de Caribe superior. Así, la ZFS es una falla cóncava desarrollada como el límite interno de una lámina de ante arco. Para acomodar internamente el campo de esfuerzos impuesto externamente, esta lámina desarrolló pliegues y fallas subsidiarias que delimitan bloques tectónicos. Los valores de la máxima aceleración del terreno calculados para la ZFS indican que esta estructura constituye la mayor amenaza sísmica en el N de República Dominicana.

Abstract

Active oblique collision between Caribbean and North America plates has resulted in the formation of the Septentrional microplate, which is limited to the N by the North Hispaniola subduction thrust and to the S by the Septentrional Fault Zone (SFZ). In northern Dominican Republic, lithostratigraphic record indicates that destruction of the shallow-water carbonate platform developed in the forearc, uplift and erosion of the Cordillera Septentrional-Samaná Peninsula, emergence of the Cibao Basin, syn-tectonic deposition of alluvial fans and uplift of Quaternary coral reef terraces are processes related to the oblique collision of the Bahamas Platform, which began in the highest Pliocene to Early Pleistocene and continues today. In this area, geometric and kinematic analysis of neotectonics structures at all scales and stress-field solutions obtained from late Cenozoic fault-slip data establish that ENE-directed collision induced an external (far-) stress-field that resulted in the generation of the WNW-ESE trending, left-lateral strike-slip SFZ, when it was transferred into the upper Caribbean plate. Thus, the SFZ is a concave master fault developed as the inland boundary of a tectonic forearc sliver. To accommodate internally the imposed external stress-field, the sliver developed folds and subsidiary faults that bound tectonic blocks. Highest peak ground acceleration values computed for the SFZ indicates que this structure constitutes the greatest seismic hazard in northern Dominican Republic.

Distribución de tamaños de bloques en avalanchas de rocas: entendiendo el significado no fractal de un proceso sismo-activo

Block size distribution in rock avalanches: insights for a not fractal seism-active process

F. J. Fernández y R. Menéndez-Duarte

Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco sn, 33005 Oviedo Spain. fjfernandez@uniovi.es, ramendez@uniovi.es,

Palabras clave: Avalancha de rocas, tectónica activa, fragmentación, molienda, distribución de ley potencial.

Resumen

Hemos investigado la distribución de tamaños de bloque (BSD) y sus respectivas rugosidades y excentricidades en cuatro depósitos de avalanchas de rocas calizas desencadenadas sísmicamente en los escarpes occidentales y meridionales de la Sierra de la Sobia (Cordillera Cantábrica, NO Iberia). El BSD ha sido determinado por análisis digital de orto-imágenes con suficiente resolución para la delineación manual de tamaño de bloque (r_i) > 1dm y está caracterizado por la pendiente, *D*, de su histograma log(frecuencia)-log r_i. La BSD no es fractal; hemos observado dos pendientes en todas las BSDs. Las fracciones de tamaños de bloques mayores (r_i > 1m) tienen pendientes con valores-*D* que varían entre 2,70 y 2,24, mientras que las fracciones con tamaño de bloque r_i < 1m presentan unas pendientes *D* mucho más bajas. Por lo tanto, la fragmentación de bloques se produjo por un proceso dinámico de rotura similar en todas las avalanchas de rocas estudiadas y que se caracteriza por dos estadios: (i) fragmentación dinámica y balística desde el escarpe de rotura sísmico; (ii) la posterior fragmentación por desgaste y rozamiento desde la ladera erosionada hasta el cuerpo de acumulación, causó la homogenización de BSD en las fracciones de tamaño de bloques ri < 1m. El tamaño de bloque donde se produce la ruptura de pendiente es el mismo (r_k= 1m) en todos los depósitos de avalancha analizados y este cambio en la pendiente probablemente representa un cambio en el mecanismo dominante durante la fragmentación de (i) a (ii). r_k es un parámetro dependiente de la litología (calizas en este estudio) que podría estar controlado por la ley de fragmentación de Kick (1885).

Abstract

We have investigated the block size distribution (BSD) and their respective roughness and eccentricities within four rock avalanche deposits triggered seismically onto the western and southern steep limestone crags of Sierra de la Sobia (Cordillera Cantábrica, NW Iberia). The BSD has been determined by the digital analysis of ortho-images with enough resolution for the hand-outlined block size (r_i) > 1dm and it is characterized by the slope, D of its log(frequency)-logri histogram. The BSD is not fractal; we observe two slope for all BSDs. The larger block size fractions (r_i > 1m) have slope D-values ranging between 2.70 and 2.24, whereas the block size fractions r_i < 1m have very lower D-values. Therefore, the block fragmentation is developed by a similar breakage dynamic process within all the rock avalanches analysed, and it is characterized by two-stage: (i) dynamic and ballistic fragmentation from the aftershock rupture scarp; (ii) the further fragmentation by wear and attrition from the scar slope to the accumulation body, caused the BSD-homogenization within the block size fractions r_i < 1m. The block size at the slope change (r_k) is the same for all the accumulation bodies analysed and such slope change probably represents a change in the dominant fragmentation mechanism from (i) to (ii). r_k is a lithology-dependent parameter (limestone in this study) that might be controlled by the fragmentation law of Kick (1985).

Referencias:

Kick, F. (1885). *Das Gesetz der Proportionalen Widerstande und seine*. Anwendung, Leipzig. 116 p.

Avalanchas de rocas inducidas por tectónica activa Cuaternaria en la Sierra de la Sobia (Cordillera Cantábrica, NO Iberia)

Rock avalanches induced by Quaternary active tectonic in Sierra de la Sobia (Cantabrian Mountains, NW Iberia)

F. J. Fernández, R. Menéndez-Duarte y M. Iglesias

Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco sn, 33005 Oviedo Spain. fjfernandez@uniovi.es, ramendez@uniovi.es, miglesias@geol.uniovi.es,

Palabras clave: Avalancha de rocas, tectónica activa, Arco Cantábrico, Cordillera Cantábrica.

Resumen

La Sierra de la Sobia es un relieve estructural de calizas carboníferas y ca. 20 km de longitud, producido en el bloque cabalgado de la Falla de León como consecuencia del apretamiento Alpino N-S del oroclinal tardi-Varisco conocido como Arco Cantabrico (AC). El estudio de 9 avalanchas de rocas, desencadenadas a lo largo de las vertientes sur-occidental y meridional de la sierra, revela su relación con la tectónica reciente de fallas de desgarre menores (de desplazamiento métrico), dispuestas trasversal y paralelamente al AC y que cortan en superficie una de las bifurcaciones septentrionales de la Falla de León. Los depósitos de las avalanchas están formados por cuerpos de acumulación en los que se han diferenciado al menos tres avenidas superpuestas. Las edades U-Th del cemento carbonatado, que cubre los bloques de los depósitos más antiguos, se corresponden con los episodios marinos isotópicos (MIS) interglaciares desde el MIS 9a hasta MIS 1. La presencia de depósitos de bloques no cementados sobre los depósitos cementados sugiere la recurrencia Holocena de estas fallas. La longitud máxima de las fallas de desgarre es < 3 km y su desplazamiento horizontal máximo < 70 m. La inversión del deslizamiento de las fallas y su cinemática reciente indica un régimen tectónico compresivo con el máximo esfuerzo compresivo horizontal (SHmax) dispuesto aproximadamente N-S. Se ha restaurado la deformación reciente de la Sierra de la Sobia, asumiendo un mecanismo por deformación longitudinal tangencial, con la línea neutra situada sobre la línea media de cumbres (RLS). El apretamiento reciente de la sierra produjo una extensión de ca. 300 m. La extensión a angular de 3,32º a lo largo de la vertiente occidental convexa de la sierra balancea la restauración rígida del salto vertical que las fallas trasversales producen en la RLS.

Abstract

Sierra de la Sobia is a structural relief of carboniferous limestone and ca. 20 km length, developed in the León Thrust footwall by the N-S Alpine tightening of the late-Variscan orocline known as Cantabrian Arc (CA). The study of 9 rock avalanches, triggered along the south-western and southern hillslope, revels the current active tectonic of the strike-slip minor (metric displacement) faults. These faults are trending transvers and parallel to CA and they are cutting one splay trace of the León Thrust. The avalanche deposits consist in unless three accumulation bodies superpose. U-Th dating carbonate of the coated limestone blocks yield interglaciers Marine Isotopic Stages (MIS) from MIS 9a to MIS 1. The not cemented blocks deposits overlaying the cemented deposits suggests the Holocene recurrence of such faults. The strike-slip fault traces have maxima lengths < 3 km and < 70 m of maxima strike separation. The fault slip inversion engenders a compressive regime, characterised by the N-S trending of the maximum horizontal stress (SHmax), which is consistent with the current fault kinematics. The recent deformation of Sierra de la Sobia is restored, assuming longitudinal tangential strain with the neutral line locates along the range summits line (RLS). Current tightening of the range extends 300 m its outer arc. The whole angular extension of 3.32º of along the convex south-western hillslope of the range is in balance with the rigid throw of the transverse strike-slip faults from the restored RLS.

Modelos dinámicos de rotura de los escarpes calizos sobre las avalanchas de roca en la Sierra de la Sobia versus riesgo sísmico

Dynamic failure models of limestone rupture scarps onto the rock avalanches belonging to Sierra de la Sobia versus seismic hazard

F. J. Fernández, L. Pando y R. Menéndez-Duarte

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005, Oviedo, Spain. fjfernandez@uniovi.es, ramendez@uniovi.es, pandoluis@ uniovi.es,

Palabras clave: Avalancha de rocas, Cordillera Cantábrica, estabilidad de laderas, análisis dinámico, riesgo sísmico.

Resumen

Hemos investigado la inestabilidad mecánica en cuatro escarpes de ruptura, dispuestos sobre las laderas occidental y meridional de la Sierra de la Sobia (Asturias, NO España). Los escarpes de rotura se han desarrollado sobre caliza de edad carbonífera (Formación Valdeteja) y tienen una geometría planar controlada por fallas de desgarre activas, con longitudes menores de 3 km que se disponen paralelas o trasversales con respecto al trazado arqueado de la sierra. A lo largo de los taludes de rotura se han medido 350 orientaciones de discontinuidades mecánicas y se han clasificado para analizar cuáles son críticas o estables de acuerdo a cuatro modos de rotura dinámicos: deslizamiento planar (PS), deslizamiento por cuñas (WS), vuelco directo (DT) y vuelco flexural (FT). La arquitectura de los escarpes de rotura es mecánicamente estable de acuerdo con los bajos porcentajes de riesgo a los distintos modos de rotura (< 14 % por PS, < 26 % por VS, < 30 % por DT y < 25 % por FT). Sin embargo, si se alcanzan aceleraciones sísmicas horizontales entre 0,1 y 0,15g, los factores de seguridad correspondientes disminuyen por debajo de 1,3 y los taludes podrían desestabilizarse. Con estos resultados, parece probable que en la Sierra de la Sobia se puedan desencadenar nuevas avalanchas, puesto que es una zona sismo-activa de la Cordillera Cantábrica y las aceleraciones modelizadas están dentro del rango de pico de aceleraciones que el Mapa de Riesgo Sísmico Europeo del 2013 predice para el NO de Iberia. Además, todavía existen grandes relieves relictos inestables por encima de algunas zonas de acumulación.

Abstract

We have investigated the mechanical instability of four limestone rupture scarps that lie onto the western and southern hillslope of Sierra de la Sobia (Asturias, NW Spain). The rupture scarps are developed onto limestone of Carboniferous age (Valdeteja Formation) and have planar geometry controlled by active small strike-slip faults, with lengths smaller than 3 km, that are trending parallel or transverse to the arcuate trace of the range. 350 mechanical discontinuities orientations have been measured along of the depletion slopes and classified in order to analyser which are critical or stables for four dynamical failure modes: planar sliding (PS), wedge sliding (WS), direct toppling (DT) and flexural toppling (FT). The architecture of the rupture slopes is stable mechanically, according to the low risk for failure modes (< 14 % by PS, < 26 % by VS, < 30 % by DT and < 25 % by FT). However, if horizontal seismic accelerations rise values ranging between 0.1 and 0.15 g, then the corresponding safety factors decrease below 1.3 and rupture scarps could become unstable. New events of rock avalanche seem to be probably with this results, since Sierra de la Sobia is a seism-active zone of the Cantabrian Mountains and accelerations modelled are into the range of peak ground acceleration that the 2013 European Seismic Hazard Map predicts for NW Iberia. Moreover, unstable huge relict reliefs are still above some of the accumulation zones.

Estructuras activas y riesgos geológicos en el sector central de la Cordillera Bético-Rifeña y Mar de Alborán

Active structures and geological hazards in the central sector of the Betic-Rif Cordillera and the Alboran Sea

J. Galindo-Zaldívar[1,2], G. Ercilla[3], A.J. Gil[4,5], J.A. Peláez[6], L. González-Castillo[1], J.M. González-Vida[7], F. Lamas[8], E. D'Acremont[9], V. Tendero[1,2], O. Azzouz[10], A. Madarieta[1], F. Estrada[3], M.J. Borque[4,5], J.T. Vazquez[11], F.J. Martínez-Moreno[12], A. Sanchez-Alzola[13], M. Makkaoui[10], C. Sanz de Galdeano[2], M. Comas[2] y M. Benmakhlouf[14]

1 Dpto. Geodinámica, Universidad de Granada 18071 Granada. jgalindo@ugr.es
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. de Granada) 18071 Granada.
3 Instituto de Ciencias del Mar, CSIC 08003 Barcelona. gemma@icm.csic.es; festrada@icm.csic.es
4 Dpto. Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, 18071 Jaén. ajgil@ujaen.es.
5 CEACTierra, Universidad de Jaén, 18071 Jaén.
6 Dpto. Física, Universidad de Jaén, 23071, Jaén. japelaez@ujaen.es
7 Dpto. Matemática Aplicada, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Málaga, 29071 Málaga. jgv@uma.es
8 Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada, España. flamas@ugr.es
9 Sorbonne Université, CNRS-INSU, ISTeP UMR 7193, F-75005 Paris, France. elia.dacremont@sorbonne-univsersite.fr
10 Lab. Géologie Appliquée, Université Mohammed Ier, Oujda, Marruecos. azzouzomar@yahoo.fr, makkstu.mm@gmail.com
11 Instituto Español de Oceanografía, 29640, Fuengirola, Spain, juantomas.vazquez@ieo.es
12 Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749–016, Lisboa, Portugal. fjmoreno@fc.ul.pt
13 Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Univ. Cádiz.11510 Cádiz. alberto.sanchez@gm.uca.es
14 Université Abdelmalek Essaâdi, Tetouan, Marruecos. benmaklouf@yahoo.fr

Palabras clave: Fallas activas, sismicidad, tsunamis, integración mar-tierra, Cordillera Bético-Rifeña

Resumen

La actividad geodinámica reciente en la Cordillera Bético-Rifeña y el Mar de Alborán está determinada por la interacción entre los procesos de subducción con roll-back en el Oeste y la indentación tectónica en el Este. La integración de datos en mar y tierra en el proyecto DAMAGE caracteriza la zona central de interacción. En el extremo septentrional, la sismicidad de la región frontal de Sierra de Cazorla está asociada a indentación tectónica incipiente. Hacia el Sur, en la Cuenca de Granada, interaccionan fallas extensionales sísmicas y asísmicas de alto y bajo buzamiento. Las fallas normales activas en el Campo de Dalías, están conectadas con fallas de salto en dirección neoformadas que afectan el Mar de Alborán, y son responsables del terremoto de Alhucemas de 2016 (M 6.3). Hacia el Rif se identifican nuevas zonas de deformación en Alhucemas sobre fallas ciegas con importante actividad sismogénica en 1993 y 2004. Estas estructuras tienen asociada una importante peligrosidad geológica relacionada con la estabilidad de los taludes y la generación de tsunamis en el Mar de Alborán y estabilidad de masas de agua en embalses, cuya incidencia económica y social se debe considerar y cuantificar.

Abstract

The recent geodynamic activity in the Betic-Rif Cordillera and the Alboran Sea is determined by the interaction of subduction processes with roll-back in the West and tectonic indentation in the East. The integration of sea and land data in the DAMAGE project characterizes the central area of interaction. At the northern end, the seismicity of the frontal region of Sierra de Cazorla is associated with incipient tectonic indentation. To the South, seismic and aseismic extensional faults of high and low angle interact in the Granada Basin. The active normal faults in the Campo de Dalías are connected with recent and new strike-slip faults that affect the Alboran Sea, being responsible of the 2016 Alhoceima earthquake (M 6.3). Towards the Rif, new areas of deformation in the Al Hoceima region are identified on blind faults with significant seismogenic activity in 1993 and 2004. These structures represent an important geological hazard related to slope instability and tsunami development in the Alboran Sea and in water reservoirs. The economic and social impact of this geological hazard should be considered and quantified.

Integración de fallas a escala de sistema como fuentes para un cálculo probabilista de la peligrosidad sísmica de las Béticas Orientales

Integrating faults at a system scale as sources for a probabilistic seismic hazard assessment of the Eastern Betics

O. Gómez-Novell[1], J. García-Mayordomo[2], M. Ortuño[1] y Eulàlia Masana[1]

1 RISKNAT Group, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, España (octgomez@ub.edu)
2 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, España

Palabras clave: Peligrosidad sísmica, Rotura de falla, Aceleración pico del terreno, Paleosismología.

Resumen

La inclusión de fallas como fuentes sismogenéticas en los cálculos probabilistas de peligrosidad símica empieza a ser una práctica común merced al avance de los estudios de geología de terremotos en todo el mundo. Al mismo tiempo, la ocurrencia reciente de terremotos dañinos con roturas de falla complejas (*e.g.* Kaikoura, Cucapah) ha evidenciado aún más el interés de modelar las fallas no sólo como fuentes independientes, sino como sistemas. En este estudio presentamos un cálculo probabilista de peligrosidad sísmica (PSHA) para el SE de España en el que se han modelizado las principales fallas de la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales (ZCBO) como fuentes sismogenéticas para el cálculo. Como novedad respecto a otros estudios en España y con el fin de incorporar el factor de interacción entre fallas, la modelización de fuentes se ha llevado a cabo considerando distintos escenarios de rotura multi-falla a nivel del sistema. Estos modelos, ya publicados en Gómez-Novell *et al.* (2020), se han ponderado en un árbol lógico para el cálculo. Los resultados muestran un control claro de las fallas de la ZCBO en la peligrosidad para todos los períodos de retorno, especialmente los de 2475 y 4975 años, incrementando los valores de aceleración pico del terreno (PGA) hasta ~1g en algunas áreas respecto a modelos que no consideran fallas como fuentes. Estos valores máximos se encuentran alrededor de las fallas de Alhama de Murcia y Carboneras, que son las de mayor tasa de actividad. A pesar de los resultados, hay que tener en cuenta que los modelos de peligrosidad calculados están condicionados a la cantidad y calidad de los datos geológicos disponibles de las fallas estudiadas. Estas incertidumbres son un punto clave de discusión en la ZCBO.

Abstract

The inclusion of faults as seismogenic sources in probabilistic seismic hazard assessments (PSHA) has become a common practice as more and higher quality paleoseismic data on faults has become available. Moreover, the occurrence of earthquakes with complex fault-ruptures has evidenced the need to understand faults as interacting systems rather than independent sources. In this study, we present a PSHA for the SE of Spain in which we have considered the main faults of the Eastern Betics Shear Zone (EBSZ) as seismogenic sources. In contrast with previous studies in Spain, and in order to account for fault interaction, we considered different scenarios of multi-fault ruptures at a system-level for the source modelling. These models, previously published in Gómez-Novell et al. (2020), are weighted in a logic tree for the calculations. The results show a clear control of the EBSZ faults in the seismic hazard for all return periods, especially for 2475 and 4975 years. The peak ground acceleration (PGA) values are increased up to ~1g in some areas with respect to the models that do not consider faults as sources. These maximum values concentrate around Alhama de Murcia and Carboneras faults, the ones with higher activity rates. Despite the results, it should be considered that the hazard models strongly depend on quantity and quality of the geological data available on the faults. Such uncertainties are a key discussion point at the EBSZ.

Referencias

Gómez-Novell, O., Chartier, T., García-Mayordomo, J., Ortuño, M., Masana, E., Insua-Arévalo, J. M. y Scotti, O. (2020). *Engineering Geology,* 265. doi: 10.1016/j.enggeo.2019.105452

Evidencias de paleo-rupturas superficiales a ambos flancos de un lomo de presión en la Falla de Alhama de Murcia (SE España)

Evidence of paleo-surface ruptures at both flanks of a pressure ridge on Alhama de Murcia Fault (SE Spain)

O. Gómez-Novell[1], M. Ortuño[1], J. García-Mayordomo[2], Eulàlia Masana[1], Thomas Rockwell[3], Stéphane Baize[4] y Raimon Pallàs[1]

1 RISKNAT Group, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, España (octgomez@ub.edu)
2 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, España
3 Department of Geological Sciences, San Diego State University, 92182 San Diego, California, EUA.
4 Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire – Seismic Hazard Division (BERSSIN), 92262 Fontenay-aux-Roses, Francia

Palabras clave: Paleosismología, Paleoterremoto, Ruptura superficial, Lomo de presión.

Resumen

En este estudio presentamos los primeros resultados paleosísmicos a lo largo de un transecto completo del lomo de presión frontal de la Falla de Alhama de Murcia (FAM). La FAM es una de las más activas de la Península Ibérica, con numerosas evidencias de sismicidad histórica e instrumental asociada y con tasas de desplazamiento estimadas entre 1.0 y 1.7 mm/año. Se trata de una falla lateral oblicua sinestral que en algunos segmentos se ramifica en varias ramas principales. En el segmento central (Lorca-Totana), la falla se divide en hasta cinco trazas, siendo las dos frontales los límites de un lomo de presión. De éstas, la rama NO se ha estudiado mediante paleosismología en varios trabajos mientras que la SE nunca se ha caracterizado, siendo este el primer trabajo que evidencia su actividad holocena. Presentamos los resultados del análisis de una trinchera de 7 m de profundidad en la rama NO y 5 trincheras regulares en la SE que han permitido; a) ampliar el catálogo de paleoterremotos en la primera, interpretando un total de 13 eventos y b) demostrar la existencia y actividad cuaternaria de la falla que limita el lomo de presión al SE. Asociados a esta rama se han interpretado un mínimo de 5 paleoeventos, que generan un salto vertical acumulado de al menos 4-5 m. El último evento es más joven de 8-9 ka BP, según nuevas dataciones de radiocarbono. Los resultados de estos dos emplazamientos permiten identificar una partición de la deformación, teniendo la rama NO mayor componente lateral y la SE en buzamiento. También se han podido refinar los parámetros sísmicos de la FAM. Un catálogo de paleoterremotos más completo permite reevaluar los períodos de recurrencia asignados para esta falla y las estimaciones de desplazamiento medio por evento.

Abstract

In this study we present the first paleoseismic results along a complete transect of the frontal pressure ridge of Alhama de Murcia Fault (AMF). AMF is one of the most active faults in the Iberian Peninsula, with many evidence of historical and instrumental seismicity, and inferred slip rates between 1.0-1.7 mm/yr. It is an oblique left-lateral strike slip fault that, in some segments, ramifies into several branches. In the central segment (Lorca-Totana), the fault divides into at least 5 branches, being the two frontal ones the limits of a pressure ridge. The NW branch has been previously studied in several works, while the SE branch has never been characterized; our study is the first one to provide evidence of its Holocene activity. We show the results of a 7 m deep trench in the NW branch and 5 regular trenches in the SE branch that allowed to; a) enlarge the paleoearthquake catalogue in the NW branch by interpreting a total of 13 paleoearthquakes and b) unveil the existence and Quaternary activity of the fault limiting the pressure ridge to the SE. 5 paleoevents have been identified in this branch showing cumulative vertical offsets of 4-5m. The last identified event is younger than 8-9 kyr BP based on new radiocarbon dates. The results obtained in these two sites allow identifying a partition of the deformation; the NW branch accommodates most of the lateral component and the SE branch the dip-slip component. The study also enables refining the seismic parameters of AMF. A more complete paleoearthquake catalogue allows reassessing the recurrence intervals assigned to this fault and the mean slip per event estimations.

Simulaciones de sismicidad sintética basadas en las propiedades físicas de las fallas y la transferencia de esfuerzos: aplicación al Sistema de Fallas de las Béticas Orientales (SE España)

Physics-based earthquake simulations in the Eastern Betic Fault System (SE Spain)

P. Herrero-Barbero[1], J.A. Álvarez-Gómez[1], C. Williams[2], P. Villamor[2], J.J. Martínez-Díaz[1], J. Alonso-Henar[1], J.M. Insua-Arévalo[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España. pherrerob@ucm.es
2 GNS Science, PO Box 30368, Lower Hutt 5040, New Zealand

Palabras clave: Sismicidad sintética, RSQSim, Zona de Cizalla de las Béticas Orientales.

Resumen

Muchos de los terremotos históricos más destructivos ocurridos en la Cordillera Bética están relacionados con la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales (ZCBO): estructura tectónica dominada por fallas de desgarre sinestral, algunas con componente inversa. Cuando estimamos escenarios de rotura sísmica en este sistema encontramos algunas limitaciones: parámetros geométricos vagamente definidos, grandes incertidumbres asociadas a estimaciones de tasas de deslizamiento, que son generalmente bajas (< 1 mm/a), y que el catálogo histórico cubre un periodo de tiempo corto en comparación con los largos intervalos entre grandes eventos. La sismicidad sintética puede resolver las limitaciones de los catálogos reales (*e.g.*, Shaw *et al.*, 2018) y proporcionar interesante información basada en la geometría y cinemática de las fallas y en las propiedades friccionales, lo que nos permite evaluar escenarios de rotura y si roturas entre múltiples fallas son potencialmente posibles. Hemos implementado el código de simulación de terremotos RSQSim (Richards-Dinger y Dieterich, 2012) en un modelo 3D de las principales fuentes sismogénicas de la ZCBO, asignando tasas de deformación y propiedades elásticas y friccionales recopiladas para reproducir los procesos físicos que controlan la ocurrencia de terremotos. Se han obtenido catálogos sísmicos realistas de 100 ka que muestran eventos $M_W \geq 6.5$ asociados a la rotura completa de varias fallas, así como la transferencia de la rotura entre las fallas de Carboneras y Palomares, con tiempos inter-evento de menos de 20 ka, y entre las fallas de Alhama de Murcia y Los Tollos.

Abstract

Many of the largest damaging historical earthquakes occurred in the Betic Cordillera are related to the Eastern Betic Shear Zone (EBSZ): tectonic structure dominated by left-lateral strike-slip faults, some of them with reverse component. When estimating rupture scenarios in this fault system, we find some limitations: poorly constrained geometrical parameters in some faults, large uncertainties associated with the slip-rates estimations, generally low (< 1 mm/yr), and the historical catalog covers a short time period compared with the long inter-event interval between major events. Synthetic seismicity can solve the limitations of real catalogs (e.g., Shaw et al., 2018) and provides interesting information based on the fault geometry and kinematics and the frictional properties, which allows us to check different rupture scenarios and also evaluate if multi-fault ruptures are potentially possible. We implemented the RSQSim earthquake simulator (Richards-Dinger and Dieterich, 2012) on a 3D model of the main seismogenic sources of the EBSZ, assigning the deformation rates and the elastic and frictional properties compiled to reproduce the physical processes that control earthquake occurrence. We obtained realistic 100 kyr seismic catalogs that show $M_W \geq 6.5$ events associated to complete ruptures of several faults of the system, and multi-fault ruptures involving the Carboneras and Palomares faults with inter-event times of less than 20 kyr, and between Alhama de Murcia and Los Tollos faults by stress transfer.

Referencias

Richards-Dinger, K., and J. H. Dieterich (2012). *Seismological Research Letters* 83 (6): 983-90.

Shaw, B. E., Milner, K. R., Field, E. H., Richards-Dinger, K., Gilchrist, J. J., Dieterich, J. H., and Jordan, T. H. (2018). *Science advances* 4(8), eaau0688.

TAC clínico aplicado al estudio de la estructura interna de fallas activas: falla de Alhama de Murcia.

Clinical CAT applied to study the internal structure of active faults: Alhama de Murcia fault.

J.M. Insua-Arévalo[1], J. Alonso-Henar[1], L. Galván-Herráez[2], M. Vidal-Martínez[2], D. Alfonso-Jorde[1], J. Arrazola-García[2], J.J. Martínez-Díaz[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. insuarev@ucm.es

2 Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Clínico San Carlos, 28040 Madrid, Spain.

Palabras clave: Tomografía computarizada, falla activa, Béticas Orientales.

Resumen

Durante las últimas décadas, la utilización de la tomografía computarizada de rayos X (TC o TAC) en ciencias de la tierra ha resultado un aporte significativo al estudio 3D y 4D de diferentes aspectos geológicos (*e.g.* Mees *et al.*, 2003). Esta técnica de observación no destructiva permite visualizar y analizar la estructura interna de muestras de tamaño decimétrico con una resolución submilimétrica.

En este trabajo se presentan los primeros datos obtenidos mediante TAC realizados sobre muestras en bloque y en testigo de sondeos tomados en la zona de cizalla de la falla de Alhama de Muria, una de las fallas activas con más potencial sísmico de la Península Ibérica. En base a estos datos se pretende obtener elipsoides de deformación en 3D mediante el análisis sistemático y automatizado de las muestras analizadas. Además, este análisis se realiza sobre muestras tomadas en distintos puntos a lo largo y ancho de la falla, permitiendo analizar la posible variación de la distribución de la deformación dentro de la zona de falla. El objetivo último de este estudio es el conocer cuáles son los mecanismos de generación de terremotos mediante la observación de la distribución de la deformación dentro de la zona de cizalla en una falla activa.

Abstract

During the last decades, the use of the X-ray computerized tomography (CT or CAT) in earth sciences has resulted in a significant contribution to the 3D and 4D study of different geological aspects (e.g., Mees et al., 2003). This non-destructive technique allows the internal structure of decimetre-sized samples to be visualized and analysed with a submillimetre resolution.

In this work, we present the first data obtained through CT scans on block and borehole core samples collected in the shear zone of the Alhama de Muria fault, one of the active faults with the highest seismic potential in the Iberian Peninsula. The aim of this work is to obtain 3D deformation ellipsoids through the systematic and automatized analysis of the data obtained from the analysed samples. In addition, this analysis is performed on samples collected at different points through the fault, allowing the analysis of the possible variation of the deformation distribution within the fault zone. The ultimate purpose of this study is to shed light on what are the mechanisms of earthquake generation by analysing the distribution of the deformation within the shear zone on an active fault.

Referencias

Mees, F., Swennen, R., Van Geet, M. y Jacobs, P. (eds) (2003). *Applications of X-ray Computed Tomography in the Geosciences.* Geological Society, London, Special Publications, 215, 213-223.

Inversión tectónica de la Cuenca de Mazarrón en el Pleistoceno Medio (Cordilleras Béticas Orientales).

Tectonic inversion of the Mazarrón Basin during the Middle Pleistocene (Eastern Betic Chain).

J.M. Insua-Arévalo[1], J. García-Mayordomo[2], J.L. Sánchez-Roldán[1], O. Gómez-Novell[3], S. Baize[4], H. Jomard[4], J.J. Martínez-Díaz[1], C. Canora-Catalán[5], P. Herrero-Barbero[1], R. López-Escudero[3], A. Medialdea[6], E. Masana[3]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. insuarev@ucm.es
2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, Spain
3 RISKNAT, Institut Geomodels,Universitat de Barcelona, Spain
4 Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), France
5 Departamento de Cristalografía y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, Spain
6 Geographisches Institut, Universität zu Köln, 50933 Colonia, Germany.

Palabras clave: inversión tectónica, Cuenca de Mazarrón, Pleistoceno Medio- Superior.

Resumen

La cuenca de Mazarrón, localizada en la Cordillera Bética Oriental en un contexto de acercamiento entre la placa de Eurasia y la placa africana de Nubia, ha sido descrita como un graben tectónico relleno de sedimentos marinos durante el Neógeno (Larouziere *et al.*, 1987). Este graben, en forma de surco alargado según una dirección general N-S, se encuentra delimitado por un sistema de fallas conjugadas con orientaciones NNE y NNW. En este trabajo se presentan resultados de la investigación morfotectónica, geofísica y paleosismológica llevada a cabo en la parte más septentrional del graben, relacionada con la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales. Se han identificado plegamientos de diferente amplitud interpretados en relación con fallas inversas de alto ángulo con componente sinestral en un régimen transpresivo. Dichas fallas se corresponden principalmente con las antiguas fallas normales NNE que controlaban el graben y que han sido reactivadas como inversas direccionales durante el Pleistoceno Medio (*ca.* 300 ka) ya en un ambiente sedimentario continental. Esta inversión tectónica controla en la actualidad la evolución del paisaje (*i.e.*, relieve, red de drenaje, zonas de erosión y sedimentación), así como el potencial sísmico de las fallas de la zona.

Abstract

In the regional frame of convergence of the Eurasia and Nubia tectonic plates, the Eastern Betic Chain hosts the Mazarrón Basin, described as a tectonic graben filled up with Neogene marine sediments (Larouziere et al., 1987). This graben, with an north-south elongated shape, is bounded by two conjugate fault systems, NNE and NNW. In this work, we present results from morphotectonic, geophysical and paleoseismological investigation conducted at the northern part of the graben, related to Eastern Betic Shear Zone. We identified folding of variable amplitude interpreted to be related to deformation on high angle reverse faults with sinistral component in a transpressive tectonic regime. Those deformation features concern Middle to Late Pleistocene continental sediments and soils (calcretes). The identified faults correspond mainly to the ancient NNE normal faults that previously controlled the graben, reactivated as oblique reverse faults during the Middle Pleistocene (ca. 300 ka). This tectonic inversion now controls the evolution of the landscape (i.e., relief, drainage network, erosion and sedimentation zones), as well as the seismic potential of the fault of the area.

Referencias

Larouziere, F.D., Montenat, C. Ott de'Estevou, P. y Griveaud, P. (1987). *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 11 (1), 23-38.

Caracterización sísmica de la Falla de Carboneras: integración de nuevos datos paleosísmicos y GPS.

Carboneras Fault seismic characterization: new paleoseismic and GPS data integration.

R. López[1], E. Masana[1], G. Khazaradze[1], O. Gomez-Novell[1], R. Pallàs[1], M. Ortuño[1], S. Baize[2], T. Rockwell[3], J.M. Insúa Arevalo[4]

1 RISKNAT Group, GEOMODELS Research Institute, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona. (r.lopez.es@ub.edu)
2 Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire - Seismic Hazard Division (BERSSIN), BP 17, 92262 Fontenay-aux- Roses, France.
3 Department of Geological Sciences, San Diego State University, San Diego, CA 92182, USA.
4 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.

Palabras clave: Falla de Carboneras, Paleosismología, GPS, slip-rate, parámetros sísmicos

Resumen

La Falla de Carboneras se encuentra en la zona de mayor sismicidad de la península Ibérica. A pesar de que presenta muy poca sismicidad asociada, tanto instrumental como histórica, ha sido descrita como sismogénica (M_w máxima de 7,6±0,3) (Moreno, 2011). Para caracterizar su potencial sísmico, ya se han realizado trabajos paleosísmicos y geodésicos pero los resultados son todavía escasos para una completa caracterización (*e.g.*, Moreno, 2011; Echeverría, 2015). Se presenta aquí el resultado de nuevas trincheras paleosísmicas 3D en la rama sureste del dúplex de La Serrata. En total se han identificado de 7 a 8 eventos en los últimos 50 ky. Tres de ellos podrían catalogarse cómo Holocenos, siendo el más reciente asociable al terremoto de Almería de 1522 I_{EMS98} VIII-IX. En cuanto al marco geodésico se han instalado 6 nuevas estaciones GPS (4 continuas, 2 de campaña). Se han llevado a cabo 3 campañas de medida en 2016, 2017 y 2018. Sus resultados, aunque preliminares por la corta serie temporal, refinan datos anteriores y abren la posibilidad de su estudio en futuros trabajos para una mejor resolución.

Abstract

Carboneras Fault is located on the highest seismicity zone of the Iberian Peninsula. Despite the low instrumental and historical seismicity associated with the fault, it has been defined as seismogenic (7,6±0,3 max M_w) (Moreno, 2011). Works on paleoseismic and geodesic fields have been carried out in order to characterize its seismic potential (e.g. Moreno, 2011; Echeverría, 2015), but the results are still scarce for complete characterization. This study presents the results of new 3D paleoseismic trenches on the southeastern branch of La Serrata duplex. In total, 7 to 8 paleoearthquakes have been identified during the last 50 ky, three of them can be catalogued as Holocene ruptures, the most recent event most likely to be attributed to the 1522 I_{EMS98} VIII-IX Almeria earthquake. On the geodetic side, since 2016, 6 new GPS stations have been installed in the vicinity of the fault (4 continuous and 2 survey types). 3 GPS campaigns were carried out in 2016, 2017 and 2018. Due to the short observational period (especially for the campaign sites), the new results are still preliminary but open a path for future studies with better resolution.

Referencias

Echeverria, A., (2015). *GPS present-day kinematics of the eastern Betics, Spain*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona. 265 p.

Moreno, X. (2011). *Neotectonic and Paleoseismic Onshore-Offshore integrated study of the Carboneras Fault (Eastern Betics, SE Iberia)*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 305 p.

Registro de la variación de la tasa de deslizamiento de la Falla de Carrascoy en los últimos ~220 ka (Béticas Orientales, SE de España)

Slip rate variability record of the Carrascoy Fault for the last ~220 ka (Eastern Betics Shear Zone, SE Spain)

R. Martín-Banda[1], J.M. Insua-Arévalo[1], J. García-Mayordomo[2]

1 Dpto de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain raquem08@ucm.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, España

Palabras clave: Tasa de deslizamiento, Falla activa, Discordancia progresiva, Calcretas, Murcia

Resumen

Presentamos evidencias de la variación de la tasa de deslizamiento de la Falla de Carrascoy en su segmento NE a partir del análisis geocronológico y reconstrucción geométrica de una discordancia progresiva aflorante en la localidad de Los Ramos (Murcia). Este afloramiento muestra una secuencia de depósitos aluviales donde se distinguen varios niveles de calcretas. Los niveles de calcretas han podido ser datados mediante la técnica de las series de Uranio, excepto dos que se han estimado por correlación con estadios isotópicos de la cronología del Cuaternario. Las edades de las calcretas varían entre los ~220 ka hasta los ~34 ka, estando una de ellas localizada en el límite Pleistoceno medio-superior. Mediante la modelización geométrica de la discordancia se ha podido determinar la variación del salto vertical en la falla en cada periodo de formación de calcretas, y por ende, la evolución de la tasa de deslizamiento vertical en los últimos 220 ka. Nuestros resultados sugieren una actividad de la falla cíclica, con periodos largos (~90 ka) de baja actividad interrumpidos por periodos cortos (~10 ka) de mucha mayor actividad. El valor de tasa vertical obtenido para el periodo Pleistoceno superior-Holoceno, junto con el valor de la tasa neta obtenido en una zona cercana donde la falla presenta una geometría diferente, a partir del desplazamiento horizontal de barrancos y vertical de la superficie del abanico para el mismo periodo de tiempo, han permitido calcular la estría (vector deslizamiento) de la falla en Los Ramos y, por tanto, la tasa horizontal y neta para todos los periodos que marcan las calcretas de la discordancia. Los valores de las tasas neta, horizontal y vertical obtenidos para el Segmento NE son coherentes con los valores estimados en otros segmentos del Corredor de Cizalla de las Béticas Orientales próximos a la Falla de Carrascoy para periodos de tiempo similares. Este análisis sugiere que, si bien las tasas vertical y horizontal pueden variar fuertemente en función de la geometría local de la falla, la tasa neta se mantiene constante.

Abstract

We present evidence of the variability of the slip rate at the NE segment of the Carrascoy Fault (Los Ramos, Murcia) based on geochronological analysis and modelling reconstruction of a progressive discordance in alluvial sediments showing conspicuous carbonate enrichment beds (calcretes). Calcretes were dated using the Uranium Series technique, except for two of them that the age was assigned by correlation with isotopic stages of the Quaternary geochronology. The age of the calcretes range from the ~220 ka to ~34 ka, one of them located in the Upper to Intermediate Pleistocene limit. Vertical slip on the fault for each calcrete period was obtained by modelling the growth of the discordance, and hence, the slip rate variation in the last 220 ky. Our results suggest that the activity of the fault shows a cyclic behavior with long quiescence periods (~90 ka) followed by much shorter ones of high activity (~10 ka). Vertical slip rates were converted to net slip rates values using the striae (slip vector) that was deduced in a nearby area were the fault offsets streams (horizontally) and fan surfaces (vertically) Upper Pleistocene-Holocene in age. The net slip rates obtained here are consistent with the ones already estimated for other faults in the Eastern Betics Shear Zone. The consistency of this observation suggests that even though vertical and lateral slip rates can vary strongly depending the geometry of the fault, net values remain constant.

Evidencias de fallamiento y plegamiento activo en el borde norte de la Cuenca del Guadalquivir

Evidences of Active faulting and folding in the northern edge of the Guadalquivir Basin.

J. J. Martínez-Díaz[1,2], C. Canora-Catalán[3], J.L. Sánchez-Roldán y Juan M. Insua-Arévalo[1]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid (UCM), C/ José Antonio Novais, 12, Madrid, jl.sanchez.roldan@ucm.es, jmdiaz@ucm.es, insuarev@geo.ucm.es
2 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM. Madrid
3 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco, 28049. carolina.canora@uam.es

Resumen: Se presenta una serie de evidencias estructurales y geomorfológicas que apoyan la existencia de estructuras compresivas con actividad post-Tortoniense y que afectan a la red fluvial cuaternaria a lo largo del borde NO de la cuenca del Guadalquivir, en el sector de Palma del Río (Córdoba). Se trata de una serie de suaves anticlinales asimétricos de orientación entre ESE-ONO y ENE-OSO y vergencia norte, marcadas en el paisaje por la morfología controlada por las calcarenitas del Tortoniense Superior, posiblemente asociadas a la actividad de fallas inversas de orientación Bética ENE-OSO, y a la reactivación neotectónica de estructuras antiguas de orientación varisca. Se ha estimado una tasa preliminar de levantamiento tectónico de algunas de ellas y se describen afecciones a la red fluvial cuaternaria que apoyan la vigencia de su actividad, lo que contribuye al entendimiento del régimen tectónico actual y aporta datos de interés para los estudios de riesgo sísmico en la zona.

Palabras clave: Cuenca del Guadalquivir, tectónica activa, pliegues activos, fallas activas.

Abstract: *We present structural and geomorphological evidence supporting the existence of post-Tortonian compressional structures that are also affecting the present fluvial network along the NW edge of the Guadalquivir basin in the Palma del Río sector. They are a series of gentle asymmetric anticlines verging north, oriented ESE-ONO to ENE-OSO and marked in the landscape by the morphology controlled by the Late Tortonian calcarenites. They are possibly associated with fault propagation folds related to reverse faults of Betic orientation and by the neotectonic reactivation of older structures with Variscan ONO-ESE orientation. A preliminary rate of tectonic uplift for some of these structures has been estimated. Deformation and deflections affecting the present fluvial network support a very recent age for this activity. These data contribute to the understanding of the current tectonic regime and provides valuable data for seismic risk assessments in the region.*

Keywords: *Guadalquivir basin, active tectonics, active faults, active folds*

INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

Presentamos en este trabajo los resultados preliminares del estudio neotectónico y morfo-tectónico de un tramo de 50 km de longitud del borde norte de la Cuenca del Guadalquivir (CG), situado al norte de Palma del Río (Córdoba). Se han podido identificar una serie de relieves asociados a estructuras compresivas cuya actividad continua durante el Cuaternario y, por lo tanto, presentan interés tanto a la hora de entender el régimen tectónico activo, como de mejorar las estimaciones de peligrosidad sísmica en la región. La zona se sitúa en el sector de transición entre los depósitos miocenos y cuaternarios de la cuenca del Guadalquivir y el sector de Sierra Morena de Macizo Ibérico (Fig. 1).

A lo largo de la lineación que configura el borde norte de la CG se ha propuesto históricamente la posible existencia de una falla que pudiera explicar su geometría aparentemente lineal aunque los estudios y exploraciones geofísicas posteriores, así como distintos modelos tectónicos, explican este carácter lineal como asociado a una flexura de carácter litosférico (van der Beek and Cloetingh, 1992; García-Castellanos *et al.*, 2002) asociada a procesos de carga litosférica y variaciones de espesor en la corteza inferior y manto litosférico que favorecería además, bajo un régimen compresivo NO-SE, el levantamiento de Sierra Morena (García-Castellanos *et al.*, 2002).

A lo largo de la zona de estudio, la presencia de materiales de edad neógena discordantes sobre las rocas del Macizo Ibérico permite tener un marcador de las deformaciones post-Miocenas. Como principales marcadores de la deformación se ha usado la posición y geometría las calcarenitas tortonienses de la Fm Niebla y su contacto con la Fm Arcillas de Gibraleón (arcillas margosas del Guadalquivir) de edad Messiniense. La elevada resistencia a la erosión de las calcarenitas hace que su buzamiento controle de forma clara el relieve y la geometría de las sierras de la zona. El análisis de este relieve, a partir de un modelo digital del terreno de 2m de resolución realizado usando datos LIDAR del Instituto Geográfico Nacional, el análisis de las

ortofotografías, y el estudio sobre el terreno han permitido identificar las estructuras numeradas de 1 a 6 en la figura 1.

ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN

A continuación, se describen brevemente las estructuras siguiendo la numeración de la figura 1.

1) Antiforma de Puebla de Los Infantes. A la altura de este pueblo se aprecia un frente de montaña orientado entre ENE y ESE que parece controlado, al menos en su sector oriental, por una falla. Este frente de montaña forma parte de un anticlinal asimétrico que afecta a materiales messinienses y que configura los altos de la Sierra León, Quiebrahoyas y Viñas Viejas. La estructura presenta una longitud de ~10 km.

2) Pliegue del Acebuche. Al norte de La Puebla de Los Infantes se aprecia otra antiforma de dirección similar y menor dimensión (~4 km) que afecta claramente a los materiales messinienses, si bien éste no presenta un frente lineal claro. En su mitad oriental aparece cubierto de los depósitos miocenos que comienzan a plegarse insinuando una propagación hacia el este de la deformación.

3, y 4) Al sureste de la sierra del León se aprecian dos antiformas asimétricas que muestran evidencias de actividad similares a las descritas para la antiforma de La Puebla de los Infantes, pero con claras evidencias morfológicas de afección de la red fluvial, que apoyan su actividad cuaternaria. Las hemos denominado Pliegue-Falla del Retortillo y Pliegue de Peñaflor-Céspedes. El primero presenta 6 km de longitud dividido en dos segmentos que estructuran el Cerro del Piojo en su sector oriental, con clara estructura antiformal marcada por el plegamiento de las calcarenitas en las que se encaja el río Retortillo, y el sector occidental con un escarpe muy lineal y que presenta claros ejemplos de valles fluviales colgados en el bloque levantado, antecedencias y desvío de la red que desciende desde el norte (Fig. 2). Esto es especialmente evidente en el valle próximo al Cortijo de la Almenara. Más al sur, la estructura Peñaflor-Céspedes presenta 2 km de longitud y orientación ENE-OSO. En ella, las calcarenitas de la Fm Niebla buzan más de 5º hacia el sur en su flanco largo. En el análisis del MDT se aprecian claros procesos de antecedencia y desvíos de la red fluvial a medida que la estructura crece y se propaga.

5) La sierra Traviesa situada al este de los anteriores presenta una morfología similar pero con una orientación E-SE, aunque no ha podido comprobarse sobre el terreno.

6) Pliegues de Hornachuelos y Posadas. En esta zona, ya Zamorano y Ramírez Copeiro (1974) citan deformaciones afectando a los materiales miocenos adosados al basamento del Macizo Ibérico. Se trata de dos estructuras anticlinales de orientación E-SE situadas al sur y norte de la localidad de Hornachuelos (Fig.2). La Serrezuela de Posadas está controlada por una de estas estructuras. Aquí las calcarenitas tortonienses, que afloran en los flancos presentan buzamientos de 8º en el flanco sur y 15º en el flanco norte (Fig. 3). La ortofoto permite observar que este plegamiento afecta también a las arcillas y margas de la formación suprayacente de edad Messiniense.

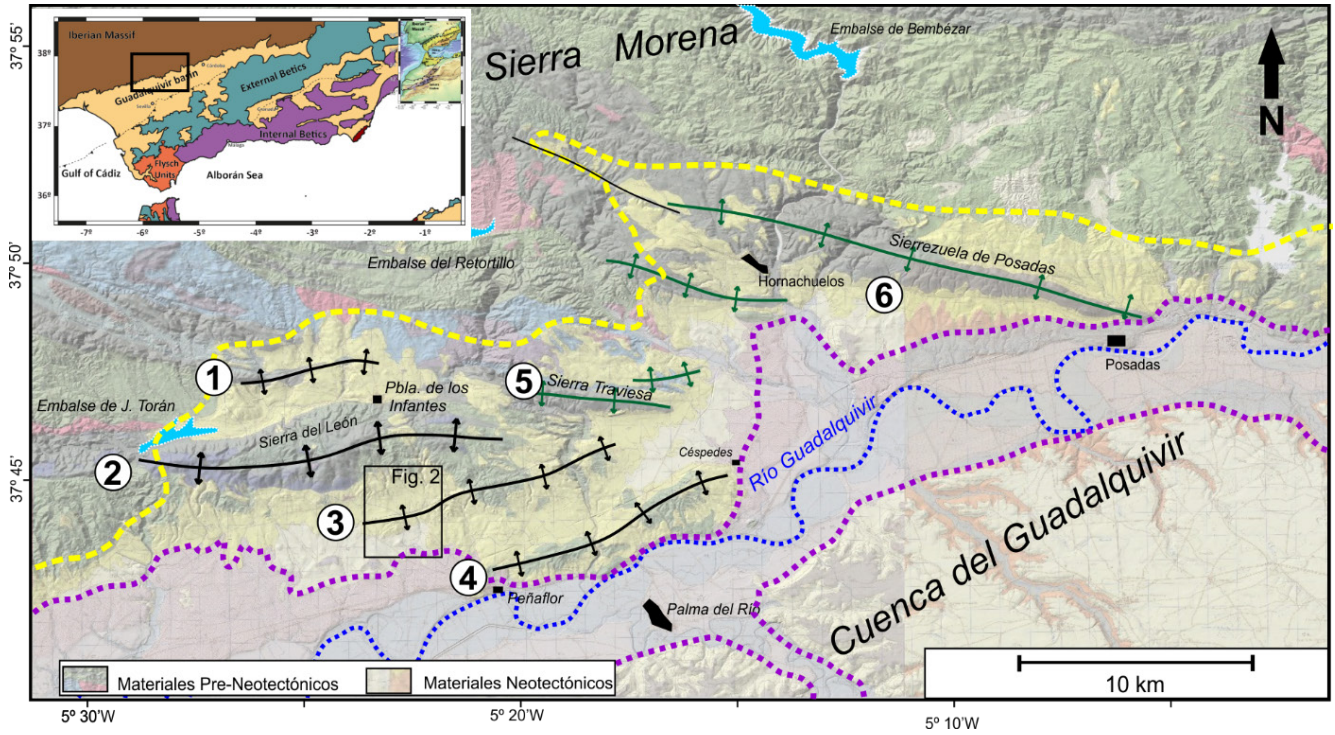


FIGURA 1. Esquema geológico de las estructuras descritas en el texto sobre mosaico de la cartografía geológicas MAGNA 1:50000 del IGME. La línea amarilla discontinua muestra el límite cartográfico aproximado de los depósitos marinos del Mioceno de la cuenca del Guadalquivir (fondo amarillo). La línea morada marca el límite de los depósitos del Cuaternario del Río Guadalquivir y depósitos aluviales circundantes.

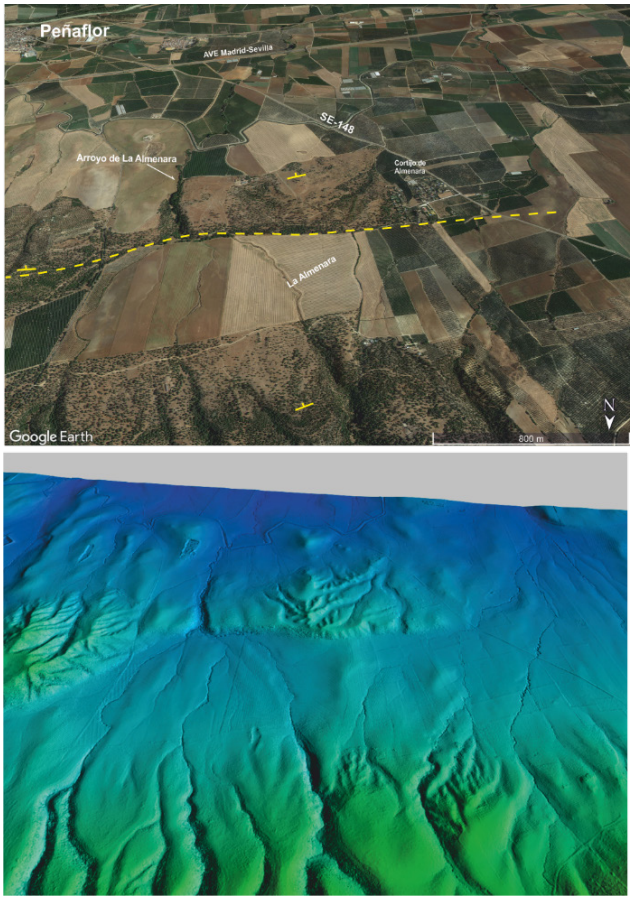


FIGURA 2. Vista oblicua desde el norte del sector occidental del pliegue-falla del Retortillo. Arriba vista de la ortofoto y abajo del MDT de 5 m de resolución iluminado desde el oeste.

INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha estimado una tasa mínima preliminar de movimiento, que podría asociarse a estas estructuras, utilizando los desniveles mínimo y máximo que se observan de los materiales del Tortoniense superior y la cota de la superficie de relleno sedimentario del Mioceno en las zonas más bajas de las antiformas de Puebla de Los Infantes y El Retortillo, acotándose valores entre los 20±5 y los 110±5 m (Fig. 4). Si consideramos que esos desniveles se han podido producir desde el final del Messiniense o, en un escenario más conservador, desde finales del Plioceno, las tasas mínimas de levantamiento tectónico oscilarían entre 0.0026 mm/a y 0.04 mm/a. Si consideramos un escenario de fallas inversas en profundidad con buzamientos del orden de 35-40º como responsables de esos levantamientos, las tasas se duplicarían. En todo caso, se requiere un estudio específico de potencias de las unidades de edad Miocena para estimar tasas más precisas.

Por otra parte, el hecho de que la red fluvial actual aparezca claramente afectada por estos movimientos hace que estas estructuras presenten interés para el entendimiento del régimen tectónico activo en la región.

Algunas de las trazas que encontramos en los flancos de algunas de las antiformas descritas, aparecen en cartografías previas (Pérez Domínguez y Hernán Reguera, 1972) interpretadas como trazas de falla normal. Sin embargo, pensamos que existen suficientes evidencias estructurales y morfológicas para afirmar que dichas estructuras, así como las antiformas con las que están espacialmente relacionadas, apuntan a la existencia de fallas con componente inversa importante. Estas fallas alcanzarían los niveles superficiales de la corteza generando levantamiento de bloques de basamento a los que se adaptan los materiales miocenos a modo de pliegues forzados, aunque no se puede descartar que algunos de ellos puedan explicarse como pliegues de propagación de falla.

Los ejes de las antiformas van cambiando de dirección de sur a norte desde E-NE-OSO hasta ONO-ESE. Los más meridionales parecen controlados por estructuras de dirección Bética, mientras que los septentrionales estarían asociados a reactivaciones de estructuras paralelas a la orientación del basamento varisco, ya sea asociadas al apretamiento de estructuras antiguas o a la actividad de fallas que aprovecha la anisotropía previa.

En trabajos realizados en el extremo noreste de la cuenca del Guadalquivir se describen pliegues de propagación similares a los aquí propuestos, dentro de un régimen transpresivo dextral, a partir de datos sísmicos (Pedrera *et al.*, 2013) y fallas inverso-direccionales que se enraizarían en niveles de despegue a poca profundidad. La disposición de los ejes de los anticlinales en la zona aquí tratada y su relevo lateral parece indicar también un régimen de carácter transpresivo afectando a las fallas del basamento.

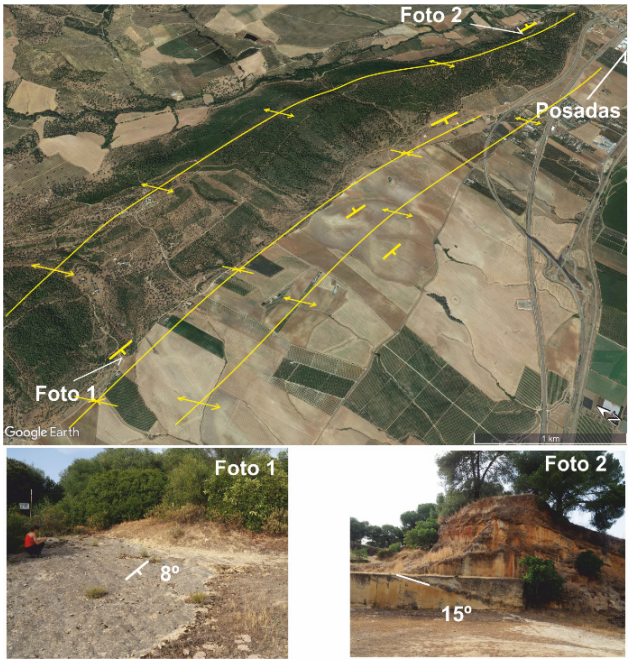


FIGURA 3. Vista oblicua desde el SO del antiforma de Hornachuelos-Posadas (arriba) en el que se muestra la posición de dos de los afloramientos de las calcarenitas basculadas en los flancos (abajo).

Asimismo, a partir de datos sísmicos y un perfil de prospección magnetotelúrico y gravimétrico realizado en una transversal NO-SE del valle del Guadalquivir, que llega

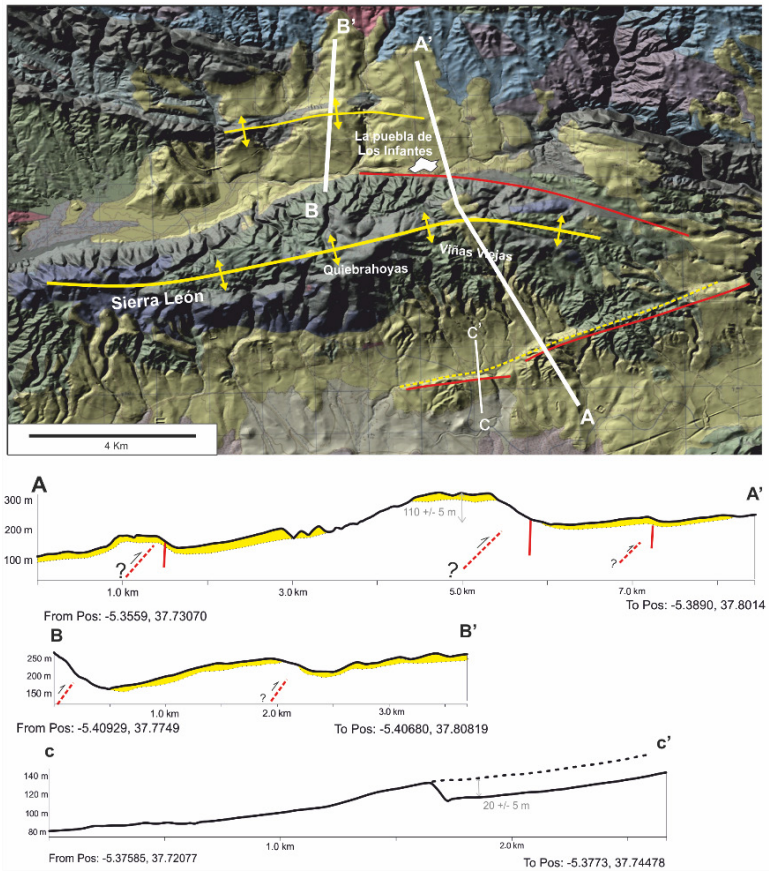


FIGURA 4. Vista del relieve del entorno de Puebla de Los Infantes en la que se aprecian una serie de anticlinales asimétricos que afectan materiales del Tortoniense Sup. y Messiniense (amarillo). Se marcan en rojo las trazas interpretadas de las fallas que explican la estructura. En amarillo discontinuo se muestra la traza de falla que aparece en el mapa geológico GEODE del IGME. En los perfiles A y B se marca en amarillo los tramos de afloramiento de las calcarenitas del Tortoniense Superior. El perfil A ha sido realizado cortando la zona del anticlinal de Puebla donde las calcarenitas aparecen a mayor altura y ya en la zona axial. Se marcan en los perfiles A y C los valores de desnivel vertical mínimo que se utilizan para la estimación preliminar de la tasa mínima de levantamiento tectónico post-Tortoniense.

hasta las proximidades de Hornachuelos, Ruiz Constán *et al.* (2012) identifican la geometría del techo de la corteza del Macizo Ibérico que, con un buzamiento muy bajo, discurre por debajo de la cuenca miocena del Guadalquivir y de las Zonas Externas de la cordillera Bética, aumentando después su buzamiento por debajo de las Zonas Internas. Esta estructuración sería coherente con la existencia de una tectónica compresiva de piel fina en el borde NO de la cuenca. Las estructuras son coherentes con un régimen compresivo con una dirección de acortamiento NNO-SSE o con un régimen transpresivo dextral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco y con el apoyo del proyecto de investigación “QUAKESTEP” (CGL2017-83931-C3-1-P) financiado por el Ministerio de Ciencia en Innovación. J. L. Sánchez-Roldán disfruta de un contrato de FPI (MICINN) dentro del mismo proyecto.

REFERENCIAS

Crespo Zamorano, A. y Ramírez Copeiro del Villar, J. (1974): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 943 (Posadas)*. IGME, Madrid.

García-Castellanos, D., Fernández, M. y Torne, M. (2002). Modelling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain). *Tectonics*, 21, 3.

Pedrera, A., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Galindo-Zaldívar, J., González, A. and Peláez, J. A. (2013), Seismic transpressive basement faults and monocline development in a foreland basin (Eastern Guadalquivir, SE Spain). *Tectonics*, 32: 1571–1586,

Pérez Domínguez, H. y Hernán Reguera, P. (1972): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 942 (Palma del Río)*. IGME, Madrid.

Ruiz-Constán, A., Pedrera, A., Galindo-Zaldívar, J., Pous, J., Arzate, J., Roldán-García, F. J., Marin-Lechado, C., and Anahnah, F. (2012), Constraints on the frontal crustal structure of a continental collision from an integrated geophysical research: The central-western Betic Cordillera (SW Spain), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08012, doi: 10.1029/2012GC004153.

Van der Beek, P.A. y Cloetingh, S. (1992). Lithosphere flexure and the tectonic evolution of the Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 203: 325-344.

De los datos geológicos a la interpretación de parámetros sísmicos de fallas en contexto de deformación lenta: obstáculos y retos.

From geology to seismic parameters in slow faults: new challenges.

E. Masana[1], M. Ortuño[1], R. Pallàs[1], J. Ínsua-Arévalo[2], J. García Mayordomo[3], C. Canora[4], O. Gómez-Novell[1], R. López[1], G. Khazaradze[1], J. Bordonau[1], S. Baize[5], T. Rockwell[6]

1 RISKNAT Group, GEOMODELS Research Institute, Dept. Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Fac. de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. (eulalia.masana@ub.edu)
2 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de CC Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
3 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, España
4 Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Campus Canto Blanco.
5 Inst. de Radioprotection et Sûreté Nucléaire - Seismic Hazard Division (BERSSIN), BP 17, 92262 Fontenay-aux-Roses, France.
6 Department of Geological Sciences, San Diego State University, San Diego, CA 92182, USA

Palabras clave: deformación lenta, paleosismología, parámetros sísmicos, Península Ibérica, retos.

Resumen

La paleosismología ha demostrado ser muy útil en la caracterización de fallas sismogénicas en zonas de altas tasas de deformación, aunque también en zonas de deformación moderada-lenta. En la Península Ibérica (entre las últimas) se han recogido numerosos datos paleosísmicos que permiten establecer algunas de las principales fuentes de terremotos y estimar el potencial sísmico de dichas fallas mediante sus parámetros sísmicos. Los cálculos de peligrosidad símica son más realistas al considerar dichos parámetros. Sin embargo, la interpretación de los datos geológicos, especialmente en zonas de baja tasa de deformación, presenta retos y limitaciones. Algunas preguntas que se plantean en la Península Ibérica: 1) ¿Qué lejos estamos de obtener mapas completos de fuentes sismogénicas? (zonas sin fallas en el mapa no son necesariamente zonas sin fuentes); 2) ¿Cuál es la calidad y cantidad mínima de evidencias necesaria para interpretar un paleoterremoto?; 3) ¿Tenemos suficientemente en cuenta la posibilidad de eventos de deformación asísmicos?; 4) ¿Cómo delimitamos la completitud de las historias sísmicas obtenidas?; 5) ¿Las secuencias de paleoterremotos que conocemos son suficientemente largas (y precisas) para explicar el comportamiento sísmico de una falla? 6) ¿Los slip-rates obtenidos en una falla son comparables o hay que considerar un factor de calidad? 7) ¿Cuándo sabemos que disponemos realmente de valores representativos del slip-rate en una falla? 8) ¿Qué sabemos de la magnitud máxima en casos de sistemas de fallas?... Son algunas de las posibles preguntas que conviene tener en cuenta para avanzar en el conocimiento del comportamiento de las fuentes y su impacto en la peligrosidad sísmica, también en zonas con tasa de deformación baja. En este trabajo se presentan ejemplos derivados de trabajos paleosismológicos en la Península Ibérica y de cómo se han tratado de resolver algunos de los retos.

Abstract

Paleoseismology allows the characterization of seismogenic faults in high strain rates regions but also in areas with moderate rates of deformation like the Iberian Peninsula. There, an important amount of paleoseismic information has been obtained that have allowed the detection of a number of seismic sources and to estimate their seismic potential by constraining some of their seismic parameters, which makes the Seismic Hazard Assessment more realistic. Considering this information, a number of pitfalls and challenges arise, especially in such a moderate strain rates area, and are discussed here. Some issues and questions are: 1) The catalogue of seismic sources only includes the known sources, making the fault map incomplete and SHA uncompleted; 2) How much evidence do we need to properly characterize a paleoearthquake?; 3) How does one account for aseismic behavior?, 4) Do we have complete seismic histories for a specific fault? 5) Do we have long enough seismic histories to characterize the fault behavior? 6) Are slip-rate estimates for a fault comparable or is there a quality factor to weight them? 7) Do the slip rate estimates we have realistically represent the fault behavior?; 8) How do we deal with Maximum magnitude in fault systems? We show examples on how we try to solve some of these new challenges in the Iberian Peninsula.

Cronología extendida en depósitos aluviales mediante luminiscencia estimulada por luz violeta (VSL) en el SE de la Península Ibérica.

Extended chronology using violet stimulated luminescence (VSL) on alluvial deposits in SE of the Iberian Peninsula.

A.Medialdea[1], J.M.Insua-Arévalo[2], J. García-Mayordomo[3]

1 Geographisches Institut, Universität zu Köln, 50933 Colonia, Alemania. amedialdd@uni-koeln.de
2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28760 Madrid, España

Palabras clave: datación por luminiscencia, VSL, cronología extendida, tectónica activa, abanico aluvial

Resumen

La datación por luminiscencia se ha convertido en una herramienta clave en el estudio de la tectónica activa. En este trabajo, centrado en la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales (SE de España), el registro sedimentario a estudio excede el rango de edad que se puede abarcar con métodos convencionales de OSL (luminiscencia ópticamente estimulada). Para datar los depósitos muestreados, se ha aplicado VSL (Violet Stimulated Luminescence), que tiene el potencial de extender el rango de edad al alcanzar el nivel de saturación de la señal luminiscente a dosis más altas que la OSL convencional en la que se emplea estimulación azul o verde (Jain 2009; Ankjærgaard *et al*. 2013).

Con esta nueva técnica se han podido estimar dosis de hasta 400 Gy, el doble de la dosis de saturación de la OSL estándar. Esto ha permitido aportar una cronología extendida al perfil estratigráfico de estudio y establecer la secuencia temporal de actividad tectónica en la zona para el periodo comprendido entre los 60 y 300 ka. En este trabajo se presentan las primeras dataciones de abanicos aluviales basadas en VSL y se confirma la idoneidad de este método en el estudio de la tectónica reciente del SE de la Península Ibérica. Se muestra con ello la posibilidad de extender las dataciones de sedimentos aluviales, facilitando con ello la estimación de tasas de deslizamiento en fallas lentas.

Abstract

Luminescence dating has become a key tool in active tectonics studies. In this work, focused on the Eastern Betics Shear Zone (SE Spain), the chronological record exceeds the age range that can be covered with conventional methods of OSL (Optical Stimulated Luminescence) dating. The sediments sampled have been dated using VSL (Violet Stimulated Luminescence) which has the potential to extend the age range covered, since the VSL signal saturates at higher doses than conventional OSL which uses blue or green stimulation (Jain 2009; Ankjærgaard et al. 2013).

With this new technique, doses of up to 400 Gy, twice the saturation dose of standard OSL, have been estimated. This has made it possible to provide an extended chronology for the studied stratigraphic profile, establishing the time sequence of tectonic activity in the study area between 60 and 300 ka. This study presents the first estimated ages based on VSL of alluvial fans and confirms the suitability of the method for active tectonics studies in the SE of the Iberian Peninsula. It opens up the possibility of extending the age estimation for alluvial sequences, which would help to improve the slip rate estimation of active faults and particularly the ones of slowest rates.

Referencias

Ankjærgaard, C., Jain, M., Wallinga, J. (2013). Towards dating Quaternary sediments using the quartz Violet Stimulated Luminescence (VS-OSL) signal. Quaternary Geochronology 18, 99-109.

Jain, M. (2009). Extending the dose range: Probing deep traps in quartz with 3.06 eV photons. Radiation Measurements 44, 445-452.

Influencia de la carbonatación edáfica en la datación por luminiscencia de depósitos aluviales semiáridos en el SE de la Península Ibérica.

Influence of pedogenic carbonation on luminescence dating in semiarid alluvial deposits in the SE of the Iberian Peninsula.

A.Medialdea[1], J.M.Insua-Arévalo[2], J. García-Mayordomo[3]

1 Geographisches Institut, Universität zu Köln, 50933 Colonia, Alemania. amedialdea@uni-koeln.de
2 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28760 Madrid, España

Palabras clave: datación por luminiscencia, calcretas, contenido en carbonato, aluviales semiáridos

Resumen

Los últimos desarrollos en la técnica de la datación por luminiscencia han permitido establecer cronologías robustas llegando hasta los 300 ka en depósitos aluviales semiáridos del SE de la Península Ibérica. A pesar de los avances en la técnica, las dataciones se pueden ver comprometidas por la abundancia de carbonato (Nathan y Mauz, 2008) que puede dar lugar a un cálculo de la tasa de dosis (dosis de radiación recibida por unidad de tiempo) que no es representativa del periodo que el material a datar ha permanecido enterrado. Dado que los depósitos muestreados presentan un desarrollo edáfico con enriquecimiento en carbonato cálcico (calcretas), se ha estudiado el efecto sobre las edades estimadas. Las 10 muestras analizadas presentan una correlación inversa entre la tasa de dosis y el contenido en carbonato. Atendiendo a esta correlación, se ha realizado una corrección de las edades de las muestras, derivando en un rejuvenecimiento de hasta el 40% en las unidades sedimentarias más carbonatadas ($CaCO_3$>70%). Las edades corregidas son consistentes con la estratigrafía y aportan una cronología coherente con la actividad tectónica de la región estudiada.

Este trabajo pone de manifiesto la repercusión que este aspecto puede tener en la tectónica activa regional, ya que la estimación de las tasas de deformación reciente de las fallas en las Béticas Orientales se basa muy frecuentemente en las edades obtenidas a partir de la datación por luminiscencia de sedimentos de abanicos aluviales semiáridos con alto contenido en carbonatos.

Abstract

The recent developments in luminescence dating have made it possible to establish robust chronologies on semiarid alluvial deposits in the SE of the Iberian Peninsula reaching up to 300 ka. Despite the significant improvements in the technique, the reliability of the estimated ages can be compromised by the abundance of carbonate (Nathan y Mauz, 2008) which might lead to the misestimation of the representative dose rate (ionizing radiation received per time unit) for the burial period. Since the sampled deposits show carbonate enrichment with calcrete development with carbonate enrichment, the effect of this on the estimated ages has been analysed. The 10 samples measured show a clear correlation between the calculated dose rate and the concentration of carbonates. A correction of the estimated ages has been applied according to this correlation, deriving in a reduction of up to 40% for the samples with the highest concentrations ($CaCO_3$>70%). The corrected ages are coherent with the stratigraphy and provide a consistent chronology of the tectonic activity of the studied region.

This study points out the effect of carbonates on the estimated ages and shows the major impact that could have on active tectonics studies in the Eastern Betics, where slip rates are often based on OSL ages obtained from semiarid alluvial fan deposits with high carbonate content.

Referencias

Nathan, R.P. y Mauz, B. (2008). On the dose-rate estimate of carbonate-rich sediments for trapped charge dating. Radiation Measurements 43, 14-25.

Caracterización estructural de la falla activa de Galera (Cordillera Bética central, sur de España).

Structural characterization of the active Galera fault (Betic Cordillera, South Spain).

I. Medina-Cascales[1], F.J. García-Tortosa[2], J.A., I. Martin-Rojas[1], y P. Alfaro[1]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080 Alicante, Spain
2 Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain

Palabras clave: Tectónica activa, Caracterización estructural, Falla de salto en dirección, Cordillera Bética, Cuenca de Guadix-Baza.

Resumen

La Cordillera Bética Central ha estado sujeta desde el Mioceno Superior a una extensión OSO-ENE, que ha sido acomodada por varias vallas normales NW-SE. Además, se han desarrollado fallas con otras orientaciones y cinemáticas. Una de estas estructuras es la falla de Galera (FG), una falla de salto en dirección situada cerca del borde NE de la cuenca de Guadix-Baza. A esta estructura activa se le atribuye el terremoto del SO de Galera, en 1964 (mbLg 4.8). Los datos que se tienen de esta falla son escasos. Conocer la estructura en detalle de la FG será la base para estudios futuros relacionados con su caracterización paleosismológica y sismogénica, entre otros.

El objetivo de este trabajo es describir detalladamente la estructura de la FG (geometría y cinemática) a partir de datos de superficie. Nuestros datos indican que la FG es una estructura de de unos 30 km de longitud, que se extiende con una orientación SO-NE, con un salto en dirección sinistroso. En su sector central, la expresión en superficie de la GF consiste en una zona de falla con una anchura que varía entre 500 y 1500 m. La zona de falla está constituida por una falla principal, orientada N65E y con varias zonas de relevo. Sus estrías indican una cinemática principalmente sisnistrosa, aunque el desplazamiento de los marcadores estratigráficos muestra que también existe una componente de salto vertical. Aparecen además numerosas fallas secundarias, orientadas N-S. Se trata de estructuras de poca extensión que se ramifican hacia el N desde la falla principal. Tanto sus estrías como el desplazamiento de los marcadores estratigráficos indican que se trata de fallas normales, con saltos de metros a decenas de metros. Hacia el SO, la FG parece estar relacionada con la falla normal de Baza (FB), y los datos actuales indican que la FG es una falla de transferencia asociada a la BF.

Abstract

From the Late Miocene, the central Betic Cordillera (S Spain) has been subject to a WSW-ENE extension, which has been accommodated by NW-SE normal faults. In addition, faults with different kinematics were also developed in this region. One of these structures is the Galera Fault (GF), a strike-slip fault located near the NE border of the Guadix-Baza basin. This is an active structure with an associated earthquake: the 1964 SW Galera event (mbLg 4.8). Data about this fault are scarce. Knowing the detailed structure of this fault will be the base for future studies related with its palaeoseismological and seismogenic characterization, among others.

The aim of this work is a detailed structural description of the GF (geometry and kinematics) from surface data. The GF is ca. 30 km, SW-NE striking left-lateral strike-slip fault. On its central sector, the surface expression of the GF consists of a fault zone with a variable width between 500 to 1500 m. The fault zone is formed by a main fault striking N65E wich presents several relay zones. Slickensides show main sinistral kinematics, although the displacement of stratigraphic markers also indicate a vertical throw component. A large number of ~N-S striking secondary faults are also observed. These are low extension structures that branch out northwards from the main fault. Both their slickenlines and stratigraphic markers show normal fault kinematics, with throws ranging from a few meters to tens of meters. Towards the SW, the GF seems to be related to the normal Baza Fault (BF). Present available data indicate that the GF is a transfer fault associated to the BF.

Caracterización estructural de la falla activa de Baza (sur de España). Implicaciones en el SHA

Structural characterization of the active Baza fault (South Spain). Insights for SHA

I. Medina-Cascales[1], I. Martín-Rojas[1], F.J. García-Tortosa[2], J.A. Peláez[3] y P. Alfaro[1]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03080 Alicante, Spain
2 Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain
3 Departamento de Física, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain

Palabras clave: Tectónica activa, Caracterización estructural, Falla normal, Seismic Hazard Assessment, Cordillera Bética.

Resumen

La falla de Baza (BF) es una de las principales estructuras activas en la Cordillera Bética Central (España). Esta falla normal es la fuente sismogénica del terremoto destructivo de Baza de 1531, de magnitud ~6.3, y tiene una historia de ruptura en superficie de 8 a 9 paleoeventos en los últimos 45 Kyr. Las tasas geodésicas de desplazamiento de la BF se estiman entre 0.3±0.3 mm/yr y 1.3±0.4 mm/año y las geológicas-geomorfológicas entre 0.2 y 0.7 mm/año.

En este trabajo se caracteriza y analiza la estructura de la BF (geometría y cinemática), combinando tanto datos de superficie (observaciones de campo) como profundos (perfiles sísmicos y gravimétricos). La BF, de unos 40 km de longitud, es una falla normal que buza ~55° al este. A partir de variaciones geométricas a lo largo de su traza, esta falla se puede dividir en dos secciones: una sección norte, estrecha y orientada NNW-SSE, y una sección sur, orientada NW-SE y que se ensancha hacia el sur.

Estas características geométricas y cinemáticas, junto con datos de estudios previos, permiten evaluar el potencial sismogénico de la BF. Usando criterios geométricos y geológicos se discute la segmentación sísmica de la BF. En este análisis se han modelado varios escenarios de desplazamiento de la falla para el terremoto de 1531 (rupturas parciales y totales) y se han comparado los resultados con la distribución de los daños históricos registrados. Tras definir las secciones, se calculan los parámetros que expresan el potencial sísmico de la BF: magnitudes máximas esperadas, intervalos de recurrencia y probabilidades de ocurrencia.

Abstract

The Baza Fault (BF) is one of the most active structures in the Central Betic Cordillera (Spain). This normal fault is the seismogenic source of the destructive Mms ca. 6.3, 1531 AD Baza earthquake, and has a surface rupture history of 8 to 9 palaeoevents during the last 45 Kyr. Geodesic slip rates for the BF range between 0.3±0.3 mm/yr and 1.3±0.4 mm/yr, and geological-geomorphological slio rates range between 0.2-0.7 mm/yr.

In this work we characterize and analyze the structure of the BF (geometry and kinematics) combining both surface (field observations) and sub-surface (seismic and gravity profiles) data. The BF is a ca. 37 km, normal fault dipping ~55° to the east. We distinguish between two fault sections based on along-strike variations in the BF geometry: a narrow NNW-SSE striking north section and a NW-SE striking south section that widens southwards.

These geometric and kinematic features obtained from our structural characterization together with data from previous studies, allow us to evaluate the seismogenic potential of the BF. Seismic fault segmentation is discussed using geometrical and geological criteria. In this analysis, we model several fault displacement scenarios for the 1531 AD event (partial and total fault ruptures) and compare the results with the recorded historical damage distribution. After defining fault sections, we calculate the parameters that will express the seismogenic potencial of the BF: maximum expected magnitudes, recurrence intervals, and probabilities of occurrence.

Caracterización preliminar de la zona de falla de Río Grío-Pancrudo: estructura extensional de primer orden en la evolución reciente de la Cordillera Ibérica

Preliminary characterization of the Río Grío-Pancrudo fault: a master extensional structure in the recent evolution of the Iberian Chain (Spain)

A. Peiro[1] y J. L. Simón[1]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo Geotransfer-IUCA, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza. apeiro@unizar.es, jsimon@unizar.es

Resumen: Se describe una línea de fallas de dirección NNO-SSE que se extiende por la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, controlando varios elementos del relieve sucesivos: valle lineal del Río Grío, vertiente SO de las sierras de Algairén y del Peco, y terminación occidental de las sierras de Cucalón y Pelarda. Se recopilan evidencias de deformación reciente a lo largo de esta estructura: escarpes morfológicos, desplazamiento de una superficie de erosión pliocena, levantamiento anómalo de la formación plio-cuaternaria de Sierra Pelarda, reversión del drenaje en el valle del Río Güeimil, afloramientos de rupturas superficiales en sedimentos del Plioceno superior-Cuaternario. Ello permite definir una zona de falla extensional reciente formada por dos segmentos (falla de Río Grío-Lanzuela y falla de Cucalón-Pancrudo) que totalizan unos 88 km de longitud. Su desplazamiento vertical máximo posterior a 3,5 Ma es de 300 m, lo que supone una tasa de movimiento de 0,09 mm/a.

Palabras clave: Falla activa, morfotectónica, inversión del drenaje, Cuenca de Calatayud, Sierra Pelarda.

Abstract: *We describe a NNW-SSE trending fault line that extends along the Aragonian Branch of the Iberian Chain, controlling a number of successive relief elements: linear Río Grío Valley, SO slope of the Algairén and Peco Ranges, and western termination of Cucalón and Sierra Pelarda Ranges. Evidence of recent deformation is compiled along this structure: morphological scarps, offset of a planation surface of Pliocene age, anomalous uplift of the Pliocene-Quaternary Pelarda formation, drainage reversal at the Güeimil River valley, exposures of surficial ruptures in Late Pliocene-Quaternary materials. This allows defining a recent extensional fault zone, probably active, made of two segments (Río Grío-Lanzuela and Cucalón-Pancrudo faults) that totalize about 88 km in length. It has a maximum vertical slip post 3'5 Ma of 300 m, and hence a slip rate of 0,09 mm/a.*

Keywords: *Active fault, morphotectonics, drainage reversal, Calatayud Basin, Pelarda Range*

INTRODUCCIÓN: PLANTEAMIENTO, OBJETIVOS Y MARCO GEOLÓGICO

Identificar y cartografiar las fallas activas es indispensable para definir correctamente las fuentes sísmicas y su potencial de cara a evaluar la peligrosidad sísmica de una región. En la Cordillera Ibérica se han descrito y caracterizado en las últimas décadas numerosas fallas activas, a pesar de tratarse de un área de sismicidad muy moderada. Profundizando en el conocimiento tectónico regional se puede continuar identificando nuevas estructuras y afinando sus rasgos geométricos, en particular la longitud de su traza.

A lo largo de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica discurren una serie de fallas extensionales de traza *grosso modo* longitudinal a la misma (entre NO-SE y NNO-SSE) que representan, en la mayoría de los casos, la inversión negativa de fallas contractivas anteriores, tanto variscas como alpinas (Fig. 1). Las más importantes y reconocibles son las fallas de Río Grío, Munébrega, Daroca, Calamocha, Sierra Palomera y Concud. Otras fallas extensionales son transversales, con una dirección dominante N-S a NNE-SSW, más coherente con el campo de extensión ONO-ESE ligado al *rifting* del Surco de Valencia que se transmite al interior de la Cordillera a partir de mediados del Mioceno. Las principales de entre éstas se encuentran en los márgenes y en el interior de la Cuenca de Teruel: fallas de la Sierra de El Pobo-Cabigordo, Tortajada, Teruel, Aldehuela-Mas del Olmo y Val de la Sabina.

Durante el Plioceno superior-Cuaternario se produce la activación más o menos simultánea de todas esas fallas, así como de otras más locales de dirección próxima a E-O. Esta multiplicidad de direcciones de fracturación se ve favorecida por el régimen de esfuerzos de extensión radial o multidireccional que caracteriza los últimos estadios de la extensión neógena. Sin embargo, aunque en ese régimen las fallas de cualquier dirección tienen parecidas probabilidades de ser activadas, el análisis de la fracturación a escala mesoestructural indica que hay una dirección de extensión regional ENE-OSO que prevalece en ese periodo (Arlegui *et al.*, 2005). A escala macroestructural también hay rasgos que delatan la impronta regional de esa dirección de exten-

sión primaria, como son: (i) los segmentos meridional de la falla de Concud y la fosa del Jiloca, que aunque está controlada por (subparalelas a las estructuras contractivas principales de la Cordillera), éstas se disponen oblicuas y en relevo diestro, de manera que el eje del graben se orienta también NNO-SSE, paralelo a las trayectorias del esfuerzo máximo horizontal (SHmax).

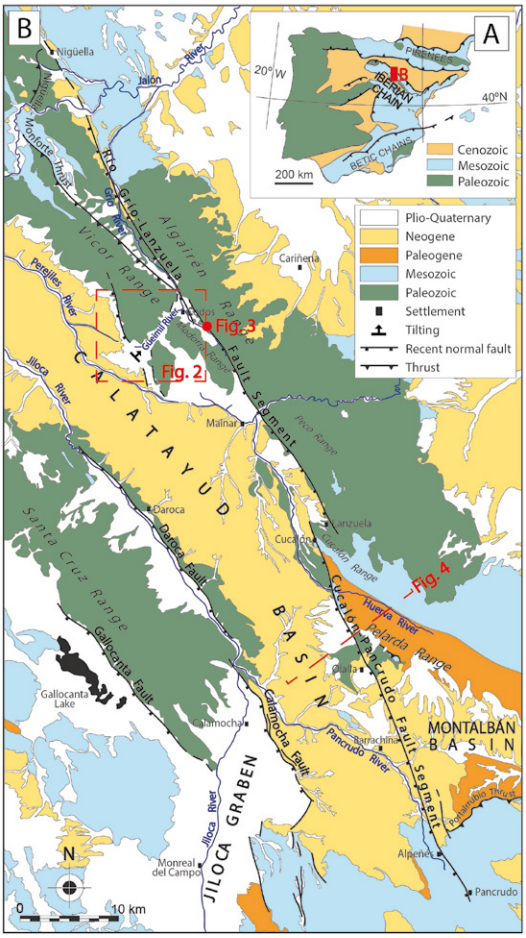


FIGURA 1. Mapa geológico de síntesis de la Cordillera Ibérica centro-oriental. Se destacan las fallas recientes principales, así como la localización de las Figuras 2, 3 y 4

En el presente trabajo exploramos y relacionamos una serie de rupturas que han sido identificadas en la literatura como elementos aislados, pero que tomados en su conjunto definen una gran estructura extensional reciente de dirección NNO-SSE y varias decenas de kilómetros de longitud. Se trata de la zona de falla que denominaremos de Río Grío-Pancrudo (Fig. 1). Su particularidad es que, aunque en alguno de sus tramos es una estructura que reactiva fallas inversas o de desgarre anteriores, su mitad meridional (falla de Cucalón-Pancrudo) atraviesa oblicuamente la Cuenca de Calatayud sin que se evidencie ninguna relación directa con fallas heredadas. Es la parte central de este segmento meridional la menos manifiesta, y se ha mantenido inédita en las cartografías geológicas publicadas a excepción del Mapa Geológico 1:200.000 (Gabaldón *et al.*, 1991), donde sí queda representada mediante una traza continua que se alinea con el segmento septentrional de Río Grío.

Parte de las evidencias sobre la actividad reciente de todas estas fallas proviene de su impronta en el relieve. En la evolución geomorfológica de la Cordillera Ibérica centro-oriental se reconocen una serie de hitos representados por extensas superficies de aplanamiento escalonadas. La principal de ellas es la llamada *Superficie de Erosión Fundamental* (SEF; Peña *et al.*, 1984) que en trabajos recientes ha sido dividida en tres subniveles, el *Subnivel Superior*, la SEF s.s. y el *Subnivel Inferior*, todos ellos acotados en edades entre 3,8 y 3,5 Ma (Simón-Porcar *et al.*, 2019). Estas superficies constituyen excelentes marcadores de la deformación y, por tanto, referencias útiles para calcular los desplazamientos verticales de las fallas recientes.

DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Sector de Río Grío

La falla sigue aquí el curso del Río Grío, y representa la inversión negativa del cabalgamiento de Nigüella-Monforte, con cuyo trazado coincide en parte (Fig. 1). Su carácter compresivo durante la Orogenia Alpina viene marcado por pliegues y otras estructuras asociadas, así como por los elevados espesores de roca de falla (Casas-Sainz *et al.*, 2016). Sobre su actividad extensional reciente existen las siguientes evidencias (Peiro y Simón, 2021): 1) Basculamiento del bloque SW hacia el plano de falla (Moissenet, 1980), que afecta al *Subnivel Inferior* de la *SEF* y a un sistema aluvial villafranquiense procedente del frente montañoso y que en la actualidad ocupa la zona de cabecera del Río Güeimil (Fig. 1). 2) Consiguiente inversión del drenaje en el valle del Río Güeimil, donde las paleocorrientes indican direcciones del flujo hacia el SW en los materiales villafranquienses y hacia el NE en el Cuaternario (Fig. 2). 3) Aumento de espesor de los depósitos cuaternarios hacia el NE a lo largo del valle del Güeimil, y mantenimiento de ese espesor en el valle del Río Grío (hasta 90 m; Gutiérrez *et al.*, 2013). 4) Afloramientos puntuales de la falla en contacto directo con los materiales cuaternarios de su bloque hundido (Fig. 3). El desplazamiento del *Subnivel Inferior* de la *SEF* y la extrapolación del basculamiento del glacis villafranquiense hasta el plano de falla permiten estimar saltos verticales de 240 m (post 3,5 Ma; tasa = 0,07 mm/a) y 140-220 m (post 1,95-2,1 Ma; tasa = 0,07-0,11 mm/a), respectivamente (Peiro y Simón, 2021).

Sector de Mainar-Lanzuela

La prolongación de la falla del Río Grío hacia el SSE coincide con el contacto entre las Sierras de Algairén y del Peco, formadas por materiales ordo-vícicos, y la Cuenca de Calatayud, rellena de sedimentos neógenos y cuaternarios (Fig. 1). Tanto esa serie como el *Subnivel Inferior* de la *SEF* que la enrasa están afectados también aquí por un suave y uniforme basculamiento hacia la sierra, por lo que se infiere el mismo movimiento extensional registrado al norte. No hemos hallado ningún afloramiento claro del contacto entre ambos materiales en el borde de cuenca, ya que éste se halla aparentemente fosilizado por una orla de abanicos aluviales cuaternarios y glacis cubiertos que parten del escarpe montañoso, sobre todo en la zona de Villadoz

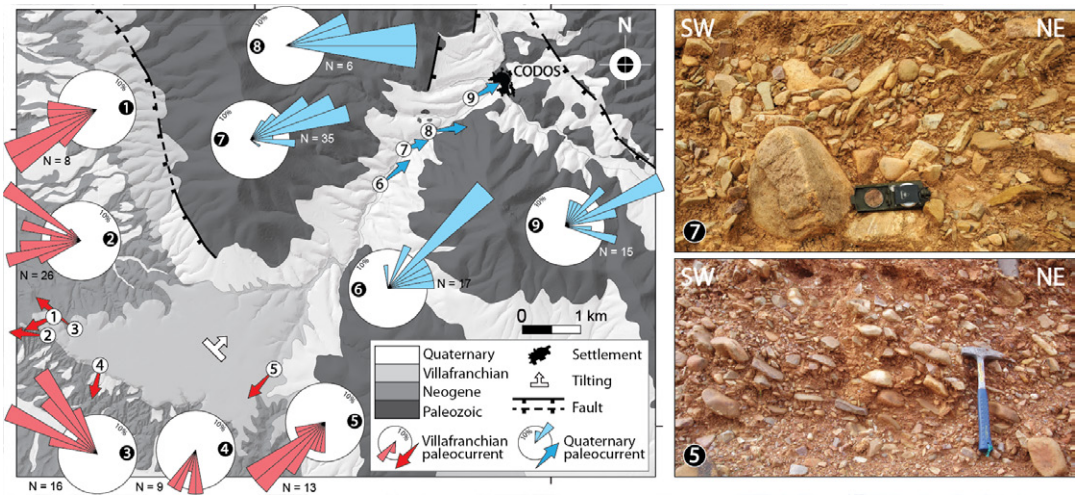


FIGURA 2. Basculamiento del bloque SW de la falla de Río Grío-Lanzuela en Codos (loc. Fig. 1). La inversión del drenaje del valle del Río Güeimil se ve reflejado en las direcciones de paleo-corrientes inferidas a partir de cantos imbricados medidos en 9 estaciones de materiales villafranquienses (previos a la inversión) y cuaternarios (posteriores a la misma). Como ejemplo, se muestran las fotos de detalle de las estaciones 5 y 7.

y Lanzuela. No obstante, el carácter rectilíneo del contacto delata la posición de la falla. A la altura de Lanzuela se produce el relevo diestro con la de Cucalón-Pancrudo. La distancia entre ellas es de 2 km, con un solape casi nulo. El salto máximo inferido en el *Subnivel Inferior* de la *SEF* es de unos 200 m.



FIGURA 3. Afloramiento del plano de la zona de falla de Río Grío-Lanzuela, al sur de Codos (ver localización en Fig. 1), afectando a materiales paleozoicos y cuaternarios.

Sector de Cucalón-Olalla

Entre Cucalón y Ferreruela la falla presenta en su entorno signos notables de deformación contractiva, probablemente transpresiva (no existe aún ningún estudio al respecto), en particular pliegues muy apretados que afectan a la potente serie paleógena perteneciente a la Cuenca de Montalbán (Fig. 1). El hecho de que esta serie se interrumpa bruscamente en la falla, así como la presencia de un extenso abanico aluvial cuaternario que parte del escarpe y vierte hacia la cuenca de Calatayud, son indicativos de su actividad reciente en este sector.

La incertidumbre acerca de la morfoestructura de la Sierra Pelarda dificulta la estimación de su salto en este sector. Hacia su cumbre aflora una formación de conglomerados de grandes cantos cuarcíticos redondeados (el techo alcanza 1510 m s.n.m; Fig. 4) cuyo origen ha sido objeto de múltiples conjeturas. En mapas recientes (*e.g.* Gabaldón *et al.*, 1991) se ha considerado una unidad plio-cuaternaria casi horizontal, discordante sobre el Paleógeno y el Neógeno inferior de la Cuenca de Montalbán. Por el contrario, Moissenet (1980) y Adrover *et al.* (1982) la habían considerado concordante con el Paleógeno infrayacente y atribuido al Oligoceno superior. Un estudio que estamos llevando a cabo arroja más evidencias a favor de la segunda interpretación. Los conglomerados cuarcíticos de Sierra Pelarda mantienen el basculamiento de la serie infrayacente, si bien están biselados por la *SEF* s.s. y por su *Subnivel Inferior*. Este último marcador se reconoce asimismo en el bloque hundido, lo que permite calcular un salto vertical (el mayor reconocido en toda la zona de falla) de 300 m (Fig. 4A).

Sector de Barrachina

La estructura se manifiesta mediante una sucesión de rupturas cuya continuidad en superficie no queda asegurada, pero que se alinean de forma muy elocuente. Todas ellas cortan y desplazan las unidades carbonatadas miocenas y pliocenas de la Cuenca de Calatayud (Fig. 1). También producen saltos verticales en el *Subnivel Inferior* de la *SEF* allí donde éste ha podido reconocerse, que oscilan entre 50 y 120 m.

Sector de Alpeñés-Pancrudo

La estructura visible refleja sobre todo la deformación contractiva (probablemente transpresiva). Por otra parte, la falla en este sector representa el límite en el que se interrumpe el cabalgamiento de Utrillas, concretamente su segmento más occidental (arco de Portalrrubio) (Fig. 1). No resulta tan evidente su activación extensional reciente, si bien desplaza los materiales mesozoicos y neógenos. De nuevo, la deformación del *Subnivel Inferior* de la *SEF* ha permitido inferir un salto de unos 100 m en este sector.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El conjunto de estructuras descritas constituye una zona de falla extensional reciente formada por dos segmentos (Río Grío-Lanzuela y Cucalón-Pancrudo; Fig. 1) que totalizan

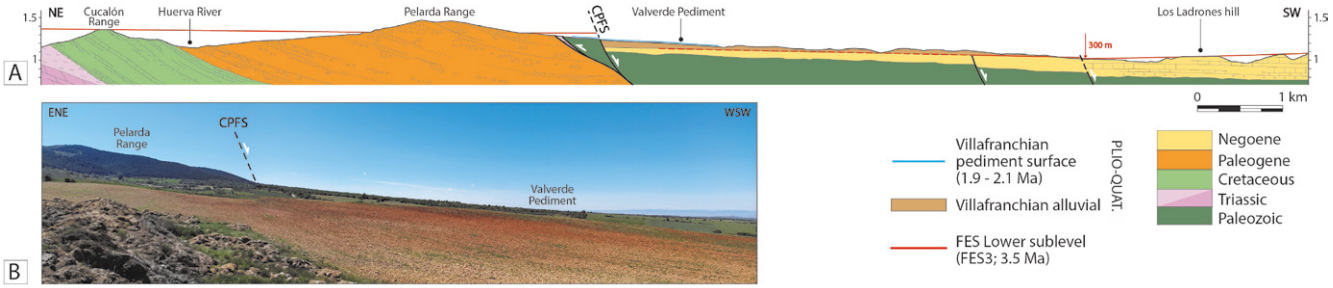


FIGURA 4. Corte morfoestructural (A) y contexto (B) de la falla de Cucalón-Pancrudo a la altura de la Sierra Pelarda (ver localización en Fig.1).

más de 88 km de longitud. Ambos segmentos están separados por una zona de relevo diestro de 2 km de anchura y con un solape casi nulo. El desplazamiento vertical máximo posterior a 3,5 Ma es de 300 m, con una tasa de movimiento de 0,09 mm/a, en la parte centro-norte del segmento Cucalón-Pancrudo.

Aunque no se dispone de ninguna datación absoluta, hay evidencias claras de actividad cuaternaria al menos en los sectores de Río Grío, Mainar-Lanzuela y Cucalón-Olalla. Ello le otorga un carácter de probable falla activa y un potencial sismogénico que debe ser tenido en cuenta en la evaluación de la peligrosidad sísmica de la Cordillera Ibérica. A este respecto, hay que tener en cuenta que la zona de relevo entre ambos segmentos quizá no tenga anchura suficiente para actuar como barrera ante la propagación de la ruptura superficial en un terremoto mayor. De acuerdo con los resultados publicados por Biasi y Wesnousky (2016), las rupturas en fallas *dip-slip* logran sobrepasar el 54% de las zonas de relevo de 1 km o más de anchura, y añaden que este porcentaje aumenta en el caso de las fallas normales. Ello supone una probabilidad significativa de que toda la zona de falla corresponda a una única ruptura profunda que pudiera moverse íntegramente, produciendo en tal caso terremotos de magnitud ca. 7,4 (para una longitud total de 88 km, según la correlación de Wells y Coppersmith, 1994).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el proyecto LMP127_18 (Programa Operativo de Fondo Europeo de Desarrollo Regional Aragón 2014-2020). A. Peiro disfruta de una beca FPU (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, FPU17/02470).

REFERENCIAS

Adrover, R., Feist, M., Hugueney, M., Mein, P. y Moissenet, E. (1982): L'âge et la mise en relief de la formation detritique culminante de la Sierra Pelarda (Prov. Teruel, Espagne). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 295: 231-236.

Arlegui, L.E., Simón, J.L., Lisle, R.J. y Orife, T. (2005): Late Pliocene-Pleistocene stress field in the Teruel and Jiloca grabens (eastern Spain): contribution of a new method of stress inversion. *Journal of Structural Geology*, 28: 1019-1027.

Biasi, G. P. y Wesnousky, S. G. (2016): Steps and gaps in ground ruptures: Empirical bounds on rupture propagation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(3), 1110-1124.

Casas-Sainz, A.M., Marcén, M., Calvín, P., Gil, A., Román-Berdiel, T. y Pocoví, A. (2016): Deformación varisca, tardivarisca y alpina en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: propuesta para diferenciación y denominación de estructuras. *Geo-Temas*, 16 (2) (IX Congreso Geológico de España) ISSN 1576-5172.

Gabaldón, V., Lendinez, A., Ferreiro, E., Ruiz, V., López de Alda, F., Valverde, M., Lago San José, M., Meléndez, A., Pardo, G., Ardevol, L., Villena, J., González, A., Hernández, A., Alvaro, M., Leal, M. C., Aguilar Tomás, M., Gómez, J. J. y Carls, P. (1991): *Mapa Geológico de España 1: 200.000, hoja nº 40 (Daroca)*. IGME, Madrid.

Gutiérrez, F., Lucha, P. y Jordá, L. (2013): The Río Grío depression (Iberian Chain, NE Spain). Neotectonic graben vs. fluvial valley. *Cuaternario y geomorfología* 27 (3-4), 5-32.

Moissenet, É. (1980): Relief et déformations récentes: trois transversales dans les fossés internes des chaînes ibériques orientales. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Sud-Ouest Européen*, 51(3), 315-344.

Peiro, A., y Simón, J.L. (2021): The Río Grío-Pancrudo Fault Zone (central Iberian Chain, Spain): recent extensional activity revealed by drainage reversal. *Geological Magazine* (en prensa).

Peña, J.L., Gutiérrez, M., Ibáñez, M.J., Lozano, M.V., Rodríguez, J., Sánchez-Fabre, M., Simón, J.L., Soriano, M.A., Yetano, L.M., 1984. Geomorfología de la provincial de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses, 149 p.

Simón-Porcar, G., Simón, J. L. y Liesa, C. L. (2019): La cuenca neógena extensional de El Pobo (Teruel, Cordillera Ibérica): sedimentología, estructura y relación con la evolución del relieve. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32, 17-42.

Wells, D.L. y Coppersmith, K.J. (1994): New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84, 974–1002.

La historia sísmica durante el Cuaternario Superior de una gran falla direccional: La Falla de Yusuf (Mar de Alborán)

Upper Quaternary seismic history on a large strike slip fault: The Yusuf Fault (Alboran Sea)

H. Perea[1], E. Gràcia[2], S. Almeida[2], L. Gómez de la Peña[3], S. Martínez-Loriente[2] y R. Bartolomé[2]

1 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas -Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid (Spain). hperea01@ucm.es
2 Barcelona-CSI, Institut de Ciències del Mar - CSIC, 08003 Barcelona (Spain). egracia@icm.csic.es, stfy_almeid@hotmail.com, smartinez@icm.csic.es, rafael@icm.csic.es
3 GEOMAR - Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, 24148 Kiel (Germany). lgomez@geomar.de

Palabras clave: Fallas activas, Paleosismología submarina, Historial de terremotos, Falla direccional, Mar de Alborán.

Resumen

La identificación y caracterización de estructuras activas en el Mar de Alborán es esencial para evaluar mejor la exposición de las costas del sur de la Península Ibérica y del Magreb a diferentes peligros naturales. La Falla de Yusuf (YFS) es un sistema de dirección dextral que corresponde con un límite litosférico entre diferentes dominios de la corteza: la Cuenca del Alborán Oriental al norte y el Margen del Norte de África al sur. Tiene una dirección WNW-ESE, una longitud de ~150 km y ha formado una cuenca de pull-apart. El análisis de datos geofísicos de ultra-alta resolución adquiridos con AUV revela que este sistema es una estructura compleja compuesta por una serie de fallas de deslizamiento. La mayoría de ellas alcanzan y desplazan el fondo marino y las unidades sedimentarias del Cuaternario Superior. El análisis paleosísmico muestra que la YFS podría haber generado al menos 8 terremotos durante los últimos 200 ka. El desplazamiento vertical promedio es de 0.64 m, mientras que la tasa de deslizamiento vertical sería de alrededor de 0.03 mm/año. Sin embargo, este valor debe considerarse como mínimo, ya que YFS es una falla de dirección y el deslizamiento lateral será mucho mayor que el vertical. Según diferentes relaciones empíricas, la YFS podría producir terremotos de magnitud mayor a Mw 7.0. Estos resultados muestran que este tipo de estudios son esenciales para revelar la actividad actual y caracterizar el comportamiento sísmico de las fallas submarinas, con implicaciones cruciales para la evaluación del peligro sísmico (y de tsunami) en las áreas costeras circundantes.

Abstract

The identification and the seismic characterization of the active structures in the Alboran Sea is essential to evaluate better the exposure of the South Iberian Peninsula and Maghreb coasts to different natural hazards. The dextral strike-slip Yusuf Fault System (YFS) is a lithospheric boundary between different crustal domains: the East Alboran Basin to the north and the North African Margin to the south. It trends WNW-ESE, is ~150 km-long and has formed a pull-apart basin. The analysis of an ultra-high resolution geophysical dataset acquired with an AUV reveals that this system is a complex structure composed by an array of strike-slip faults. Most of them reach up and offset the seafloor and the Upper Quaternary sedimentary units. The paleoseismic analyses shows that the YFS might have generated at least 8 earthquakes during the past 200 ka. The estimated average vertical offset is about 0.64 m, while the vertical slip-rate would be around 0.03 mm/yr. However, this values have to be considered as a minimums since YFS is a strike-slip fault and the lateral slip will be much larger than the vertical one. According to different empirical relationships, the YFS could produce earthquakes over than magnitude Mw 7.0. The results demonstrate that this type of studies are essential to reveal the present-day activity and to characterize the seismic behavior of submarine faults, with crucial implications for seismic (and tsunami) hazard assessment in the surrounding coastal areas.

Perfil térmico somero de la Falla de Alhama de Murcia.

Vertical shallow thermal profile of the Alhama de Murcia Fault Zone.

R. Pérez-López[1], J. J. Martínez-Díaz[2], A. Staller-Vázquez[3], M. Bejar-Pizarro[1], J. A. Álvarez-Gómez[2], A. Ramos[1]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. SPAIN. r.perez@igme.es, m.bejar@igme.es, a.ramos@igme.es
2 Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid. jmdiaz@ucm.es, jaalvare@ucm.es
3 Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía. Ctra. Valencia km. 7. Campus Sur. Universidad Politécnica de Madrid. 28031-Madrid. a.staller@upm.es

Palabras clave: perfil térmico, falla de Alhama de Murcia, terremotos, justificado completo.

Resumen

La obtención de un perfil térmico en profundidad en fallas activas, permite establecer el gradiente geotérmico y el flujo de calor, los cuales se hayan relacionados con la tasa de deformación tectónica (Pérez-López *et al*., 2017). Hemos utilizado dos sensores de temperatura modelo SEABIRD SBE56 con una precisión de 0,002 ºC dentro de un rango de temperaturas entre -5 y +35 ºC. Hemos utilizado el sondeo FAM1 (Martínez-Díaz *et al.*, 2016), con una profundidad de 174 m, y un diámetro inicial de 8,8 cm. El sondeo se localiza unos 3 km al SO de la ciudad de Lorca, en la rambla de la Torrecilla. El sondeo intersecta la falla a partir de los 70 m de profundidad. Se obtuvo un dato cada 10 m en 190 minutos, y se realizó durante dos épocas diferentes del año. El resultado obtenido es de 3,86 °C/100 m, sensiblemente más alto que otros valores: 2,7 °C/100 m en 300 m y 3,6 °C/100m a 450 m en la Falla de S. Andrés (Henyey y Wassemburg, 1971).

Abstract

Vertical thermal profiles of active faults and geothermal gradients are related to the tectonic fault slip (Pérez-López et al., 2017). We have measured temperature at different depths (each 10 m), by using SEABIRD SBE56 high accurate loggers (±0,002 ºC, temp. range -5 y +35 ºC). We used the FAM-1 borehole (Martínez-Díaz et al., 2016), with 174 depth and a diameter of 8.8 cm. The borehole is located 3 km south-westward of the city of Lorca, and the Alhama de Murcia Fault intersects the borehole at -60 m. We measured each 10 m depth during 190 minutes, in two different yearly seasons. The geothermal gradient is 3.86 °C/100m, slightly higher than results from Henyey and Wassemburg, (1971): 2.7 °C/100 m in 300 m, and 3.6 °C/100m in 450 m, in the S. Andrés Fault.

Referencias

Henyey T.L. and G.J. Wasserburg. (1971). Heat Flow near Major Strike-Slip Faults in California. *J. Geophys. Res*. 76(32), 7924-7945.

Martínez-Díaz, J., J.M. Insua-Arévalo, M. Tsige, E. Rodríguez-Escudero, M. J. Jurado, J. Alonso-Henar, J. Crespo, D. Jiménez-Molina, J. M. Moratalla, M. J. Rodríguez-Péces, J. A. Álvarez-Gómez, R. Pérez-López, M. Alvaro y R. Capote. (2016). FAM-1 Borehole: first results from the scientific drilling of the Alhama de Murcia Fault, Betic Cordillera, Spain. En: *IX Congreso Geológico de España.* Comunicaciones 16(2), 579-582.

Pérez-López R. S. Martín-Velázquez, S. Sánchez-Moral, M. Patyniak, J. López-Gutiérrez, S. Cuezva, J. Lario, P.G. Silva, M.A. Rodríguez-Pascua, J.L. Giner-Robles. (2017). New insights on speleoseismology: The geothermal gradient and heat flow values in caves for the study of active faults. *Quaternary International* 451, 165-175.

Evidencias arqueosismológicas de la destrucción de Medina Azahara (Córdoba, España)

Archaeoseismological evidences of the Medina Azahara destruction (Córdoba, Spain)

M.A. Rodríguez-Pascua[1], M.A. Perucha[1], A.J. Montejo Córdoba[2], P.G. Silva[3], J.L. Giner[4], T. Bardají[5], J. Élez[3] y E. Roquero[6]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España. ma.rodriguez@igme.es; a.perucha@igme.es
2 Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía. Capitulares, 2. 14002 Córdoba, España. albertoj.montejo@juntadeandalucia.es
3 Dpto. Geología. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Universidad Salamanca. Hornos Caleros, 50. 05003 Ávila, España. pgsilva@usal.es; j.elez@usal.es
4 Dpto. Geología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. Madrid, España. jorge.giner@uam.es
5 U.D.Geología, Universidad de Alcalá, 28871- Alcalá de Henares, Madrid, España. teresa.bardaji@uah.es
6 Dpto. de Edafología, Universidad Politécnica de Madrid, España. elvira.roquero@upm.es

Palabras clave: Medina Azahara, terremoto, efectos arqueológicos de terremotos (EAEs), destrucción y abandono de la ciudad.

Resumen

La "Ciudad Califal de Medina Azahara" ha sido inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en 2018. Su construcción data de los años 936-937 o 940-941, según las fuentes que se utilicen, por parte del primer califa de al-Andalus Abd al-Rahman III (912-961). Su abandono y destrucción se relaciona con la guerra civil (*fitna*) iniciada entre los años 1009-1010. Además, es posible que otras causas ayudaran al rápido despoblamiento y expolio de la ciudad en la segunda década del s. XI. El estudio arqueosismológico llevado a cabo sobre los vestigios de la ciudad califal aporta las primeras pruebas sobre la posible destrucción de la ciudad debido a un terremoto, lo que contribuiría a su rápido abandono. Los EAEs identificados y clasificados son: claves caídas de arcos, fracturas conjugadas en muros de ladrillo, fracturas conjugadas y pliegues en pavimentos regulares, esquinas fracturadas en columnas y fracturas penetrativas en bloques de sillería. Se han tomado 160 medidas estructurales de EAEs obteniendo unos resultados coherentes con una dirección de movimiento medio del sustrato N140º-160ºE. La congruencia de las orientaciones obtenidas con el análisis estructural geológico de los EAEs, nos lleva a interpretar que la destrucción y abandono de Medina Azahara a principios del s. XI pudo ser debida a un terremoto, pudiendo existir otras causas coadyuvantes. Este trabajo ha sido financiado con el proyecto QTECSPAIN (MINECO-FEDER CGL2015-67169-P (USAL). Es una contribución del grupo de trabajo QTEC-AEQUA.

Abstract

The "Caliphal City of Medina Azahara" has been inscribed on the UNESCO World Heritage List in 2018. Its construction dates from the years 936-937 or 940-941 by the first Caliph of al-Andalus Abd al-Rahman III (912-961). Its abandonment and destruction is traditionally related to the civil war (fitna) initiated between the years 1009-1010. It is possible that other causes helped the rapid depopulation and plundering of the city in the second decade of the 11th century. The archaeoseismological study carried out on the remains of the caliphal city provides the first evidence of the possible destruction of the city by an earthquake, which would contribute to its rapid abandonment. The identified and classified EAEs are: dropped key stones in arches, conjugated fractures in bricks-made walls, conjugated fractures and folds in regular pavements, dipping broken corners in columns, and penetrative fractures in regular pavements. 160 EAEs structural measures have been taken obtaining results consistent with a mean ground direction of movement N140º-160ºE. The congruence of the orientations obtained with the geological structural analysis of the EAEs, leads us to interpret that the destruction and abandonment of Medina Azahara at the beginning of the 11th century could participate an earthquake, although there may have been other contributing causes. This work has been funded by the Spanish research Project QTECSPAIN (MINECO-FEDER CGL2015-67169-P (USAL)). It is a contribution of the Spanish W. G. QTECT-AEQUA.

Relocalización de terremotos y sismotectónica mediante un nuevo modelo cortical 3D en el área de la Falla de Alhama de Murcia (SE Iberia)

Earthquake relocation and seismotectonics using a new 3D crustal model in the Alhama de Murcia Fault area (SE Iberia)

J.L. Sańchez-Roldán[1], J.J. Martínez-Díaz[1,2], J.V. Cantavella[3], J.A. Álvarez-Gómez[1] y J. Morales[4]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid (UCM), C/ José Antonio Novais, 12, Madrid, jl.sanchez.roldan@ucm.es, jmdiaz@ucm.es, jaalvare@geo.ucm.es
2 Instituto de Geociencias (IGEO-CSIC), C/ Severo Ochoa 7, Edificio Entrepabellones 7-8, Madrid
3 Instituto Geográfico Nacional (IGN), C/ General Ibáñez de Íbero 3, Madrid, jvcantavella@fomento.es
4 Instituto de Andaluz de Geofísica (IAG), C/ Profesor Clavera 12, Granada, jmorales@ugr.es

Palabras clave: Sismotectónica, Relocalización de terremotos, Zona de Cizalla de las Béticas Orientales, Modelo de Corteza 3D.

Resumen

La Zona de Cizalla de las Béticas Orientales comprende una de las áreas tectónicamente más activas de Iberia debido a la convergencia entre Eurasia y África (Martínez-Díaz *et al*., 2012). Centramos nuestro estudio en la Falla de Alhama de Murcia y otras fallas cercanas, las cuales son la fuente de grandes eventos paleosísmicos y de algunas series sísmicas responsables de daños en periodo histórico. El objetivo de este estudio es el de dar más precisión a los hipocentros de esta región. Para lograrlo, añadimos datos de eventos registrados por la red de estaciones del Instituto Andaluz de Geofísica (IAG), y otra red de estaciones locales temporales a la propia del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para realizar una relocalización de estos con un nuevo modelo cortical 3D de la zona, creado combinando datos geofísicos recientes a nivel regional y local (ej. Díaz y Gallart, 2009; Mancilla y Díaz, 2015). Las nuevas localizaciones, que disminuyen la incertidumbre de su distribución espacial, nos permiten asociar series de eventos a familias de fracturación conocidas.

Abstract

The Eastern Betics Shear Zone comprises one of the most active tectonic areas in Iberia due to the convergence between Eurasia and Africa (Martínez-Díaz et al., 2012). We focus our study in the Alhama de Murcia Fault and other nearby faults, that are the source of large paleoseismic events and some damaging series in the historical period. The study aims to give more accurate locations to the hypocentres in the region. This was accomplished by adding data of events recorded by the Andalusian Seismic Institute (IAG) network, and another local temporal network to the one used in the Spanish Catalogue (IGN) for computing a relocation of those events using a new 3D crustal model of the area, created combining recent geophysical data both regional and local (e.g. Díaz and Gallart, 2009; Mancilla and Díaz, 2015). New locations, which reduce the uncertainties of their spatial distribution, allow relating series of events to known fracture families.

Referencias

Díaz, J. y Gallart, J. (2009). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 173, 181-190.

Mancilla, F. y Díaz, J. (2015). *Tectonophysics* 663, 203-211.

Martínez-Díaz, J. J., Masana, E. y Ortuño, M. (2012). *Journal of Iberian Geology* 38, 253-270.

Fallas de salto en dirección en el basamento de la cuenca de antepaís del Guadalquivir

Strike-slip faulting in the basement of the Guadalquivir foreland basin

V. Tendero-Salmerón[1], J. Galindo-Zaldívar[1,2], J.A. Peláez[3], M. Martínez-Martos[2], J. Henares[3], C. Marín-Lechado[4], A.J. Gil-Cruz[5,6], A.C. López-Garrido[1]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Av. Las Palmeras, 4, 18100 Armilla (Granada); vtendero@ugr.es, jgalindo@ugr.es, aclopez@ugr.es
2 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Fuente Nueva s/n 18071 Granada; jgalindo@ugr.es, manuelmm@ugr.es
3 Departamento de Física, Universidad de Jaén, Paraje de las Lagunillas s/n 23071Jaén; japelaez@ujaen.es, jhenares@ujaen.es
4 Instituto Geológico-Minero de España, Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo.18006 Granada, c.marin@igme.es
5 Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas 23071 Jaén, ajgil@ujaen.es
6 Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra (CEATierra), Campus las Lagunillas, 23071 Jaén; ajgil@ujaen.es

Palabras clave: fallas de salto en dirección, cuenca de antepaís, sismicidad, geofísica

Resumen

Varias series sísmicas se han sucedido en la zona oriental del Guadalquivir, localizadas en su basamento, que debería ser estable como antepaís de la Cordillera Bética. La más reciente (2016-2018) se sitúa bajo el Guadiana Menor, con una magnitud máxima m_{bLg} 4.1. Los mecanismos focales son de salto en dirección y el grupo de terremotos tiene una elongación aproximada N-S.

Además del análisis de la sismicidad, se han realizado estudios de superficie, tomografías eléctricas y prospección gravimétrica. En la superficie, los indicios de actividad tectónica reciente son escasos, pero se encuentran fallas de direcciones N-S a NNE-SSO subverticales en el área de sismicidad más somera (al N del clúster), cuya continuidad ha sido confirmada por las tomografías eléctricas. Por otro lado, los modelos gravimétricos muestran un relleno sedimentario en cuña, de potencia creciente hacia el este, en coherencia con una cuenca de antepaís. La topografía del basamento no presenta grandes escarpes ni estructuras. El origen de la sismicidad es, por tanto, una falla activa NNE-SSO sinistra en el basamento ibérico, que podría estar propagándose al relleno sedimentario.

A nivel regional, la formación de esta falla tiene importantes implicaciones: la geometría del sistema de fallas descarta los modelos de *strain partitioning* y de fallas de transferencia. Así pues, proponemos un modelo de indentación tectónica en el basamento ibérico en estado incipiente, con una disposición similar a la falla de Palomares asociada al Arco de Águilas.

Abstract

Several seismic swarms have affected the Eastern Guadalquivir Basin, located into the basement, which should be non-deformed as the foreland of the Betic Cordillera. The most recent of them (2016-2018) is in the Guadiana Menor Valley, reaching a m_{bLg} 4.1 event. Focal mechanisms are strike-slip solutions, and seismicity is distributed in a N-S elongated cluster.

In addition to seismic analysis, other studies including surface researches, electric resistivity tomographies (ERT) and gravity prospecting have been carried out. Signs of active tectonics are scarce, but there are minor N-S vertical faults over the shallowest earthquakes (northern part of the cluster). ERT evidences the continuity of these faults. On the other hand, gravity anomaly models show a sedimentary infill that increases its thickness eastwards, in coherence with a foreland basin. Basement surface does not present big steps, scarps nor structures. Altogether supports that the origin of the seismicity is a NNE-SSW sinistral fault nucleated in the Iberian basement that may be propagating upwards.

At regional scale, the generation of this fault has significant implications: this fault is not coherent with a strain partitioning or transfer fault models because of the absence of the geometry of the fault system. We propose a model of an incipient tectonic indentation in the Iberian basement, similar to the Palomares fault, associated to the Aguilas Arc.

Caracterización petrológica de los materiales procedentes de las canteras históricas en el entorno de la Alcazaba de Almería

Petrological characterization of materials from historical quarries in the surroundings of the Alcazaba de Almeria

J.M. Alonso Blanco[1,2], J. Berbel Rodriguez[1], L. Cara Barrionuevo[2]

1 Calle Real 71 Bajo, 04002 Almería. Ofitec2011@gmail.com.
2 Instituto de Estudios Almerienses.

Resumen: Desde 2005 estudiamos las canteras históricas localizadas en la ciudad de Almería. La primera información parte de los trabajos encargados por la Delegación Territorial de Cultura, para su inscripción en el CGPH de Andalucía. Estos estudios continúan en 2016 para iniciar su expediente BIC, realizándose una caracterización petrológica de los materiales de la Alcazaba de Almería y su comparación con las canteras califales y otras explotaciones vinculadas al monumento. Las rocas fueron analizadas para su correlación mediante microscopia óptica, Difracción y Fluorescencia de RX, mediante 18 muestras en 11 canteras del entorno: 4 canteras-cueva del barrio la Chanca y 7 canteras entre la loma de las Palomas y el cerro de San Cristóbal, junto a 10 sillares de la Alcazaba. Los resultados indican que los materiales de las fases más antiguas del monumento (época califal, 929-1031), procedían de materiales análogos a las canteras-cueva de La Chanca, con calcarenitas dolomitizadas ricas en hierro y areniscas de grano fino, de los tramos inferiores de la serie sedimentaria, mientras que la fase constructiva más reciente (castillo cristiano) son calcarenitas biomicríticas y dolomicríticas de los tramos intermedios de la serie, procedentes de las canteras de la Hoya y del cerro San Cristóbal.

Palabras clave: Canteras históricas medievales, correlación petrológica, sillares calcareníticos.

Abstract: *Since 2005 we have studied the historical quarries located in the city of Almeria. The first information starts from the works commissioned by the Territorial Delegation of Culture, for its inscription in the CGPH of Andalusia. These studies continue in 2016 to start their BIC file, carrying out a petrological characterization of the materials of the Alcazaba de Almeria and its comparison with the caliphal quarries and other exploitations linked to the monument. The rocks were analysed for correlation using light microscopy, Diffraction and Fluorescence of RX, using 18 samples in 11 quarries in the area: 4 cave quarries in the La Chanca neighbourhood and 7 quarries between the hill of las Palomas and the Cerro de San Cristóbal, next to 10 ashlars of the Alcazaba. The results indicate that the materials of the oldest phases of the monument (caliphal period), came from materials analogous to the La Chanca cave-quarries, with dolomitized calcarenites rich in iron and fine-grained sandstones, from the lower sections of the series. sedimentary, while the most recent construction phase (Christian castle) are biomicritic and dolomicritic calcarenites from the intermediate sections of the series, originating from the la Hoya quarries and the Cerro San Cristóbal.*

Keywords: *Medieval historical quarries, petrological correlation, calcarenitic ashlars.*

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las canteras históricas de Almería se extienden por el borde SE de sierra de Gádor alrededor de los relieves occidentales de toda la ciudad, ocupando una extensión en torno a las 20 Ha. En conjunto están formadas por 17 áreas extractivas con 27 frentes de cantera y unas 14 canteras-cueva o extracciones de interior (Berbel *et al.*, 2006). Este grupo de canteras fueron trabajadas, durante un largo periodo de tiempo entre finales del primer y el segundo milenio, extrayendo un volumen considerable de materiales rocosos calcareníticos asociados a la serie detrítico-carbonatada del mioceno superior que rellena el margen occidental de la cuenca neógena de Almería.

El primer estudio sobre estos materiales pétreos fueron los utilizados en la restauración de la catedral de Almería en 1991 (de Torres, *et al.*, 1991). Junto a este trabajo se acompañó una identificación de la piedra utilizada en la catedral y cantera realizado por la universidad de Oviedo (Esbert y Alonso, 1992). El primer trabajo genérico sobre estas explotaciones, fue iniciado en 2005 con el estudio encargado por la Delegación Territorial de Cultura de Almería, con vistas a su inscripción en el Catálogo General del Patrimonio Histórico de Andalucía para su protección con carácter genérico (Berbel *et al.*, 2006). Todos los trabajos previos son documentos internos sin publicar, exceptuando un trabajo sobre las Canteras Califales de Almería, en el que se describen este grupo de canteras. (Alonso *et al.*, 2008). En octubre de 2015, la Comisión de Cultura del Parlamento Andaluz, emitió certificación acreditativa del acuerdo aprobado por dicha comisión, relativa a la declaración de las canteras califales de Almería, como BIC. Dado

el carácter monumental de muchas de estas canteras, no solo las califales, dada la envergadura de las extracciones y los medios empleados, junto con los valores históricos que presentan, se cambió la propuesta inicial de Catalogación General por la de BIC para su inscripción en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz, como Canteras Monumentales. Debido a ello los trabajos fueron ampliados en 2016 mediante el "Estudio Petrológico de las Canteras relacionadas con la Alcazaba de Almería" (Alonso y Berbel, 2016), con el que se realizó la caracterización petrológica de los materiales constructivos del Conjunto Monumental de la Alcazaba de Almería para la identificación y correlación de las denominadas "canteras califales" (presumiblemente en época califal entre el 929-1031) y otras explotaciones más recientes (siglos XV-XVI) relacionadas también con el monumento.

METODOLOGÍA Y MUESTREO

Para la elección de los puntos de muestreo en el *monumento*, los técnicos de la Alcazaba realizaron el preceptivo proyecto de sondeo arqueológico previo a la intervención y aportaron los criterios arqueológicos conocidos, necesarios para llevar a cabo la toma de muestras y además se consideró: a) representatividad de las muestras en las zonas previamente elegidas, b) dimensiones de los sillares/sillarejos y sus características físico-mecánicas para minimizar daños en los mismos, c) principales litotipos representados en la secuencia histórica constructiva de los tres recintos del monumento.

Las *canteras* elegidas para la toma de muestras, se decidieron mediante los datos geológicos e históricos-etnológicos obtenidos para la documentación técnica de la Delegación de Cultura del año 2006. Las áreas seleccionadas fueron muestreadas según los siguientes criterios: a) textura-estructura de los materiales aflorantes en la cantera, b) representatividad de la muestra en cada frente extractivo, c) variedad de facies litológicas representadas, d) secuencia histórica de explotación de la misma.

El muestreo se realizó en junio de 2016 y para ajustar los plazos de ejecución, en el cronograma de trabajos se intercalaron las muestras de mano tomadas mediante martillo y cincelado en la mayor parte de las canteras, con las tomadas por ICC, Control de Calidad, SL, en la Alcazaba de Almería, mediante perforadora Hilti DD-130 con corona de diamante de 55 mm de diámetro y una longitud de testigo entre 150-200 mm. Se muestrearon once canteras, situadas en el entorno de la Alcazaba de Almería, donde se han tomado entre 1 y 3 muestras, dependiendo de la diversidad petrológica existente y abarcando el mayor número de frentes de cantera representativos. Se han tomado un total de dieciocho muestras en canteras: 15 de ellas mediante martillo y cincelado y 3 mediante perforadora saca testigos, en la Cantera Cueva del Tesoro, dado su interés monumental y su buen estado de conservación. En el interior de la Alcazaba de Almería se tomaron un total de nueve muestras y la nº 10 a extramuros del recinto, en la base del talud de la Torre de la Pólvora. Esta última mediante martillo y cincelado, para poder comparar esta área extractiva con las muestras del primer y segundo recinto del conjunto monumental. Después de la toma de muestras, se llevaron a cabo los trabajos de restauración de todos los puntos realizados mediante la perforadora saca testigos.



FIGURA 1. Primera sala de la cantera-cueva las Cuatro Cuevas, con las bancadas de extracción manual inclinadas (Foto 2016).

GEOLOGÍA DEL ÁREA Y CANTERAS

Las canteras se sitúan en el sector centro-meridional de las Zonas Internas de la cordillera Bética, entre el extremo SE de los relieves de la sierra de Gádor y el margen occidental de la depresión Neógena de Almería junto al delta del Bajo Andarax. Los relieves de sierra de Gádor y el substrato de la depresión están formados por materiales pre-orogénicos pertenecientes al Complejo intermedio Alpujárride, con un rango de edades del paleozoico superior al Trías inferior-medio, donde se diferencian dos unidades locales: los mantos de Gádor y Felíx (Jacquin, 1970) Estas rocas antiguas se hallan recubiertas en el ámbito de la cuenca, por una serie sedimentaria más reciente del Tortoniense superior (9-7,5 m.a.), coetánea del volcanismo de cabo de Gata y de los procesos extensionales que originan la configuración actual de la cuenca de Alborán, asociados a la evolución alpina del orógeno Bético-Rifeño.

El margen SO de la depresión de Almería presenta una historia sedimentaria definida por medios de depósito marino y de transición, que se extienden en el tiempo desde el Mioceno superior al Cuaternario. Se caracteriza por una



FIGURA 2. Vista de la segunda sala en la Cantera-Cueva del Tesoro, al fondo se observa la parte central de la primera sala. (Foto 2006).

gran diversidad de litofacies con frecuentes cambios laterales, que rellenan un antiguo paleo-relieve afectado por una intensa fracturación activa, que evoluciona según un esquema general de tipo regresivo desde facies de cuenca a medios de plataforma somera y litoral con buzamientos generalizados hacia el SE. La serie lito-estratigráfica está constituida: 1) un conglomerado basal, de carácter litoral (Voermans *et al.*, 1980), de cantos dolomíticos muy redondeados de espesor reducido y edad Tortoniense, que aflora en los cortes de Bayyana y Pescadería. 2) Sobre estos se desarrollan facies de plataforma marina con litologías margoso-calcáreas: con calcarenitas margosas, margo-calizas y calcilutitas de matriz micrítica del Tortoniense superior y una potencia estimada de 50 m. Estas rocas fueron explotadas en las canteras-cueva o explotaciones de cantera de interior situadas entre los barrios de Pescadería y La Chanca, descritas de Sur a Norte: La Campsa, El Covarrón, Las Cuatro-Cuevas y La Cueva del Tesoro (ver figuras 1 y 2 de estas dos últimas canteras).3) Formación calcarenítica infralitoral y litoral con calcarenitas bioclásticas del Tortoniense superior, con frecuentes intercalaciones y niveles de gravas dolomíticas, presentan a veces un aspecto masivo: biomicritas arenoso-conglomeráticas o biomicroruditas y bio-dolomicritas con colores desde blanco a crema. Estas rocas son las más intensamente explotadas en las canteras antiguas de Almería: Canteras del Puerto o de Poniente y el afloramiento de San Roque explotado para la construcción de la Catedral de Almería. También en algunos frentes de las Canteras de San Roque Norte, ladera Sur y Norte de la loma de San Cristóbal, Canteras de La Hoya y de la Acequia, de Las Trincheras y del Quemadero Oeste. 4) Sobre esos materiales se deposita el complejo arrecifal constituido por arrecifes coralinos y parches arrecifales, parcialmente erosionados y desmantelados. Constituido por calizas arrecifales del Messiniense-Plioceno inferior, rocas muy cementadas con bloques de Porites, y en menor proporción por Tarbellastrea. Predominan las facies de talud arrecifal con niveles de calcarenitas bioclásticas y lumaquelas, briozoos, serpúlidos, algas rojas y halimedas, con un espesor local entre 5 y 50 m. Estos materiales han sido extraídos para la talla de bolaños entre el frente oriental de las Canteras del Quemadero Oeste y el Quemadero Este. 5) Relacionadas lateralmente con el complejo anterior afloran calcarenitas y calizas organógenas de tonos rosados a crema claro, constituidas por algas rojas, muy cementadas y recristalizadas de edad equivalente al tramo anterior, (no descritas en la serie del IGME). Con potencias entre 3 y 15 m. Han sido explotadas en áreas puntuales cómo en los frentes superiores de las Canteras de San Roque Norte, Canteras de la ladera Sur del cerro de San Cristóbal y zona oriental del frente de la ladera Norte de San Cristóbal. 6) Encima se desarrolla lateralmente la facies litoral representada por calcarenitas arenosas amarillentas con pectínidos y ostreidos de facies costeras, del Plioceno medio-superior que pasan hacia la cuenca a las facies circulitoral y profunda, con margas limosas amarillentas, (margas con lepra). Estos materiales que finalizan la serie marina se extienden hacia la depresión, al Este de los relieves del margen de cuenca donde se localizan las canteras descritas.

DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Los trabajos analíticos y el estudio de caracterización petrológica de las 28 muestras fueron realizados por TESELA, S.L mediante tres tipos de determinaciones: 1) láminas delgadas y Microscopia Óptica (MO) para estudio petrográfico, usada para la caracterización textural y estructural de muestras pétreas y/o sólidas. 2) Análisis por Difracción de Rayos X, técnica analítica que permite identificar las fases minerales que componen la muestra y determinar de forma semi-cuantitativa en qué proporción se encuentran, realizados en los Laboratorios del Departamento de Mineralogía, de la UGR. 3) Análisis por Fluorescencia de Rayos X, técnica que permite identificar la composición química de la muestra y determinar de forma cualitativa los elementos mayores y traza, en forma de óxidos, presentes, realizados en el Servicio de Análisis y Determinación de Estructuras del Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

CORRELACIÓN Y CONCLUSIONES

Con la caracterización químico-mineralógica de las 28 muestras, se han establecido mediante estas técnicas analíticas 9 litotipos diferentes, que evidencian la gran diversidad litológica existente en el margen SO de la Cuenca de Almería. Esto conllevó tener que realizar un muestreo pormenorizado de los distintos niveles sedimentarios

explotados en los frentes extractivos más representativos de las once canteras históricas más cercanas al Conjunto Monumental de la Alcazaba.

Litotipos I, II y III: formados por biocalcarenitas, biomicritas y calizas dolomíticas micríticas con intraclastos. El litotipo I definido por las muestras de la, Cantera de San Roque Norte y de las Trincheras Ladera Norte, se correlaciona directamente con la muestra del muro del Aljibe Califal de la Alcazaba y, en menor medida, con la muestra del frente superior de la cantera situada en la Ladera Sur de San Cristóbal.

Litotipos IV, V, VI, y VII: formados por calcarenitas dolomíticas biomicriticas y calcarenitas dolo-micríticas con intraclastos y matriz férrica. El litotipo V, definido por la muestra del frente superior de la Cantera de La Hoya, se correlaciona directamente con las muestras de la tronera y de la Torre del Homenaje del tercer recinto de la Alcazaba y en cierta medida también se relaciona con la muestra de la cantera Ladera Sur de San Cristóbal. El litotipo VI, definido por las muestras del frente inferior de la Cantera de La Hoya y el frente inferior de la cantera Ladera Sur de San Cristóbal, se puede correlacionar directamente con la muestra del Muro Plaza de Armas del tercer recinto de la Alcazaba y en menor medida se relaciona con la muestra de la cantera Trincheras Sur y cantera de La Acequia. El litotipo IV definido en la Cantera del Quemadero Este, se correlaciona con los materiales empleados para la elaboración de las bolas de catapulta medievales (bolaños), debido a su elevada cementación y compacidad.

Litotipo IX, formado por calcarenitas dolomitizadas ricas en hierro de grano muy fino, definido por las muestras de la cantera-cueva de La Campsa y la tomada en la Alcazaba extramuros, se correlaciona directamente con las muestras de los cinco sillares califales del primer y segundo recinto de la Alcazaba.

Litotipo VIII, formado por areniscas híbridas de grano fino con microfósiles, definido por las muestras de las canteras-cueva del Covarrón, del Tesoro y de las Cuatro Cuevas se relacionan de forma secundaria con las litologías de las muestras del litotipo IX anterior, atestiguando que existe entre ambos litotipos una clara relación estratigráfica, espacial y temporal.

Los resultados muestran que las rocas extraídas para la construcción de las fases más antiguas del monumento en época califal proceden de materiales análogos a las canteras-cueva de La Chanca, con niveles de calcarenitas dolomítizadas ricas en hierro y areniscas híbridas de grano fino procedentes de los tramos inferiores de la serie sedimentaria neógena, por su parte los materiales de la parte más reciente, correspondiente al castillo cristiano o tercer recinto de la Alcazaba, son sillares de calcarenitas biomicríticas y dolomicríticas de la parte media de la serie, procedentes de las canteras de La Hoya y del entorno del Cerro de San Cristóbal.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Delegación de Cultura de Almería, la contratación de los estudios realizados en 2006 y 2016, para la Catalogación de las canteras de la ciudad de Almería. A la dirección y a la técnica de Patrimonio del Conjunto Monumental de la Alcazaba y a Tesela, S.L por las determinaciones analíticas realizadas.

REFERENCIAS

Alonso, J.M., Berbel, J y Cara, L (2008): Las Canteras Califales de Almería. En: *La Minería Preindustrial en Almería y el Sudeste.* Instituto de Estudios Almerienses 269-288 p.

Alonso, J.M. y Berbel, J. (2016): *Estudio Petrológico de las Canteras relacionadas con La Alcazaba de Almería*. Consejería de Cultura, Delegación Territorial de Almería. 206 p.

Berbel, J., Cara, L y Alonso, J.M. (2006): *Expediente para la Inscripción Genérica de las "Canteras Históricas de Almería"*. Memoria Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz. 67p.

de Torres, R., Matilla, L., Berbel, J., Pesci, C., Soriano, A., Castillo, J.M. y Ortiz, D. (1991): *Proyecto de Estudio del Estado de Patologías y Tratamientos de Conservación de la Catedral de Almería*. D.G.B.C. Consejería de Cultura y Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 36 p.

Esbert, R.M. y Alonso, J. (1992): *Identificación de la piedra utilizada en la Catedral de Almería, Monumento y Cantera*. Dpto. de Geología, Petrología y Geoquímica, Universidad de Oviedo. 47 p.

Jacquin, J.P. (1970): *Contribution a l'étude géologique et minière de la Sierra de Gádor, Almería, Espagne*. Thése Sc. Nat. Université de Nantes, 2 vols.

Voermans, F., Baena, J., Martínez Díaz, C., Granados, LF., Fernández-Luanco, Mª,C., Argüelles, A., del Pan, T. Mansilla, H. y Ruiz Reig, P. (1980): *Mapa Geológico de España, 1:50.000 hoja nº 1045 (Almería)*. IGME. Madrid.

Materiales constructivos en la Fábrica de Tabacos de Gijón: argamasas y material pétreo

Building materials from the Tobacco Factory of Gijón: mortars and stone material

F. J. Alonso Rodríguez y L. Carrizo Martínez

Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. Jesús Arias de Velasco s/nº, 33005 Oviedo. fjalonso@uniovi.es; lucamar29@gmail.com

Palabras clave: Geoarqueología, argamasas, piedras, patrimonio, Gijón.

Resumen

Dentro del Proyecto Tabacalera II (CCHS-CSIC) referente a las intervenciones e investigaciones en la Fábrica de Tabacos de Gijón (2016-2018), se realizaron varios informes para documentar los materiales constructivos, basados en la caracterización petrográfica de argamasas y materiales pétreos. Se analizaron argamasas de época romana del pozo-depósito de Tabacalera y con fines comparativos también argamasas procedentes de las termas de Campo Valdés, tanto de la muralla como del apodyterium, elementos constructivos de diferente época, comprobando que las argamasas del pozo-depósito de Tabacalera eran similares a las de la muralla y distintas de las del apodyterium. También se analizaron argamasas del convento barroco anterior a la Fábrica de Tabacos, estableciendo distintos tipos petrográficos sin encontrar relación temporal entre ellos. Finalmente se estudiaron los materiales pétreos utilizados en los muros del convento, observando los dos tipos rocosos propios de la zona: areniscas y rocas carbonatadas (calizas y sobre todo dolomías). Las areniscas se presentan como grandes sillares en los bordes de los paramentos y en las jambas y dinteles de las puertas y ventanas en claustro, y también en las columnas y zonas ornamentales de la iglesia. Las rocas carbonatadas constituyen el material mayoritario en el resto de los paramentos, aparecen como lajas y dan lugar a una fábrica de irregulares sillarejos.

Abstract

Within Project Tabacalera II (CCHS-CSIC) regarding interventions and research at the Tobacco Factory of Gijón (2016-2018), several reports were made to document the construction materials, based on the petrographic characterization of mortars and stone materials. Roman period mortars from the welldeposit of Tobacco Factory were analysed and compared to the mortars from the thermal baths of Campo Valdés, both the wall and the apodyterium, construction elements from different times, and it was found that the mortars of the Tobacco well-deposit were similar to those of the wall and different from those of the apodyterium. Mortars from the baroque convent prior the Tobacco Factory were also analysed, establishing different petrographic types without finding a temporal relationship between them. Finally, the stone materials used in the walls of the convent were studied, observing the two rock types typical of the area: sandstones and carbonated rocks (limestone and especially dolomites). The sandstones are presented as large ashlars on the edges of the walls and on the jambs and lintels of the doors and windows in the cloister, and in the columns and ornamental areas of the church. The carbonated rocks constitute the main material in the rest of the walls, appear as slabs and give rise to a masonry of small and irregular ashlars.

Referencias

Alonso F.J. y Carrizo L. (2017). Análisis de argamasas de la antigua Fábrica de Tabacos de Gijón. Informe I y II para CCHS-CSIC, 83+44 pp. *Dpto. Geología (Petrología y Geoquímica), Univ. Oviedo.*

Alonso F.J. y Carrizo L. (2017). Estudio petrológico de paramentos de la antigua Fábrica de Tabacos de Gijón. Informe para CCHS-CSIC, 26 pp. *Dpto. Geología (Petrología y Geoquímica), Univ. Oviedo.*

Areniscas del Buntsandstein en el patrimonio arquitectónico del sector Norte de la provincia de Jaén (Andalucía)

Buntsandstein sandstones in the architectural heritage of the North sector of Jaen province (Andalusia, Spain)

Álvarez Areces, E[1], Fernández Suárez, J[2], Martínez-Martínez, J[1] y Baltuille Martín, J.M.[1]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es: j.martinez@igme.es

2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es.

Resumen: El empleo de las facies detríticas del Buntsandstein (Triásico), principalmente areniscosas y conglomeráticas, se hacen presentes en gran parte de las construcciones históricas del sector Norte de la provincia de Jaén (Andalucía), utilizándose mayoritariamente en la construcción del patrimonio arquitectónico de localidades como Linares, Baeza, Baños de la Encina, etc.

El color rojizo de las areniscas, sus rasgos sedimentarios característicos, y sus texturas, ofrecen a las construcciones una personalidad regional propia, y la localización de las canteras históricas en el marco del proyecto de investigación Primer Inventario Andaluz de Canteras Históricas de Piedra Natural utilizadas en construcción arquitectónica histórica y en Obra Civil actual (INCHaPA Andalucía) fruto de un Convenio entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España en 2018, permiten tener un conocimiento general de su empleo, distribución y planificación, constituyendo el presente trabajo de investigación un avance en el estudio del patrimonio jienense en este sector de gran tradición minera.

Palabras clave: Areniscas, Buntsandstein, canteras históricas, patrimonio arquitectónico, Jaén

Abstract: *The use of detritic facies Buntsandstein (Triassic), mainly sandstone and conglomeratic, are presents in a large part of the historical constructions of the North sector of Jaen province (Andalusia, Spain) used in the construction of the architectural heritage of cities like, Linares, Baeza, Baños de la Encina, etc.*

The red colour of the sandstones, their characteristic sedimentary features, and their textures, offer the buildings a regional personality, and the location of the historical quarries in the research project National Inventory of Historic Quarries associated with Architectural Heritage of Andalusia (INCHaPA Andalusia) collaboration between Junta de Andalusia and Instituto Geológico y Minero de España (Spanish Geological Survey) in 2018, allow to have a general knowledge of its employment, distribution, and planning, this research work is an advance in the study of Jaén heritage, in this sector of great mining tradition.

Keywords: *Sandstones, Buntsandstein, historical quarries, architectonic heritage, Jaén*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación Primer Inventario Andaluz de Canteras Históricas de Piedra Natural utilizadas en construcción arquitectónica histórica y en Obra Civil actual (INCHaPA Andalucía) fruto de un Convenio entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España en 2018.

Entre los principales objetivos del proyecto está la localización y procedencia de las principales litologías empleadas en la construcción del patrimonio arquitectónico andaluz, constituyendo el conjunto de la información obtenida un avance en el conocimiento del patrimonio jienense y en la distribución del material pétreo histórico. Así mismo, este trabajo incide en el estudio de la producción constructiva de los conjuntos edificados y sus relaciones con el medio físico, aspecto fundamental para entender la planificación y organización del proyecto constructivo.

MARCO METODOLÓGICO

Se ha desarrollado la metodología propuesta para la localización de espacios de canteras históricas (Baltuille *et al.*, 2016) seleccionando muestras en el patrimonio histórico arquitectónico y también en las áreas extractivas con el fin de correlacionarlas y poder localizar su procedencia. Esta misma metodología fue utilizada en el proyecto INCHaPA Extremadura en el que se estudiaron un total de 492 elementos patrimoniales, localizándose más de 440 canteras históricas (Álvarez Areces *et al.*, 2018) (Fernández Suárez *et al.*, 2018).

El trabajo de campo está acompañado de un intenso trabajo de gabinete y laboratorio, con el estudio de fotografía aérea, cartografías geológicas y fuentes documentales históricas, arqueológicas, etc.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Los sedimentos triásicos existentes se disponen en la mayoría de los casos discordantes y erosivos sobre el Paleozoico, presentando una amplia y extensa representación cartográfica dentro del área estudiada, el sector Norte de la provincia de Jaén. Desde un punto de vista geológico en el área están representadas dos Unidades morfológicas de rango principal, por un lado, la Meseta Ibérica en la que se inscriben los materiales triásicos estudiados, y por el otro la Depresión del Guadalquivir. En concreto los materiales triásicos se manifiestan como una antigua penillanura en la que la resistencia y estabilidad de sus materiales han preservado la topografía (Fig.1).

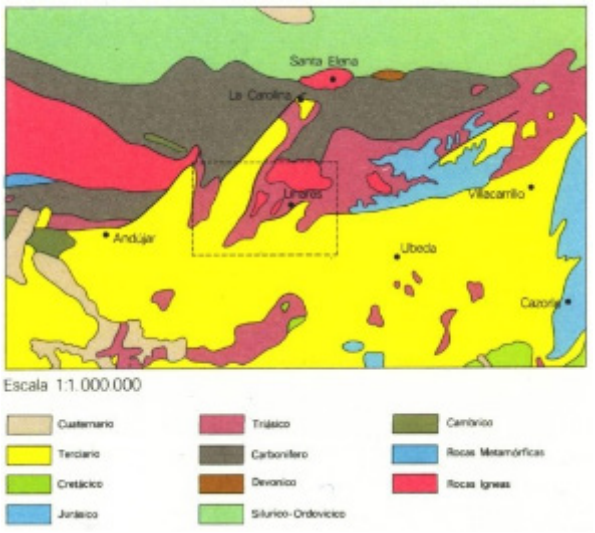


FIGURA 1. Esquema geológico-regional del área estudiada. En color morado se representa la disposición cartográfica de los materiales triásicos (Azcárate *et al.*, 1977)

Estratigráficamente se distinguen tres conjuntos principales: *tramos inferiores* o "*facies de base*" con 10-20 m de potencia, integrados por niveles conglomeráticos y areniscosos de color rojizo; *tramos intermedios* o "*facies arcillo-arenosas*" con 100-200 m de espesor y constituidos por lutitas e intercalaciones areniscosas, y finalmente un *tramo superior* de "*facies arenoso-carbonatadas*" con 50 m de potencia que se caracteriza fundamentalmente por la presencia de areniscas. Cronológicamente los niveles de base y los intermedios se atribuyen al Buntsandstein.

PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Se analizaron un total de 24 edificios de carácter religioso, civil y militar en sus diferentes tipologías, todos ellos seleccionados a partir del listado de Bienes de Interés Cultural de Andalucía, estudiando aquellos conjuntos edificados construidos en sillería o mampostería en piedra, siendo las ciudades de Linares, Bailén y Baños de la Encina los principales núcleos estudiados (Fig. 2).

El análisis de los edificios históricos se centra fundamentalmente en la identificación y caracterización de los materiales pétreos empleados, con la toma de muestra necesaria para poder establecer la correlación con las muestras seleccionadas en canteras, definiendo así la procedencia del material rocoso y las áreas extractivas.

El conjunto de la información aportará un documento en el que se reflejen las áreas extractivas del material pétreo que ha hecho posible la construcción de los edificios, siendo una valiosa herramienta para futuros estudios sobre circulación y transporte de materiales, talleres y centros de producción de piedra, así como aspectos relacionados con la planificación y coordinación de los proyectos constructivos.



FIGURA 2. Patrimonio arquitectónico. a. Iglesia de Santa María La Mayor, Linares. b. Iglesia de la Encarnación, Bailén. c. Ermita de Jesús del Llano, Baños de la Encina. d. Iglesia de San Mateo, Baños de la Encina.

El color rojo de las areniscas, sus rasgos sedimentarios, zonados composicionales y sus texturas, ofrecen a las construcciones una personalidad regional propia y definida. La utilización de estos materiales, en su mayoría areniscas, permiten la construcción de una arquitectura realizada en sillería, aunque existen casos en los que la utilización del mampuesto se hace presente. El empleo de estos materiales se concentra en esta área septentrional de la provincia de Jaén, frente a otras zonas limítrofes donde se utilizan de forma generalizada materiales terciarios, como también ocurre en la mayor parte de la provincia.

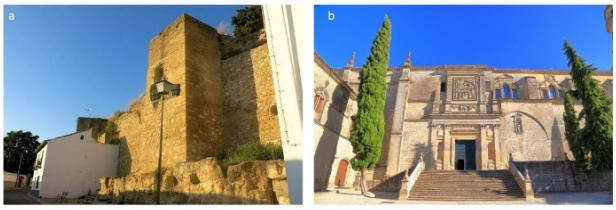


FIGURA 3. Patrimonio arquitectónico de las ciudades renacentistas de Úbeda y Baeza. a. Muralla de Úbeda, en la que se observa los afloramientos de arenisca miocena sobre los que se apoya. b. Catedral de Baeza, construida con la conocida como Piedra Dorada.

El empleo de forma generaliza de la conocida como Piedra Dorada, en sus variedades Viva, Franca y Jabaluna, alcanza su máximo exponente en las ciudades patrimonio de la Humanidad de Úbeda y Baeza, en las que la utilización de estos materiales miocenos se hace presente en todo su patrimonio construido. La existencia de extensos afloramientos geológicos y su bondad para ser tallada favorece su uso (Fig. 3).

CANTERAS Y ÁREAS EXTRACTIVAS

Los afloramientos triásicos en el área estudiada presentan una importante extensión cartográfica. En la prospección geológica en busca de las áreas extractivas, a partir de las muestras seleccionadas en los edificios, se han localizado hasta un total de 6 canteras relacionadas con la explotación y aprovechamiento de este material (Fig. 4).

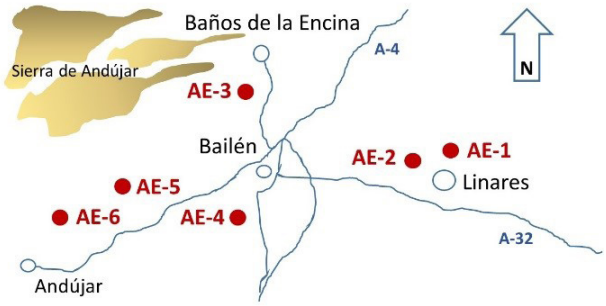


FIGURA 4. Esquema de localización de las principales áreas extractivas (AE) asociadas a la construcción del patrimonio arquitectónico.

En ellas se explotan principalmente los *tramos inferiores* de la "*facies de base*", presentando las areniscas composición y granulometría heterogénea (4-0,01mm), siendo frecuente la presencia de ortosa, algo caolinizada y de plagioclasa sericitizada. El cuarzo recristalizado confiere alta solidez a estos niveles, también se hace presente la turmalina, circón esfena y apatito como fracción minoritaria pesada. El cemento, tanto de las areniscas como de los conglomerados, que también aparecen representados, aunque en menor número en el patrimonio construido, está compuesto por material arcilloso y óxidos de hierro que les confieren la coloración característica.

Así mismo, también son explotados los materiales del *tramo superior* de "*facies arenoso-carbonatadas*", concretamente los situados al muro del tramo, areniscas de color rojizo con potencias de hasta 5 m.

Los espacios de canteras se caracterizan por tratarse de pequeños vaciados dispersos, presentando frentes de explotación que raramente superan los 3m de altura. La geolocalización de estas labores, con la identificación de marcas histórico-extractivas permiten establecer los límites de áreas de explotación histórica correlacionándolas con las muestras tomadas en el patrimonio arquitectónico (Fig. 5).



FIGURA 5. Frente de explotación en cantera en las proximidades de la localidad de Bailén (Jaén).

Es frecuente encontrar en estos espacios, frentes de explotación con marcas de pico, sillares tallados y adosados al macizo rocoso, bloques exentos trabajados y tallados en algunos casos, así como rozas, cuñas y otras improntas que nos acercan a las diferentes técnicas extractivas empleadas para el beneficio del material pétreo (Fig. 6).



FIGURA 6. Marcas de pico en frente de explotación, se pueden observar las diferentes direcciones de impacto para la extracción del material pétreo.

El conjunto de esta información es de gran utilidad para futuras intervenciones en el patrimonio arquitectónico local.

Además, con la localización del recurso original se podrá conocer sus propiedades mecánicas, su comportamiento frente a los agentes de alteración, así como evaluar posibles tratamientos para su conservación preventiva a partir de muestras seleccionadas en cantera, todo ello sin tener que incidir sobre el material utilizado en obra.

En todas estas áreas extractivas es frecuente la superposición de labores para el aprovechamiento del material, aspecto que dificulta la datación y correlación de la actividad extractiva con la obra construida.

Otro aspecto de interés es el referente a la selección de materiales para la construcción del patrimonio arquitectónico

local a lo largo del tiempo y para otros usos. En localidades como Linares, en la que los enriquecimientos filonianos de esta comarca le hicieron máxima productora mundial en Pb durante parte de los s. XIX y XX, la presencia de toda una arquitectura industrial ligada a los trabajos extractivos, productivos y metalúrgicos se hace presente con la construcción de chimeneas, pozos, fundiciones, casas de máquinas, estaciones de ferrocarril, etc. Para la construcción de todas estas instalaciones e infraestructuras se emplean las areniscas triásicas del Buntsandstein como mampuestos en combinación con otros materiales como el ladrillo o los granitos extraídos de los afloramientos más inmediatos (Fig. 7).

Todos estos elementos son referentes materiales de la historia minera del distrito Linares-La Carolina y ejemplo de los valores que posee la arquitectura minera e industrial, por ello más de 65 inmuebles están inscritos en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz como testimonio de la cultura minera que otorga a toda la comarca una personalidad propia.

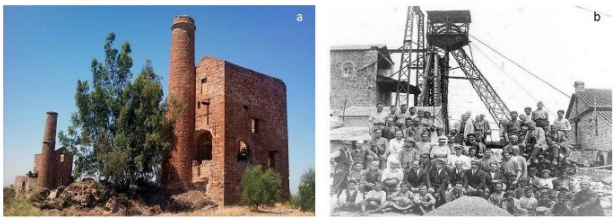


FIGURA 7. a. Arquitectura minera e industrial en el distrito Linares-La Carolina. b. Mina el Romero, Linares Andaluz y Minero. Caballero Marín. F.J. en https://www.pinterest.com

CONCLUSIONES

La existencia de una serie de áreas extractivas en el norte de la provincia de Jaén, en el sector Linares-Bailén-Baños de la Encina, asociadas a la explotación de las areniscas triásicas del Buntsandstein proporcionaron el material pétreo necesario para la construcción del patrimonio arquitectónico local.

El empleo de estas areniscas se hace evidente en la arquitectura histórica desde el s. XIV hasta la actualidad, empleándose para la construcción de arquitectura religiosa, civil y también minero-industrial, como así queda constatado en el numeroso patrimonio inmueble conservado, y en algunos casos musealizado, en el entorno de la localidad de Linares.

El uso de estos materiales por sus características, coloración y rasgos sedimentarios, materializa una arquitectura propia, donde las relaciones con el medio físico, y por tanto con las áreas extractivas de donde han sido beneficiadas, quedan en evidencia.

El conjunto de estas relaciones, incide directamente en la planificación, coordinación y producción de los conjuntos edificados, por lo que el interés de este trabajo no sólo radica en la localización de los espacios de canteras asociados al patrimonio arquitectónico construido, sino que también permitirá su mejor comprensión.

La existencia de talleres de piedra en el pasado, el conocimiento geológico y aprovechamiento en la explotación de determinados niveles geológicos, así como las técnicas de trabajo en cantera, permitirán completar el conocimiento e información del patrimonio construido, proporcionando además una herramienta técnica de utilidad para futuras intervenciones de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación Primer Inventario Andaluz de Canteras Históricas de Piedra Natural utilizadas en construcción arquitectónica histórica y en Obra Civil actual (INCHaPA Andalucía) fruto de un Convenio entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España.

REFERENCIAS

Álvarez Areces, E., Fernández Suárez, J., Baltuille Martín, J.M. y Martínez-Martínez, J. (2018): Inventario nacional de canteras históricas asociadas al patrimonio arquitectónico. Provincia de Cáceres. En: REHABEND 2018. *7th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*. Digital Book of Articles, 201-208.

Azcárate, J.E., Esnaola, J.M., Maldonado, M., del Pan, T., Perconig, E., Martínez, C., Moreno, E., Granados, L., Argüelles, A., de las Heras, A., Martínez, J.U., Fernández Luanco, Mª.C. y Solar, J.B. (1977): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 905 (Linares)*. IGME, Madrid.

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016): Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). En: *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016*.

Fernández Suárez, J., Álvarez Areces, E., Baltuille Martín, J.M. y Martínez-Martínez, J. (2018): Inventario nacional de canteras históricas asociadas al patrimonio arquitectónico. Provincia de Badajoz. En: *REHABEND 2018. 7th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management.* Digital Book of Articles, 192-200.

https://www.pinterest.co.kr/pin/301319031316534143/

Primeros resultados del Inventario de Canteras Históricas de Piedra Natural asociadas al Patrimonio Arquitectónico de Andalucía

First results of the Inventory of Historic Natural Stone Quarries associated with the Architectural Heritage of Andalusia

E. Álvarez Areces[1], J. Fernández Suárez[2], J. Martínez Martínez[1], J.M. Baltuille Martín[1], M. Vázquez Mora[3], Á.A. Martínez Girón[3] y P. Orche Amaré[3]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

3 Junta de Andalucía. Dir. Gral. de Industria, Energía y Minas Avda. Juan Antonio Vizarrón, s/nº. Edificio Torretriana. 41092 Sevilla. manuel.vazquez.mora@juntadeandalucia.es; aalberto.martinez@juntadeandalucia.es; mariap.orche@juntadeandalucia.es

Resumen: Se presenta una metodología propia para la localización y estudio de las canteras históricas asociadas al patrimonio arquitectónico monumental, que se aplicará sistemáticamente en todo el territorio nacional y, concretamente, en Andalucía. También se propone la creación de una figura de protección específica para las canteras históricas para facilitar su perdurabilidad y la posibilidad de disponer del material original en aquellas intervenciones que lo demanden.

En 2018 la Junta de Andalucía y el IGME firman un Convenio para desarrollar el Inventario de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico de Andalucía.

Las campañas de campo se desarrollaron entre el 22 de julio y el 16 de octubre de 2019, en 55 localidades o municipios del norte de las provincias de Huelva, Sevilla, Jaén y Granada. Se han estudiado 216 monumentos, localizado 142 canteras o áreas extractivas históricas (3 de ellas en Murcia) y recogido 152 muestras de roca, tanto de monumentos como de canteras, más 64 para el lapidario.

Palabras clave: Cantera histórica, patrimonio arquitectónico, piedra natural, metodología, Andalucía.

Abstract: *An own methodology is presented for the location and study of the historical quarries associated with the monumental architectural heritage, which will be systematically applied throughout the national territory and, specifically, in Andalusia. The creation of a specific protection figure for historical quarries is also proposed to facilitate its durability and the possibility of having the original material in those interventions that demand it.*

The Junta de Andalucía and the IGME sign an Agreement to develop the Inventory of Historic Quarries associated with the Architectural Heritage of Andalusia in 2018.

Field campaigns took place between July 22 and October 16, 2019, in 55 villages and municipalities in the north of the provinces of Huelva, Seville, Jaen and Granada. 216 monuments have been studied, located 142 quarries or historical extractive areas (three of them in the province of Murcia) and collected 152 rock samples, both monuments and quarries, plus 64 for the lapidary.

Keywords: *Historic quarry, architectural heritage, natural stone, methodology, Andalusia.*

ANTECEDENTES

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), desde su creación por la Reina Isabel II en 1849, basa sus principales líneas de trabajo en tres aspectos fundamentales: la cartografía geológica del territorio, la exploración de sus recursos minerales y los estudios hidrogeológicos para el alumbramiento de las aguas subterráneas.

Con el devenir del tiempo y la integración de las Ciencias Geológicas en el tejido social español las especialidades fueron variando y, a mediados de la década de los 90, inicia una nueva línea de investigación: "*la Piedra Natural como elemento constitutivo del patrimonio monumental y localización, caracterización y preservación de canteras históricas y áreas extractivas empleadas en la construcción del patrimonio arquitectónico nacional*".

Con el fin de localizar y caracterizar las canteras históricas asociadas a la construcción de patrimonio arquitectónico nacional, y posteriormente preservarlas y ponerlas en valor,

el IGME inició en 2014 un Programa, de ámbito nacional, denominado **Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (INCHaPA)**; con el que se pretende cubrir, de forma sistemática, la totalidad del territorio nacional (Baltuille Martín *et al.*, 2016). Entre los objetivos que persigue el Programa INCHaPA están:

– Identificación de las rocas con las que está construido el Patrimonio Arquitectónico español

– Localización y georreferenciación de las canteras históricas de donde fueron extraídas las rocas para las construcciones o, en su defecto, el litotecto correspondiente

– Caracterización de las rocas, tanto de la cantera como del monumento

– Creación de una Base de Datos Nacional de Canteras (BDINCHaPA)

– Promoción, en colaboración con las autoridades competentes, de figuras de protección para las canteras históricas, para asegurar su preservación en el tiempo e integración en el territorio

El propósito final del Programa es obtener una cartografía sistemática de las canteras históricas, cuyos datos de carácter patrimonial, geológico e histórico se cargarán en una potente base de datos asociada a un SIG polivalente. El conjunto de esta información será de utilidad para Administraciones y profesionales del sector de la piedra natural, de la rehabilitación del patrimonio, la arqueología, la historia, el turismo, etc. Para más información sobre la metodología del INCHaPA consultar (Baltuille Martín *et al.*, in press.).

CAMPAÑA 2019

En octubre de 2018 la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio (actual Consejería de Hacienda, Industria y Energía) y el IGME suscriben un Convenio para desarrollar el Programa INCHaPA en Andalucía (BOJA, nº. 8, de 9 de enero de 2019).

La extensión de la Comunidad (87.599 km^2) y su elevado número de Bienes de Interés Cultural (BIC's), 2.971 (fuente: Mº. de Cultura y Deporte), arrojan cifras inalcanzables en el devenir del proyecto con los medios de los que se dispone. Tras proceder a una selección, eliminando duplicidades, bienes no construidos en piedra, yacimientos arqueológicos, bienes de interés muy local, etc., se ha alcanzado una cifra próxima al millar de bienes (970). Esta cifra podrá variar a lo largo del Convenio, presumiblemente al alza, al irse actualizando con las realidades que nos encontremos sobre el terreno.

Esta selección no se efectuó de forma indiscriminada, sino que se tuvieron en cuenta las características, singularidad e importancia de cada uno de los bienes evaluados, tanto a nivel de la Comunidad como en su entorno provincial o municipal (Fig. 1).

Se han escogido nueve tipologías para agrupar, de una forma científicamente adecuada y técnicamente objetiva a, todos los bienes a estudiar, partiendo de la cifra inicial de 970 bienes:

– Arquitectura Civil (110)

– Arquitectura Defensiva (509)

– Arquitectura Industrial (1)

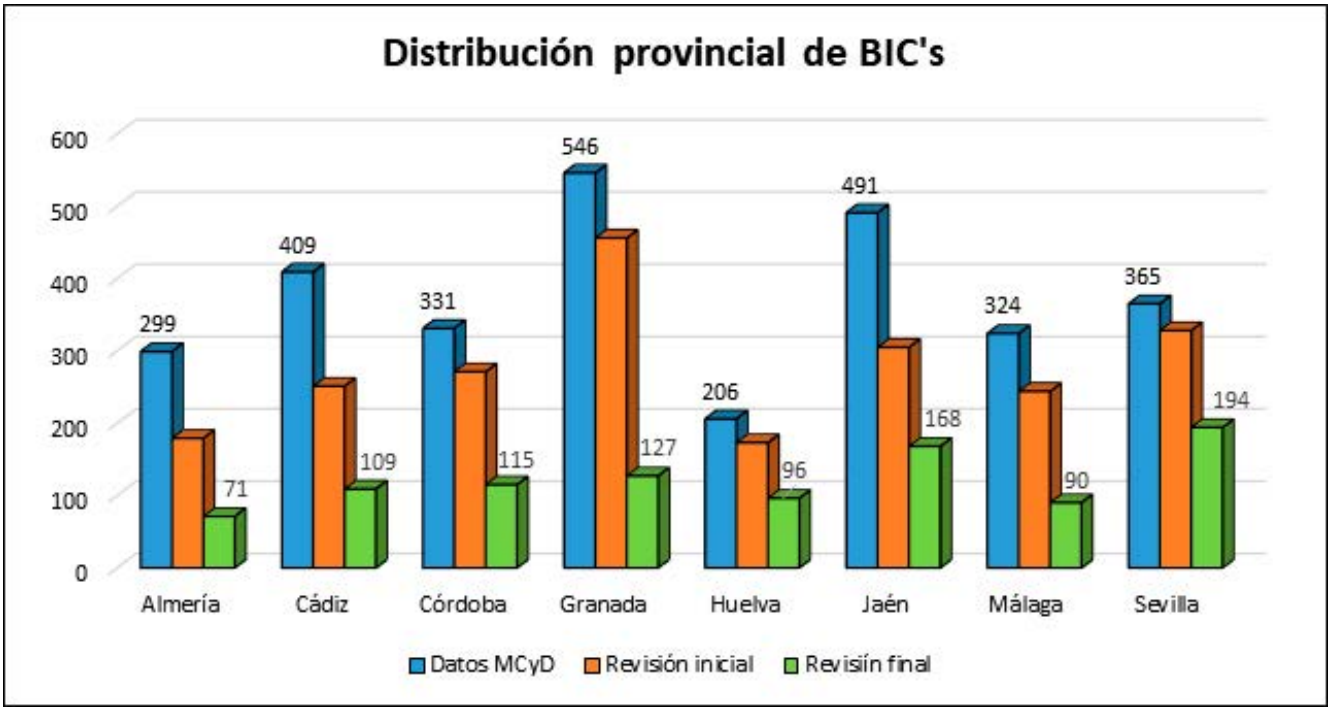


FIGURA 1. Distribución provincial de los BIC's a estudiar durante el proyecto.

– Arquitectura Religiosa (286)

– Arte Funerario (2)

– Conjunto histórico-monumental (23)

– Elementos arquitectónicos (18)

– Monumentos megalíticos (1)

– Obra Pública (20)

Aunque en el ámbito andaluz existe una gran diversidad numérica entre algunas de las tipologías elegidas, se han mantenido todas ellas por el interés que representan, a pesar de su escasa representación teórica en algunos de los casos.

Las campañas de campo se desarrollaron entre el 22 de julio y el 16 de octubre de 2019, en 55 localidades o municipios del norte de las provincias de Huelva, Sevilla, Jaén y Granada. Se han estudiado 216 monumentos, localizado 142 canteras o áreas extractivas históricas (3 de ellas de Murcia) y recogido 152 muestras de roca, tanto de monumentos como de canteras, más 64 para el catálogo de piedra de cantería.

Para la representación de los trabajos realizados, y en función del espacio existente, se ha elegido el empleo de tablas específicas que ayudarán a la comprensión de los resultados obtenidos de una forma rápida y nítida.

En la Tabla I se muestra la distribución de los bienes patrimoniales y de las canteras históricas, en función de las provincias y de los municipios y localidades estudiadas.

PROVINCIA	LOCALIDAD Y MUNICIPIO	BIENES	CANTERAS
Granada	Baza	-	3
	Benamaurel	3	2
	Castilléjar	2	1
	Castril	3	2
	Cortes de Baza	2	1
	Cúllar	3	1
	Freila	1	1
	Galera	4	7
	Huéscar	12	10
	Orce	4	2
	Venta Micena (Orce)	-	3
	Puebla de Don Fadrique	4	3
	Total	**38**	**36**
Huelva	Alájar	1	2
	Aracena	4	7
	Cala	1	3
	Campofrío	1	1
	Corteconcepción	1	-
	Cortegana	2	1
	Fuenteheridos	-	3
	Galaroza	2	2
	Higuera de la Sierra	1	-
	Linares de la Sierra	1	-
Huelva (cont.)	Marines, Los	2	-
	Puerto Moral	1	-
	Santa Ana la Real	1	-
	Santa Olalla de Cala	2	4
	Valdelarco	2	-
	Zufre	5	2
	Total	**27**	**25**
Jaén	Baeza	38	8
	Bailén	2	-
	Baños de la Encina	5	1
	Begíjar	2	2
	Canena	3	1
	Navas de Tolosa (Carolina, La)	2	2
	Guarromán	4	3
	Zocueca (Guarromán)	-	5
	Ibros	4	7
	Linares	15	2
	Lupión	3	-
	Rus	5	-
	Sabiote	8	3
	Santa Elena	-	2
	Torreperogil	3	-
	Úbeda	34	7
	Total	**128**	**43**
Sevilla	Alanís	3	6
	Almadén de la Plata	2	5
	Cantillana	1	-
	Cazalla de la Sierra	2	3
	Constantina	3	5
	Guadalcanal	4	-
	Lora del Río	3	5
	Pedroso, El	1	4
	Real de la Jara, El	2	1
	San Nicolás del Puerto	1	6
	Villanueva del Rio y Minas	1	-
	Total	**23**	**35**
	TOTAL	**216**	**139**
Murcia*	Los Royos	-	**3**

(*).- Murcia se incluye, por tener influencia en el patrimonio de algunos municipios del N-NE de la provincia de Granada.

TABLA I. Distribución provincial y municipal de los bienes patrimoniales y de las canteras y áreas extractivas históricas estudiadas.

La distribución de los trabajos realizados durante la Campaña 2019, en función de las tipologías y subtipologías de los diferentes monumentos estudiados, queda reflejada en la Tabla II.

TIPOLOGÍA	SUBTIPOLOGÍA	TOTAL
ARQUITECTURA CIVIL (uso)	Cultural	5
	Edificio público	14
	Financiera y mercantil	-
	Habitacional (30 son palacios)	36
	Hospedaje	-
	Lúdico	2
	Sanitario	1
	Social y de acogida	-
	Transporte	1
	Total	**59**
ARQUITECTURA DEFENSIVA (normativa del PNAD, MECyD-IPCE)	Arquitectura defensiva del S. XX	-
	Castillo medieval	32
	Castro, motilla, poblado prehistór. fortificado, oppidum, etc.	1
	Edificio agrícola o residencial fortificado	1
	Edificio religioso fortificado	-
	Fuerte asilado abaluartado	-
	Fuerte fusilero del s. XIX	-
	Puente fortificado	-
	Recinto amurallado abaluartado	-
	Recinto amurallado no abaluartado	7
	Torre	20
	Otros s/especificar	-
	Total	**61**
ARQUITECTURA INDUSTRIAL (tipo de industria)	Armamento	-
	Tabacalera	-
	Total	**0**
ARQUITECTURA RELIGIOSA	Abadía, cartuja, monasterio, convento	8
	Basílica	-
	Capilla, ermita, oratorio	7
	Catedral, concatedral	1
	Colegiata, santuario	2
	Iglesia	58
	Judía	-
	Musulmana	-
	Romana	-
	Otros s/especificar	2
	Total	**78**
ARTE FUNERARIO		**1**
CONJ. HISTÓRICO		**10**
ELEM. ARQUITECT.		**0**
OBRA PÚBLICA	Obra hidráulica	5
	Puente	2
	Total	**7**
	TOTAL	**216**

TABLA II. Distribución de los bienes patrimoniales estudiados en función de sus tipologías y subtipologías.

CONCLUSIONES

En 2018 se firmó un Convenio entre la Junta de Andalucía y el IGME para realizar el *Primer Inventario Andaluz de Canteras Históricas de Piedra Natural utilizadas en construcción arquitectónica histórica y en Obra Civil actual*.

La campaña de campo se desarrolló entre los meses de julio y octubre de 2019. Se estudiaron 216 monumentos, se localizaron 142 canteras o áreas extractivas históricas (Figs. 1 y 2) y se recogieron 216 muestras de roca, 152 de monumentos y canteras y 64 para el catálogo de piedra de cantería histórica.



FIGURA 1. Área extractiva en las proximidades de Baeza (Jaén).

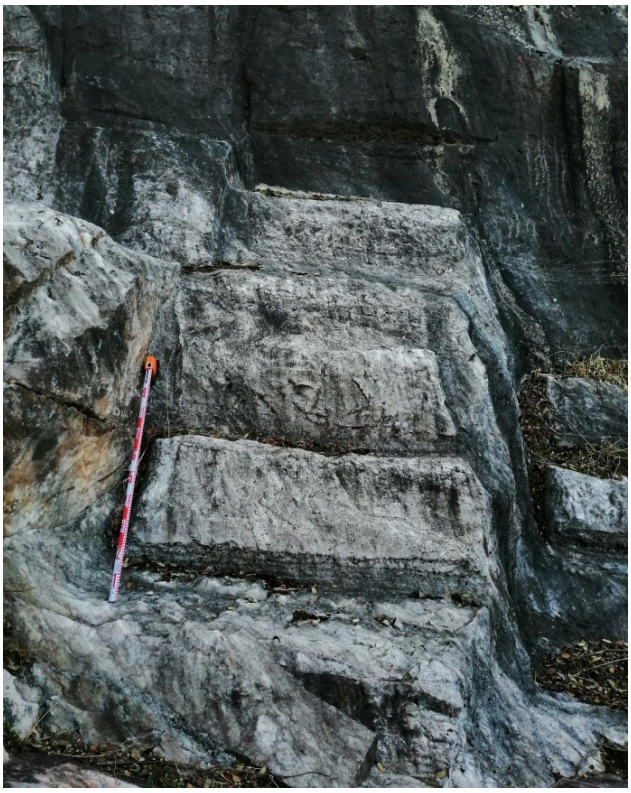


FIGURA 2. Sillares adosados al macizo en la cantera romana del Cerro de los Covachos (Almadén de la Plata, Sevilla).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consejería de Hacienda, Industria y Energía de la Junta de Andalucía, todos los esfuerzos realizados para poder llevar a cabo el proyecto: Primer *Inventario Andaluz de Canteras Históricas de Piedra Natural utilizadas en construcción arquitectónica histórica y en Obra Civil actual*.

REFERENCIAS

Baltuille Martín, J.M., Fernández Suárez, J., Álvarez Areces, E. and Martínez-Martínez, J. (in press.): Methodology for the study of historic quarries associated with the architectural heritage: the INCHaPA project. In: "*Natural Stone for cultural heritage: local resources with a global impact*" (R. Přikryl, ed.) 2017. Praha, Check Republic.

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016): Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016*. Madrid.

Santa María de Melque (Toledo, España): recursos y entorno geológico de una construcción altomedieval

Santa Maria de Melque (Toledo, Spain): resources and geological frame of an early medieval construction

E. Álvarez Areces[1], Mª.Á. Utrero Agudo[2] y J.M. Baltuille Martín[1]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es.

2 Escuela de Estudios Árabes, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cuesta del Chapiz, 22. 18010 Granada. mariaangeles.utrero@eea.csic.es

Palabras clave: Iglesias de piedra, proyecto constructivo, canteras, granito.

Resumen

El Sitio Histórico de Melque se caracteriza hoy por la presencia de la iglesia monástica de Santa María, construida y abovedada en sillería granítica, y de cinco presas de embalse protegidas por una cerca perimetral (Caballero Zoreda y Moreno Martín, 2013). Construido en la segunda mitad del siglo VIII, es un buen ejemplo de la relación entre la arquitectura y los recursos geológicos de su entorno. La prospección arqueológica y geológica del territorio inmediato evidencia el conocimiento de este último, la selección de los materiales pétreos empleados y la planificación de un proyecto de gran envergadura para su época.

El presente trabajo de investigación, financiado por el CSIC y por la Junta de Castilla-La Mancha, se centra en el estudio de los materiales pétreos estructurales de la iglesia de Melque, en sus características geológicas, en su procedencia y en el trabajo que requirieron para su puesta en obra. Los resultados preliminares permiten ampliar el conocimiento de la producción de las iglesias altomedievales en el territorio toledano, sumándose a los obtenidos en el análisis de la cercana iglesia de San Pedro de La Mata (Sonseca), también analizada gracias a la colaboración científica IGME-CSIC (Álvarez *et al.*, 2017).

Abstract

The Historic Site of Melque is currently featured by the presence of the monastic church of Santa Maria, built and vaulted in granitic ashlar stone, and by five water dams protected by a fiscal fence (Caballero Zoreda y Moreno Martín, op. cit.). Built at the second half of the 8th c., it is a good example of the link between architecture and surrounding geological resources. Archaeological and geological survey reveals the knowledge of the field, the selection of the stone materials employed and the planning of a major project for its time.

This research work, funded by CSIC and by the regional government of Castilla-La Mancha, focuses on the study of stone structural materials of the church of Melque, on their geological features, on its origin and on the working required to be used at the building. These preliminary outputs make it possible to expand the knowledge of the production of early medieval churches in the region of Toledo, since they add to those results obtained at the nearby church of San Pedro de La Mata (Sonseca), also recently analysed thanks to the scientific collaboration IGME-CSIC (Álvarez et al., op.cit.).

Referencias

Álvarez Areces, E., Utrero Agudo, M.ªÁ. y Baltuille Martín, J.M. (2017): *Geología y arqueología. Estratigrafía de la tierra, estratigrafía del patrimonio*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 234 p.

Caballero Zoreda, L. y Moreno Martín, F. J. (2013): *Balatalmelc, Santa María de Melque. Un monasterio del siglo VIII en territorio toledano. En: Lo que vino de Oriente. Horizontes, praxis y dimensión material de los sistemas de dominación fiscal en Al-Andalus (ss. VII-IX)* (X. Ballestín y E. Pastor, Eds.). Archaeopress, Oxford, 182-204.

The chalkstone as medieval construction stone in Normandy, France

La creta como piedra de construcción medieval en Normandía, Francia

D. Ballesteros[1], A. Painchault[2], B. Puente-Berdasco[3], C. Nehme[1], E. Pons-Branchu[4], B. Roussel[1], F. Delisle[2], D. Todisco[1], J.I. García-Alonso[3], M. Vanaro[2] and D. Mouralis[1]

1 UMR 6266 IDEES, Université of Rouen-Normandie / CNRS. Mont Saint-Aignan CEDEX. daniel.ballesteros@univ-rouen.fr; carole.nehme@univ-rouen.fr; dominique.todisco@univ-rouen.fr; damase.mouralis@univ-rouen.fr.

2 Laboratoire du GRHIS EA 3831, UFR des Lettres et Sciences Humaines, Université de Rouen-Normandie. Mont-Saint-Aignan CEDEX. aude.painchault@yahoo.fr; mariacristina.varano@univ-rouen.fr.

3 Dpto. de Física y Química Analítica, Universidad de Oviedo. Julián Clavería s/nº. 33006 Oviedo. puentebeatriz@uniovi.es, jiga@uniovi.es.

4 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université de Paris-Saclay. Orme des Merisiers, F-91191 Gif-sur-Yvette. edwige.pons-branchu@lsce.ipsl.fr.

Keywords: *Chalk, construction stone, historical stone, quarry.*

Abstract

The chalk is a coccolithic biomocritic limestone Upper Cretaceous in age used for building in western central Europe since the Antiquity. The project ATP (archaeomaterials, territory and patrimony) aims to characterize geologically the chalkstone, their uses and quarries involved in 22 medieval buildings (cathedrals, abbeys, churches, palaces and castles) constructed during the 9-14th centuries. The geological characterization includes the microscopic, geochemical (ICP-MS, ICP-EOS) and isotopic ($^{87}Sr/^{86}Sr$ via MC-ICP-MS) analysis of stones from buildings and quarries. This data was also complemented by 3D modelling of quarries (DistoX, Terrestrial Laser Scan), by stratigraphy analyses of the chalky bedrock, and geochronology (AMS ^{14}C, U/Th) on speleothems precipitated on exploitation benches. Results show that the Normand chalkstone were used for the funding and walling of medieval buildings, as construction material of openings (windows and others) and indoor works (stairs, figures…). Five varieties of chalkstone were used, highlighting the dolomitized chalkstone in the Seine valley, the glauconitic-silicified variety quarried in the Eastern Normandy Coast, and the calcarenitic employed in the SW of the Eastern Normandy. Chalkstones were supplied by underground quarries with up to 1.4 Mm^3 volume, located at 3-50 km away from the buildings. Radiocarbon and U/Th datings suggest that one of these quarries was active during the High Medieval Ages.

Resumen

La creta es una caliza biomicrítica cocolítica del Cretácico Superior utilizada históricamente como roca de construcción en centro-oeste de Europa desde la Antigüedad. El proyecto ATP (arqueomateriales, territorio, patrimonio) persigue la caracterización geológica de la creta, sus usos y las canteras relacionadas con 22 catedrales, monasterios, iglesias, palacios y castillos construidos en los s. IX-XIV en Normandía. Dicha caracterización incluye el análisis microscópico, geoquímico (ICP-MS, ICP-EOS) e isotópico ($^{87}Sr/^{86}Sr$ vía MC-ICP-MS) de las cretas de los edificios como de las canteras. Todo ello complementado con la modelización 3D de las canteras (DistoX, Escáner Laser Terrestre), el análisis estratigráfico de su sustrato rocoso y la geocronología (AMS ^{14}C, U/Th) de los espeleotemas localizados en los bancos de explotación. Los resultados muestran que la creta fue empleada en los cimientos y muros de las construcciones medievales, en sus vanos (ventanas y otros) y en sus elementos interiores (escaleras, estatuas, etc.). Se emplearon cinco variedades de creta, destacando la creta dedolomitizada en el valle del Sena, la silicificada con glauconita explotada en la costa normanda oriental y la calcarenítica empleada en el SO de la Normandía oriental. La creta fue suministrada por canteras subterráneas, con un volumen superior a los 1,4 Mm^3 y localizadas a una distancia de entre 3 y 50 km de los edificios. Las dataciones por radiocarbono y U/Th sugieren que una de estas canteras estuvo activa durante la Alta Edad Media.

Paisaje, geología y arquitectura defensiva de la Guerra Civil Española en el área SO de la Sierra de Guadarrama. Una nueva metodología de investigación geológico-arqueológica

Landscape, geology and defensive architecture of the Spanish Civil War in the SW area of the Sierra de Guadarrama. A new methodology of geological-archaeological research

J.M. Baltuille Martín[1], P. Schnell Quiertant[2] y F.J. Rubio Pascual[3]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. jm.baltuille@igme.es
2 Asociación Española de Amigos de los Castillos (AEAC). Prado, 26. 28014 Madrid. pabloschnell@yahoo.es
3 Área de Geología, Geomorfología y Cartografía Geológica. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. f.rubio@igme.es

Resumen:

El Instituto Geológico y Minero de España, junto con la Asociación Española de Amigos de los Castillos, inició en 2016 el proyecto "Paisaje, Geología y Arquitectura militar. Las construcciones defensivas del Frente de Madrid (1936-1939)". Siguiendo las corrientes actuales de colaboración entre equipos multidisciplinares, se han empleado tanto técnicas histórico-arqueológicas como geológicas. El estudio, enfocado en resaltar las características petrológicas y morfológicas de las construcciones (realizadas, preferentemente, en mampostería) y su ubicación espacial en su entorno, nos ha permitido desarrollar una metodología específica de trabajo.

Se ha estudiado un área de unas 6.000 ha en la Sierra de Guadarrama, en los términos municipales de Robledo de Chavela, Santa María del Páramo y Valdemaqueda, localizándose unos 600 elementos defensivos, de ambos bandos, clasificándose en 18 tipologías de construcción.

El resultado final del proyecto permitirá a la sociedad, conocer y disfrutar del bagaje histórico, cultural y patrimonial que representan estos espacios, sustituyendo el concepto de paisaje natural por el de paisaje geo-cultural.

Palabras clave: Patrimonio arquitectónico, mampostería, metodología, Guerra Civil Española, Sierra de Guadarrama.

Abstract:

The Geological and Mining Institute of Spain, in collaboration with the Spanish Association of Friends of the Castles, started in 2016 the project "Landscape, Geology and Military Architecture. The defensive constructions of the Madrid Front (1936-1939)". Following the current trends of collaboration between multidisciplinary teams, both historical-archaeological and geological techniques have been used. This study, focused on highlighting the petrological and morphological characteristics of the constructions (preferably made of masonry) and their spatial location in their environment, has allowed us to develop a specific work methodology.

An area of about 6,000 ha has been studied in the Sierra de Guadarrama, in the municipalities of Robledo de Chavela, Santa Maria del Paramo and Valdemaqueda, where some 600 defensive elements have been located on both sides of the conflict, classified into 18 types of construction.

The final result of the project will allow the society to know and enjoy the historical, cultural and heritage baggage that these spaces represent, replacing the concept of natural landscape with that of geo-cultural landscape.

Keywords: *Architectural heritage, masonry, methodology, Spanish Civil War, Sierra de Guadarrama.*

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico y Minero de España, en colaboración con la Asociación Española de Amigos de los Castillos, inició en 2016 el proyecto "Paisaje, Geología y Arquitectura militar. Las construcciones defensivas del Frente de Madrid (1936-1939)". Con él se pretende definir una nueva estrategia metodológica para afrontar el estudio de las construcciones defensivas, no solo considerándolos como unos restos históricos aislados de su entorno físico, sino como elementos constitutivos de la morfología y del paisaje regional, gracias a sus materiales constructivos y a su ubicación espacial en el entorno. Esta línea de estudiar la piedra natural como un elemento constitutivo del patrimonio arquitectónico la inició el IGME en 2014, con el Programa INCHaPA, Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (Baltuille Martín *et al.* 2016).

En la realización del proyecto, y siguiendo las corrientes actuales de colaboración entre equipos multidisciplinares (Schnell Quiertant y Baltuille Martín, 2017), se emplean tanto técnicas arqueológicas e históricas como geológicas: determinación de elementos defensivos, análisis documental, caracterización litológica de los mampuestos, petrografía de rocas, análisis morfológico, etc.).

Los objetivos del proyecto son:

– El estudio de los distintos sistemas defensivos y su relación con el territorio, atendiendo tanto a los aspectos histórico-arquitectónico-militares como a los, eminentemente, geológicos y paisajísticos.

– El diseño de una metodología específica de trabajo, tanto a nivel regional (Sierra de Guadarrama) como para el entorno concreto de las posiciones.

ANTECEDENTES

Con el levantamiento en Melilla de las tropas de África, el 17 de julio de 1936, dio comienzo una sangrienta y devastadora guerra civil que no finalizó hasta el 1 de abril de 1939.

La idea original del alzamiento era la rápida convergencia sobre Madrid de tropas sublevadas y milicias traídas de zonas favorables al golpe (Navarra y Castilla la Vieja, principalmente) que apoyarían a los cuarteles de la capital y cercenarían así cualquier acción del gobierno republicano; pero la rápida reacción de las tropas leales y de las organizaciones obreras, armadas por el gobierno, abortó esa posibilidad.

Desde entonces el objetivo del mando republicano fue cerrar los pasos montañosos que, a través de la Sierra, comunicaban las amplias llanuras castellanas, en poder de los sublevados, con la capital. Tras violentos combates, el avance quedó detenido en los puertos de Guadarrama, Navacerrada y Somosierra. La lucha en el sector del Guadarrama se desarrolla entre el 20 de julio y el 15 de septiembre. En esas fechas operaron en la Sierra varias columnas gubernamentales con penetraciones considerables en territorio enemigo, estando a punto de tomar Ávila la mandada por el Tte. Cnel. Mangada.

La columna, empleada inicialmente por ambos bandos, era un núcleo armado bien conocido en el ejército español por haberlo utilizado ampliamente en las campañas africanas de principios del siglo XX. De composición heterogénea estaba formada por fuerzas militares y de orden público, así como por elementos voluntarios civiles. Las fuerzas militares, que correspondían a unidades operativas incompletas del ejército, eran tropas de infantería, artillería e ingenieros y contaban con medios propios de transporte, lo que les daba su mayor virtud, la movilidad.

En lo referente al área del trabajo, entre el 14 y el 23 de octubre los sublevados toman Valdemaqueda, Robledo de Chavela, Las Navas del Marqués y Santa María de la Alameda, fortaleciendo su flanco izquierdo en su avance hacia Madrid, a través de la Cuenca del Tajo (Martínez Bande, 1982), aunque el estancamiento de la lucha alrededor de Madrid frenó este avance.

A comienzos de 1937 el ejército republicano realizó una pequeña ofensiva, ocupando una porción de terreno que fue abandonada a los pocos meses por razones defensivas. Este frente de montaña quedó estabilizado durante dos años, procediendo ambos bandos a fortificarlo en un proceso acelerado hasta el final de la guerra.

MARCO GEOLÓGICO

Los materiales que afloran en la zona de trabajo pertenecen al conjunto ígneo y metamórfico del Macizo Hercínico y presentan edades que varían de precámbricas a ordovícicas. Estos materiales, ortonéisicos y metasedimentarios, constituyen parte del afloramiento de El Escorial-Villa del Prado.

Los ortoneises glandulares son los materiales más abundantes de la zona y, atendiendo a criterios petrográficos, se han distinguido tres unidades principales: ortoneises glandulares comunes, ortoneises glandulares melanocratos y leuconeises. Están compuestos de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita, acompañados por cantidades variables de sillimanita y moscovita secundaria y distena y granate en las variedades melanocratas.

Los ortoneises glandulares comunes presentan estructuras néisicas oftalmíticas, definidas por abundantes megacristales de feldespato potásico, de 2-6 cm, cuyos hábitos varían entre subidiomorfos y alotriomorfos. Los melanocratos se encuentran en bandas fuertemente deformadas y se asocian con materiales metasedimentarios. Las glándulas presentan una distribución bimodal, siendo de feldespato potásico las de mayor tamaño y de plagioclasa las de menor. La coloración de la matriz es muy oscura por su composición biotítica (Bellido Mulas *et al.*, 1990).

Los leuconeises son cuerpos menores asociados a los ortoneises glandulares mediante contactos netos. Su composición es cuarzofeldespática y escasa proporción de micas. Como minerales accesorios presentan granate y turmalina, ésta en cuerpos nodulares centimétricos.

Los materiales metamórficos están constituidos por rocas de composición original pelítica y grauváquica y por mármoles y rocas calcosilicatadas. Todos ellos están deformados, recristalizados y migmatizados.

Los materiales metapelíticos son esquistos y neises bandeados micáceos que, debido a la migmatización, presentan estructuras que varían de estromáticas a esquistosas. Su composición principal es cuarzo, plagioclasa, biotita y sillimanita, con cordierita.

Los niveles carbonatados presentan potencias de 10-20 m, que pierden continuidad por fenómenos de "boudinage". Estas rocas están transformadas en mármoles bandeados, de colores ocres a blanquecinos y con composición principal calcítico-dolomítica y cantidades menores de flogopita, diópsido, forsterita, clinohumita, espinela y otra serie compleja de silicatos cálcico-magnésicos menos frecuentes.

Asociados a ellos se encuentran unos niveles de rocas calcolisilicatadas bandeadas, de coloración verdosa y de composición: diópsido y plagioclasa de minerales principales y anfíbol, flogopita, microclina grosularia y vesubianita, como secundarios y accesorios. Estos metasedimentos sólo aparecen en el núcleo de la estructura de Santa María de la Alameda, en forma de estrechas bandas en zonas de cizalla, donde son cabalgados por ortoneises glandulares.

En la parte más occidental del área, y con una disposición N-S, aparecen unas adamellitas, hipidiomorfas e inequigranulares, con cuarzo, ortosa, plagioclasa, biotita y apatito, a veces abundante, como minerales principales y circón, monacita y allanita como accesorios. Estas rocas, post o sincinemáticas, se corresponden con las denominadas adamellitas con megacristales y microagregados biotíticos, tipo Navas del Marqués y presentan como característica la episienitización, en formas irregulares o bandas. Sus afloramientos generalmente son en forma de "lehm" granítico, aunque a veces, en zonas de cumbres u hombreras, se presentan como berrocales o lanchares.

Finalmente, y también en la parte occidental, aparecen una serie de haces de diques de pórfidos graníticos-granodioríticos de dirección E-O que atraviesan las estructuras precinemáticas. Presentan potencias de 10 a 40 m, buzamientos casi verticales (70-80º / N) y presentan fenocristales de cuarzo, ortosa (frecuente macla de Carlsbad) y plagioclasa zonada.

RESULTADOS

Entre los objetivos del proyecto está el diseño de una metodología para el estudio de las obras defensivas, en función de sus materiales constructivos y su ubicación espacial.

Creemos que poner de manifiesto la importancia de la geología, en su más amplio sentido, en todo lo referente a la arquitectura defensiva: materiales pétreos usados, caracterización del sustrato rocoso, morfología del emplazamiento, valoración de los recursos naturales a proteger, ordenación del territorio respecto a los cursos de agua y vías de comunicación, etc., es una aportación imprescindible y estratégica para valorizar el peso de la geología en trabajos multidisciplinares relacionados con este tipo de patrimonio. ¡Sólo el desconocimiento puede ocultar la importancia que la geología tiene en el ámbito de la ciencia militar!

Pero ya en plena Guerra Civil, en el que posiblemente sea el mejor tratado de fortificación de toda la contienda (Capdevila, 1938), se resaltaba inequívocamente la importancia de la geología en el arte de la fortificación: "*El terreno, en donde la organización defensiva en general se ha de instalar, debe corresponder ante todo a las necesidades tácticas, pero inmediatamente después a las condiciones geológicas del suelo*".

Los restos materiales de la guerra, de los cuales los elementos fortificados son una parte, no han comenzado a valorarse, socialmente, hasta hace poco tiempo. No profundizaremos en las razones de este desinterés, pero podemos considerar, que son la manifestación material de un pasado incómodo (González Ruibal, 2008).

A lo largo del proyecto se han realizado las actuaciones siguientes:

- Realización de diferentes campañas de campo en el área a investigar (t.m. de Santa María de la Alameda, Robledo de Chavela y Valdemaqueda)
- Definición de una base de datos, específica para el almacenamiento de la información obtenida, con un total de unos 90 campos: organización (5), localización (17), caracterización (8), construcción (10), estado y protección (10), militaria (7), catastro y propiedad (9), geología (9), documentación (7) y gestión y control (9)
- Muestreo de los principales conjuntos defensivos construidos con mampuesto y caracterización petrológica y petrográfica de la litología empleada
- Estudio fotogramétrico aéreo con dron DJI Mavic Pro, dotado con cámara de 12,71 pixeles (Fig. 1).
- Tratamiento digital de las imágenes (modelos en 2D, 3D, MDT, etc.)
- Análisis geomorfológico del paisaje y su posterior representación en un SIG



FIGURA 1. Mejora en la definición de imagen para la localización de objetivos en campo. Imagen proporcionada por Google Earth Pro (izquierda) y mediante dron (derecha).

Entre 2016 y 2019, periodo que ha durado el proyecto, se ha estudiado un área de unas 6.000 ha en la Sierra de

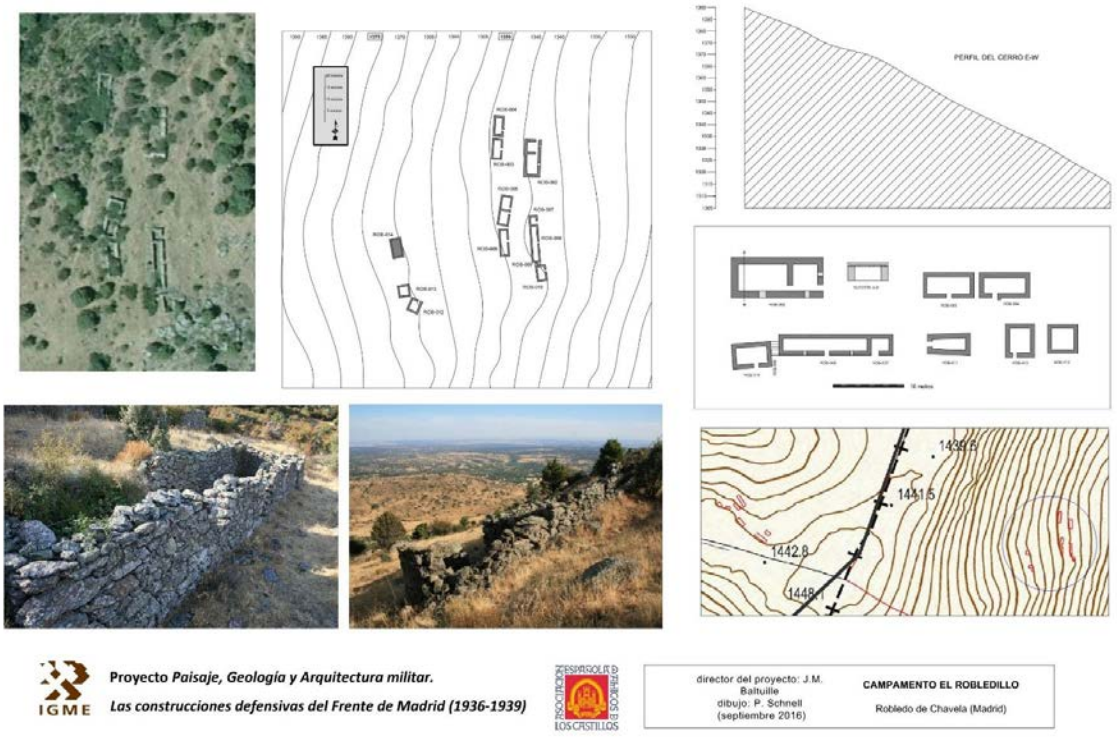


FIGURA 2. Imágenes y esquemas del campamento republicano del Robledillo (Robledo de Chavela, Madrid).

Guadarrama, términos municipales de Robledo de Chavela, Santa María del Páramo y Valdemaqueda, habiéndose localizado más de 578 elementos defensivos, de ambos bandos (68 % del nacional y 32 % del republicano).

Todos estos elementos se han clasificado en un total de 18 tipologías, de las cuales seis de ellas representan el 86,4 % del total: viviendas o alojamiento de tropa (33 %), puestos de tirador (32,3 %), fortines (6,4 %), trincheras (5,2 %), nidos de ametralladora (4,8 %) y parapetos (4,7 %); asumiendo que, excepto los nidos de ametralladora (hormigón armado, la mayoría) y las trincheras (excavadas), el resto son obras fundamentalmente de mampostería, mayoritariamente a hueso y otras con mortero de cemento (Fig. 2).

CONCLUSIONES

Este estudio nos ha permitido desarrollar una metodología específica de trabajo que aquí se expone, a la vez que se presentan los primeros resultados obtenidos, documentando fortificaciones y organizaciones defensivas inéditas. El resultado final del proyecto: inventario, catalogación e inserción en el medio natural, permitirá definir una serie de rutas y escenarios que permitirán a los ciudadanos conocerlos y disfrutar del bagaje histórico, cultural y patrimonial que representan, sustituyendo el concepto de paisaje natural por el de paisaje geo-cultural.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Lorenzo Carnicero (IGME), por su inestimable ayuda en los trabajos de fotogrametría mediante dron.

REFERENCIAS

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016): Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016*. Madrid.

Bellido Mulas, F., Casillas, R., Navidad, M., de Pablo García, J.G. Peinado Moreno, M., Villaseca, V., Ruiz García, M.T., Casquet, C., Macaya, J., González Casado, J.M., de Vicente, G., de Dios Centeno, J., Fernández, P., Villasante, R., Merlos, A., González Lodeiro, F., Alonso Millán, A., Armenteros, I., 5Dabrio, C., Pedraza, J., Pérez González, A. y Ruiz García, C. (1990): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 532 (Las Navas del Marqués)*. IGME, Madrid.

Capdevila, J. (1938): *La fortificación de campaña*. Ed. Sindicato de la Industria de la edificación, madera y decoración. CNT, 266 pp.

González Ruibal, A. (2008): Arqueología de la Guerra Civil española. *Complutum*, 19-2: 11-20.

Martínez Bande, J.M. (1982): *La Marcha sobre Madrid.* Servicio Histórico Militar. Monografías de la Guerra de España, 1, 373 pp.

Schnell Quiertant, P. y Baltuille Martín, J.M. (2017): Arqueología de la fortificación de la Guerra Civil y asociacionismo en los frentes de Madrid. *Trabajos de Arqueología Navarra*, 29: 169-202.

El “travertino rojo de Mula” una roca histórica y una herramienta para la divulgación y puesta en valor del patrimonio

“Mula red travertine” an historical rock and a tool for the dissemination and heritage valuation.

M. Boluda Gutiérrez[1], C. García García[2] y V. M. Robles-Arenas[2]

1 Campos Solares del Mediterráneo, S.L. 30002 Murcia. martinboludagutierrez@gmail.com.
2 Dpto. de Ingeniería Minera y Civil, E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puerto y de Ingeniería de Minas, UPCT. 30203 Cartagena (Murcia). cristobal.garcia@upct.es; virginia.robles@upct.es.

Resumen: El travertino rojo de Baños de Mula ha sido empleado en construcción desde época romana hasta principios del siglo XX. Este material procede de dos afloramientos situados en dos cerros denominados Alcalá y de La Almagra (Mula, Región de Murcia, SE España). Su llamativo color, junto a sus propiedades mecánicas y su buen comportamiento frente al agua, son los principales motivos que propiciaron su uso. En el presente artículo se muestran los resultados de un inventario de construcciones (civiles, religiosas y privadas) que cuentan con este material en la comarca de Mula. Se han catalogado 189 lugares, de los cuales 34 son edificios religiosos, 117 son casas privadas y 38 de obra civil, además de la villa romana de Villaricos. En estado de abandono se encuentran 31 puntos y 158 se hallan en buen estado, siendo todos ellos visitables y de interés variado. Con toda esta información y atendiendo a evidencias arqueológicas y a criterios estratigráficos, se ha tratado de hacer una propuesta para la localización de la zona que pudo ser explotada durante la actividad minera. El objetivo último de este trabajo es contribuir a la puesta en valor de una roca singular y acercar a los vecinos de la comarca a la gran geodiversidad de su entorno.

Palabras clave: Travertino rojo, minería romana, cartografía, inventario de edificaciones, patrimonio.

Abstract: *Baños de Mula red travertine has been used in construction from Roman times to the beginning of the 20th century. This rock came from two outcrops located on two hills called Alcala and La Almagra (Mula, Region of Murcia, SE Spain). Its striking colour, along with its mechanical properties and its good behaviour against water, are the main reasons that led to its use. In this paper are reported the results of an inventory of constructions (civil, religious and private) that have this material in the region of Mula. 189 places have been catalogued, 34 religious buildings, 117 private houses and 38 civil engineering works, in addition to archaeological site of Villaricos. 31 places of them are in bad state and 158 are in good condition. With this information and taking into consideration the archaeological evidence and stratigraphic criteria, an attempt has been made in order to identify the area exploited during the mining activity. The final aim of this work is to contribute to enhance the knowledge of this singular rock, bringing to the neighbours of the region the great geodiversity of its surrounding.*

Keywords: *Red travertine, roman mining, building inventory, cartography, heritage.*

INTRODUCCIÓN

Los travertinos, en todas sus variedades, han sido empleados como material de construcción desde la Antigüedad hasta la actualidad, tanto como roca de uso estructural como roca ornamental en sentido estricto, e incluso en pavimentos. Todo ello propiciado por sus propiedades mecánicas (especialmente cuando los esfuerzos son perpendiculares a la estructura general de la roca) y por su porosidad que le proporciona un aceptable comportamiento hídrico, a pesar de su anisotropía.

En concreto, el travertino rojo de Mula fue una roca empleada en la Hispania romana con amplio uso en Carthago Nova, la muestra más destacada de ello es el teatro romano de Cartagena. Aunque no se han reconocido vestigios de la actividad minera romana, probablemente ocultados por la actividad extractiva posterior, desarrollada hasta principios del siglo XX (Fig. 1) de la cual no se tiene registro oficial.



FIGURA 1. Marcas de barrenos en el frente del cerro de La Almagra, al fondo el cerro de Alcalá.

Mediante el análisis de los elementos decorativos de las piezas estudiadas en Carthago Nova, se propone que las canteras estuvieron en pleno rendimiento en el último cuarto del siglo I a. C. (Soler Huertas, 2005) pero no se puede concretar una fecha de cese de este periodo de explotación, pues, aunque se identifica material en construcciones más modernas, éste puede proceder de stock o bien haber sido reutilizadas.

Del análisis epigráfico de las marcas de canteros se puede concluir que el yacimiento estaría dividido en distritos y a su vez en sectores, al encontrarse solamente determinadas nomenclaturas, que unido, por ejemplo, a las dimensiones desiguales de los tambores de fuste en numerosas columnas, lleva a pensar que el yacimiento se encontraba clasificado por calidades del material, empleando determinados niveles en función del destinatario y/o uso (Soler Huertas, 2005).

En 2019 quedó la zona donde se encuentran los afloramientos de travertino incluida en el LIGMU-32 *Geodiversidad de La Puebla y Los Baños de Mula*, declarado lugar de interés geológico por aspectos estratigráficos, sedimentológicos, geomorfológicos, paleontológicos, tectónicos, petrológico-geoquímico, minero-metalogenético, hidrogeológicos, y presencia de edificios singulares por la roca de construcción. Destacar en la declaración el *interés hidrogeológico termal de los Baños y el paleoambiente fluvio-palustre cuaternario, con extensos y variados depósitos de travertinos además de atesorar importantes yacimientos arqueológicos como el castillo árabe de Alcalá o el poblado del cerro de La Almagra, donde se sitúan las canteras de travertino rojo* [www.murcianatural.carm.es].



FIGURA 2. Localización del área de estudio.

En vista del valor histórico del uso de esta roca y de la geodiversidad del contexto geológico, el objetivo de este trabajo es, mediante la realización de un inventario de edificaciones y construcciones que cuentan con elementos elaborados con travertino, exponer el uso de una roca de singularidad para contribuir al conocimiento y puesta en valor del patrimonio, y a divulgación de la geología, en general, y de la minería en particular.

EL TRAVERTINO ROJO Y SU ENTORNO

Los afloramientos de travertino objeto de estudio se encuentran a unos 5 km al este de la ciudad Mula, situada en el centro de la Región de Murcia (Fig. 2), en la denominada comarca del río Mula. Los niveles de travertino rojo se encuentran coronando dos relieves (Fig. 3), siendo cartografiados en el mapa geológico 1:50.000 como areniscas, calizas y conglomerados terciarios, para el caso del cerro de Alcalá y como cuaternario indiferenciado para el cerro de La Almagra (Jerez Mir *et al.*, 1974).

Se trata de unos niveles competentes carbonatados de unos 10 y 15 m de espesor, depositados sobre el relleno Neógeno de la cuenca de Mula, cuenca intramontañosa de la cordillera Bética.

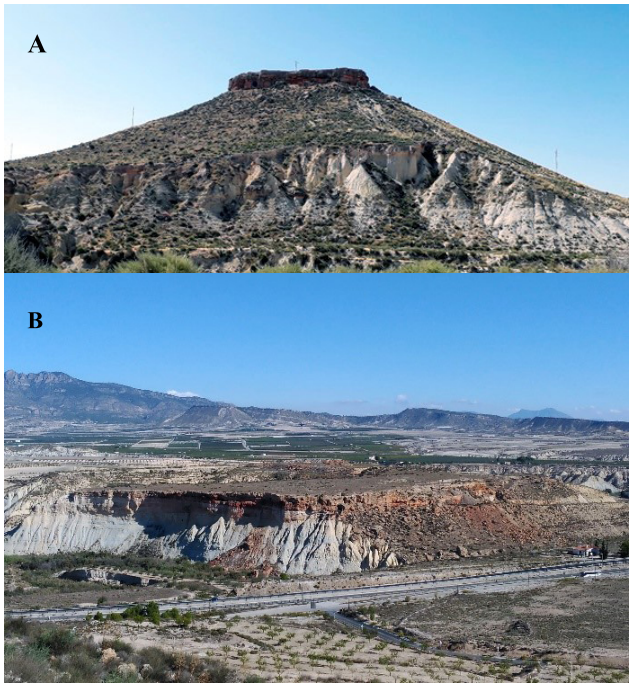


FIGURA 3. Fotografías de los afloramientos de travertinos: a) Cerro de Alcalá. b) Cerro de La Almagra.

Los autores García del Cura *et al.* (2014; 2017) han realizado estudios petrológicos y mineralógicos sobre estos travertinos indicando que se trata de un travertino tipo “thermogene travertines” según Pentecost and Viles (1994), formado a partir de la desgasificación del CO_2 contenido en aguas termales. Las facies presentes en los travertinos son fundamentalmente bandeadas, capas entre 1-10 cm, las bandas estás formadas por mesocristales de calcita y micrita, también existen laminaciones de tipo estromatolítico. Estas últimas en ocasiones presentan oxihidróxidos de hierro. Los oxihidróxidos de hierro también pueden aparecer como una fase cementante posterior.

Los materiales que predominan son de origen sedimentario, margas, arcillas y calizas entre otros. La presencia de terrenos margosos y la escasez de vegetación propician la formación de barrancos y acarcavamientos. La presencia

de niveles competentes, en este caso de naturaleza carbonatada, en las partes altas de los cerros permite la formación de las "muelas", término local con el que se denominan a estos cerros testigo.

Esta configuración ha brindado un interés estratégico a ambos cerros, contando con asentamientos durante épocas pasadas, hecho que se debe a dos factores principales; el estratégico-defensivo y a la proximidad al río Mula e incluso, a las surgencias termales.

Por tanto, este enclave cuenta con un gran potencial turístico y educativo, debido a la riqueza histórica de los yacimientos arqueológicos (castillo de Alcalá, cerro de La Almagra, y la villa romana de Los Villaricos a menos de 3 km de distancia de los cerros), la biodiversidad sostenida por el río Mula y sus afluentes, y la diversidad geológica (diversos depósitos de travertinos, afloramientos de moluscos continentales, dique de fortunitas (lamproitas), manantiales termales y el paisaje de badlands).

De no ser por los procesos geológicos que configuraron esta comarca, no se dispondría de este patrimonio histórico-natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la cartografía de los dos cerros con niveles de travertino rojo se han tomado imágenes aéreas que han sido manejadas mediante el software AutoCAD, siendo toda la información corroborada en campo.

Para desarrollar el inventario, en primer lugar, se diseñó una ficha donde recopilar toda la información de interés (coordenadas, denominación, grado de protección, descripción, datación, estilo, ubicación del travertino, dimensiones de las piezas y registro fotográfico).

La información para la clasificación de los lugares dependiendo de su grado de protección ha sido extraída de SitMurcia (sistema de información territorial de la Región de Murcia).

Las coordenadas corresponden al sistema ETRS89/UTM, Huso 30 y han sido obtenidas de su consulta en la página del Catastro.

La descripción del uso de travertino en edificios se ha realizado en base a las piezas observables.



FIGURA 4. Ejemplo de punto catalogado: viaducto de Perea, construido en 1923, sobre la rambla que le da nombre, para la línea de ferrocarril Murcia-Caravaca.

RESULTADOS: EL INVENTARIO

La mayor parte del travertino localizado aparece en umbrales de puertas, con el fin de nivelar las entradas a las viviendas y situarlas a un nivel superior al de la calle para evitar la entrada del agua (lluvia, escorrentía, limpieza de calles…). Otra gran parte de travertino es empleado en las esquinas de los edificios. Si bien son menos numerosos, pero también se han inventariado puentes (Fig. 4) y portadas, donde se emplea mayor volumen de este material.

El travertino también se observa, en algunas fachadas, como zócalo, cumpliendo la función de soportar el peso de las mismas y de protegerlas de humedades provocadas por agua de lluvia y salpicaduras., así como en escalones de acceso a viviendas y gradas para salvar el desnivel entre calles.

También se han incluido en el catálogo el travertino empleado para la construcción de elementos con fines meramente estéticos y el identificado en yacimientos arqueológicos.

Este inventario no puede incluir aquellas piezas no visibles por encontrarse ocultas bajo el nivel del suelo o bajo capas de enlucido, como ha sucedido en alguna restauración que lo ha dejado totalmente cubierto.

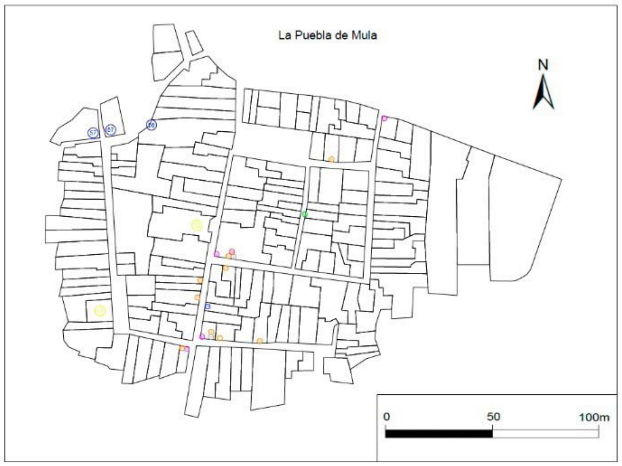


FIGURA 5. Puntos catalogados en La Puebla de Mula (amarillo, principales; azul, muros; naranja, umbrales; gris, escalones; rosa, esquinas).

Numerosos son los edificios que están protegidos, para ello se ha realizado una clasificación en función de la protección que existe sobre los mismos. Se han catalogado 98 lugares que no han sido declarados Bien Inmueble, incluyéndose entre los 91 restantes 12 puntos declarados bien de interés cultural y el resto atienden a diferentes grados de protección, dato tomado de SitMurcia (http://sitmurcia.carm.es/).

En la mayoría de los casos el travertino se encuentra en buen estado, aunque el edificio o lugar en el que se ha localizado se encuentre en estado de abandonado. Motivo por el cual, a esta catalogación, se le ha añadido una clasificación en función del estado, existiendo 31 en estado de abandono y 158 en buen estado.

Otra de las clasificaciones ha sido en función del uso original de la instalación o elemento catalogado, distinguiendo

tres tipos: edificios religiosos (34), propiedad privada (117) y obra civil (38). En la Fig. 5 se muestra uno de los mapas elaborados.

Para llevar a cabo una propuesta de estimación de travertino explotado para satisfacer la cantidad de travertino catalogada, se ha procedido en primer lugar a la aproximación del volumen de travertino inventariado. A continuación, se han considerado las dimensiones de los niveles de travertino. El cerro de Alcalá presenta un espesor homogéneo, mientras que el cerro de La Almagra tiene una variación mayor de espesor, oscilando ambos cerros entre los 10 y 15 m visibles.

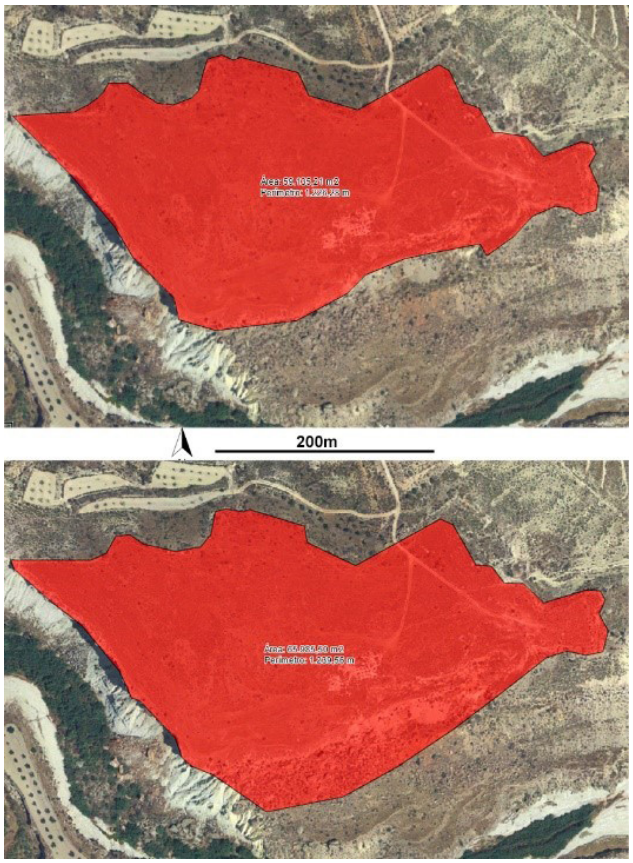


FIGURA 6. a) Extensión supuesta del nivel de travertinos en el cerro de La Almagra. b) Extensión del nivel de travertinos del mismo cerro, pero sumándole el área calculada que pudo que ser explotada para la obtención del volumen de material inventariado.

La extensión del afloramiento en el cerro de Alcalá es clara, mientras que en el cerro de La Almagra se encuentra cubierto parcialmente. En la Figura 3b se puede observar esta variación de espesor en el corte provocado por la erosión del río, al igual que la perdida de tonalidad de la roca cuando disminuye el espesor.

Conocidos los espesores de los afloramientos, el volumen de material catalogado en la comarca del Río Mula, y atendiendoa dónde se localizan los restos de bloques y desbastes que se pueden observar en las laderas de los cerros, se ha realizado una estimación del área aproximada de la extensión de los afloramientos de travertino antes de su explotación (Fig. 6).

Es evidente que aún queda un volumen considerable de travertino potencialmente explotable, pero los restos arqueológicos que se encuentran sobre ellos, declarados BIC, más la declaración de LIGMU hacen que la reapertura de la explotación sea impensable.

CONCLUSIONES

Por los restos de desbaste encontrados en los cerros de Alcalá y de La Almagra se ha llegado a la conclusión de que se ha extraído material de ambos, siendo en el cerro de La Almagra el último donde se abandonó la actividad extractiva, hecho que se ha podido comprobar en campo observando las marcas de perforación realizadas en los frentes mediante medios mecánicos.

Estudiadas las propiedades del travertino y en vista del inventario, queda demostrado el uso que se le ha dado a lo largo de la historia en lugares sometidos al desgaste, la erosión y a soportar altas presiones.

El inventario realizado muestra que el travertino rojo de Mula forma parte de la comarca de Mula, estampa una huella indeleble en su historia, sus edificios y su paisaje.

REFERENCIAS

García del Cura, M.A, Benavente, D., Martínez-Martínez, J. y Ordóñez Delgado, S. (2014): Los travertinos de Baños de Mula (Murcia). Una roca de interés sedimentológico y arqueológico. *Geogaceta*, 56: 75-78.

García del Cura, M.A, Benavente, D., Martínez-Martínez, J. y Ordóñez Delgado, S. (2017): Travertinos coloreados en la Cordillera Bética (SE de la Península Ibérica). Situación geológica y características petrofísicas. *Boletín Geológico y Mine*ro, 128 (2): 467-483.

Jerez Mir, L., Jerez Mir, F. y García Monzón, G. (1974): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 912 (Mula).* IGME, Madrid.

Pentecost, A. and Viles, H.A. (1994): La classification des travertins: revue et réévaluation. *Géographie physique et Quaternaire* 48, 305–314.

Soler Huertas, B. (2005): El travertino rojo de Mula (Murcia). Definición de un mármol local. Verdolay: *Revista del Museo Arqueológico de Murcia*, 9: 141-164.

La "Piedra Dorada" como material de construcción en edificios emblemáticos de Úbeda (Jaén): el caso del Palacio Vázquez de Molina. Caracterización de materiales y detección de patologías para su correcta intervención

The "Piedra Dorada" as a construction material in emblematic buildings in Úbeda (Jaén): the case of the Vázquez de Molina Palace. Characterisation of materials and detection of pathologies for their correct intervention

L. Crespo-López[1], E. Sebastián Pardo[1,2], J.M. Álvarez-Pérez[3], M.C. Fernández-Linares[3] y G. Cultrone[2]

1 TESELA, Materiales, Innovación y Patrimonio (Spin-Off Universidad de Granada). Gran Vía de Colón,48 5º2, 18010 Granada. e-mail: e.lauracrespo9@go.ugr.es; lcrespo.geo@gmail.com
2 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Fuente Nueva, s/nº. 18071Granada.
3 Ayuntamiento de Úbeda. Plaza Vázquez de Molina. 23400 Úbeda (Jaén).

Resumen: Presentamos la evaluación del estado de conservación y la caracterización de los materiales del Palacio Vázquez de Molina situado en Úbeda (Jaén), lo que permitirá desarrollar una intervención específica que garantice la correcta restauración de este edificio. Para ello, se ha realizado un muestreo representativo de los elementos arquitectónicos y una exhaustiva caracterización composicional mediante diferentes técnicas químico-mineralógicas: difracción de rayos X (DRX), microscopía óptica de luz polarizada (MOP), espectroscopía de absorción de infrarrojos (FTIR) y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM). El principal componente constructivo es la Piedra Dorada, una calcarenita masiva de porosidad baja a moderada, con restos bioclásticos y terrígenos, principalmente cuarzo y filosilicatos. La Piedra Dorada también fue utilizada como árido en morteros y materiales terrosos. Los morteros de cal, yeso y bastardos son los más comunes. Las eflorescencias de sulfatos de magnesio y sodio son los principales agentes de alteración de los materiales de construcción. Estas sales solubles pueden experimentar ciclos de expansión y contracción que causan tensiones de tracción en los poros y fisuras en la piedra y los morteros.

Palabras clave: calcarenita, estado de conservación, restauración, mineralogía.

Abstract: *We present the evaluation of the state of conservation and the characterization of materials of the Vázquez de Molina Palace located in Ubeda (Jaen), which will allow the development of a specific intervention that guarantees the correct restoration of this building. To this end, we carried out a representative sampling of the architectural elements and an exhaustive compositional characterization using different chemical-mineralogical techniques: X-ray diffraction (DRX), polarized light optical microscopy (MOP), infrared absorption spectroscopy (FTIR) and field emission scanning electron microscopy (FESEM). The main building component is the Piedra Dorada, a massive calcarenite with low to moderate porosity that contains bioclastic remains and terrigenous grains, mainly quartz and phyllosilicates. The Piedra Dorada was also used as aggegates in mortars and earthen materials. Lime, gypsum and bastard lime-gypsum mortars are the most common. The efflorescences made of magnesium and sodium sulphates are the main alteration agents on the building materials. These soluble salts may experience expansion and contraction cycles that cause tensile stresses in the pores and fissures of the stone and mortars.*

Keywords: *calcarenite, estate of conservation, restoration, mineralogy*

INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación del estado de conservación y los análisis realizados a diversas muestras de piedra, tapias, morteros y sales procedentes de distintas zonas del Palacio Vázquez de Molina o Palacio de las Cadenas, situado en la Plaza Vázquez de Molina s/nº. (Úbeda, Jaén). Este inmueble municipal tiene la declaración de Bien de Interés Cultural (BIC). El componente principal de este estudio es, por una parte, la denominada *Piedra Dorada* ya que forma parte de la propia arquitectura del palacio y es usada también como árido en los morteros estudiados y las tapias de la zona interior del palacio y, por otra, los productos de alteración caracterizados sobre todo por las eflorescencias de fases salinas. La denominación de *Piedra Dorada* se utilizó por primera vez

en 1990 para referirse petrológicamente a una calcarenita perteneciente al Mioceno Superior (Tortoniense) desde una perspectiva científica.

ESTADO DE CONSERVACIÓN

En Úbeda, la escala de variaciones climáticas es tanto diurna como estacional. Las degradaciones generales detectadas son principalmente la pérdida de cohesión de material, las arenizaciones, las eflorescencias y sub-eflorescencias salinas y las costras negras. También son relevantes la pérdida de soporte y de mortero entre juntas, las grietas y desplazamientos, el ataque biológico y la suciedad adherida formando costras negras. Un ejemplo de ello se puede observar en la figura 1.



FIGURA 1. Mapeo de patologías de la fachada sur.

METODOLOGÍA Y DATOS

Se han empleado las siguientes técnicas de análisis:

– Observación mediante videomicroscopio binocular (EVL), útil para determinar la presencia y el hábito de las eflorescencias salinas.

– La difracción de rayos-X (DRX) permitió identificar y cuantificar las fases minerales que componen las muestras.

– Estudio mediante microscopía óptica de polarización (MOP) para caracterizar la textura y componentes. También se procedió a la aplicación de una solución de rojo de alizarina para la diferenciación de carbonatos (Casadio *et al.*, 2005).

– La espectroscopia de absorción infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) se utilizó para la identificación de las eflorescencias salinas. Se utilizó un equipo con un módulo de ATR (Reflectancia Total Atenuada) con cristal de diamante.

– El microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (FESEM) con sistema de análisis químico (EDX, Energy Dispersive X-ray spectroscopy).

En total se analizaron 22 muestras cuya localización, tipo de muestra y los análisis acometidos en cada una de ellas se muestran en Tabla I.

Situación	Descripción	Referencia	Análisis
Fachada N	Eflorescencias salinas	PVM-N-S1 PVM-N-S2	DRX, FTIR
Fachada S	Morteros	PVM-S-M1 PVM-S-M2 PVM-S-M3	EVL, DRX, MOP
Fachada S	Piedras	PVM-S-P1 PVM-S-P1	EVL, DRX
Fachada O	Piedras y costras	PVM-O-P2 PVM-O-P4 PVM-O-C3	EVL, DRX, MOP, FESEM
Fachada O	Mortero	PVM-O-M6	EVL, DRX, MOP
Sótano	Morteros	PVM-IN-M4 PVM-IN-MR1 PVM-IN-MR2	EVL, DRX, MOP, FESEM
Sótano	Piedra arenizada	PVM-IN-P5	EVL, DRX
Sótano	Efloresc. salinas	PVM-IN-S3 PVM-IN-S4	DRX, FTIR
1ª planta	Morteros	PVM-IN-MP4 PVM-IN-MP5	EVL, DRX
2ª planta	Tapiales	PVM-IN-T1 PVM-IN-T2	EVL, DRX
2ª planta	Mortero	PVM-IN-MP3	EVL, DRX

TABLA I. Relación de muestras estudiadas del Palacio Vázquez de Molina y técnicas de análisis llevadas a cabo en el estudio de cada una de ellas. EVL: Estudio visual-lupa; DRX: Difracción de rayos X; MOP: Estudio petrográfico; FTIR: Espectroscopia de absorción infrarroja.; FESEM: Microscopía electrónica de barrido.

RESULTADOS

Piedra

La *Piedra Dorada* del área de Úbeda-Baeza se puede considerar como una calcarenita, o en determinados casos como una arenisca calcárea. Se han estudiado muestras de distintas localizaciones del edificio (Tabla I). Se trata de una calcarenita de aspecto masivo que no presenta bandeado ni laminación. Su color puede variar entre el dorado, anaranjado y grisáceo. Tiene la apariencia de una roca coherente y compacta con una superficie de fractura irregular. Presenta una textura grano-soportada sin variaciones granulométricas importantes, con una fracción de terrígenos subangulosos de grano fino. Los bioclastos observados son de considerable tamaño (en comparación al resto de componentes de este material pétreo). Se diferencian foraminíferos tanto plantónicos como bentónicos, rodofitas y algún briozoo.

Aparentemente, es una roca poco porosa, bastante isótropa y homogénea en la que no se observan estructuras sedimentarias relevantes en muestra de mano. La mayor parte de la porosidad es debida a la pérdida de material o la ausencia de cemento calcáreo intergranular. También se observa porosidad intrapartícula.

Las muestras estudiadas mediante DRX y MOP presentan una composición química-mineralógica semejante: calcita y cuarzo como fases minerales mayoritarias (Fig. 2), ± filosilicatos (moscovita y glauconita), feldespatos, dolomita, ± halita y yeso. La glauconita es típica de este tipo de materiales rocosos, existiendo una correlación bastante clara entre la cantidad de glauconita presente en las láminas delgadas y el color anaranjado macroscópico de las muestras (Campos Suñol, 2011). En algunas de las muestras, el color verde característico de la glauconita se torna pardo-rojizo en función de su estado de oxidación.

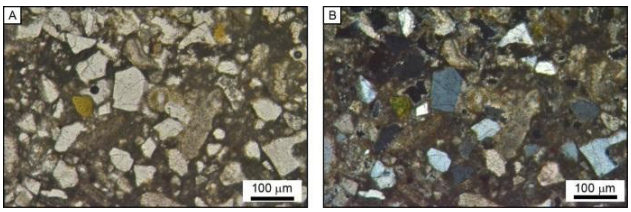


FIGURA 2. Microfotografías realizadas en un microscopio de luz transmitida con un solo polarizador (A) y con nicoles cruzados (B) en las que se observan los áridos presentes en la muestra, la mayoría de ellos de naturaleza silícea, aunque también se distinguen filosilicatos (en verde, glauconitas) y bioclastos (MOP, ×20, con analizador).

Morteros

Los morteros estudiados presentan una apreciable variabilidad composicional. Se pueden distinguir:

– Morteros de cal (PVM-S-M2, PVM-IN-MP4, PVM-IN-MP5 y PVM-O-M6) dosificados con una cantidad apreciable de áridos silíceos. En este tipo de morteros es normal encontrar grietas de retracción con formas irregulares y orientadas al azar, generadas durante la fase de secado. El estudio textural, morfológico y químico de la muestra PVM-S-M2 refleja la presencia de minerales metálicos de composición similar a la ilmenita y el rutilo, y fosfatos, los cuales podrían indicar la presencia de actividad biológica o de componentes orgánicos. En estos morteros, el aglomerante aparece como una masa de tamaño micrítico o microesparítico. La composición litológica de los áridos indica que la procedencia de los minerales de los componentes del mortero es la calcarenita autóctona. Los áridos están constituidos mayoritariamente por fragmentos subredondeados de grano fino de la propia *Piedra Dorada*: calcita (delos intraclastos y bioclastos), junto a cuarzo, feldespatos, ±moscovita, ±glauconita, ±dolomita y óxidos de hierro. Estos componentes son característicos de las calcarenitas de edad Tortoniense de la zona.

– Morteros de cal afectados por yeso de alteración (PVM-S-M3, PVM-IN-MP3).

– Mortero de yeso (PVM-S-M1). Está compuesto por finos cristales de yeso a los que se le ha añadido cal y cuarzo, que corresponde al árido. La cal (que está en baja proporción) tiende a producir grietas de retracción, pero este hecho es compensado por la expansión que experimenta el yeso al endurecer. Al contrario que los morteros de cal, el mortero de yeso no es un material totalmente compatible con la naturaleza calcarenítica de la *Piedra Dorada* (Bellanca *et al.*, 1999). Este mortero se localiza en una junta de la fachada sur, en la que sobre este mortero de "rejuntado" se aplicó otro de cal; este hecho resulta llamativo ya que por la escasa altura (menos de 1 m sobre el solado de la Plaza) resulta muy comprometido por la fácil y segura afección del agua con el yeso a esa altura. En cualquier caso, con total seguridad no es original dicho mortero.

– Mortero bastardo de cal y yeso (PVM-IN-M4).

– Morteros de revestimiento de cal cuya composición de los áridos son granos y partículas de feldespatos (PVM-IN-MR1 y PVM-IN-MR2)

Tapiales

Se tomaron dos muestras de tapial (Tabla I) situadas en la segunda planta del Palacio. Las diferencias composicionales quedaron claramente expuestas en el análisis de DRX. La muestra PVM-IN-T1 presenta una composición química-mineralógica dominada por la calcita y, en menor medida, se identifican el yeso y el cuarzo, detectándose trazas de filosilicatos, dolomita y feldespatos. En cambio, en la muestra PVM-IN-T2 el yeso es el componente mayoritario, acompañado de calcita, dolomita y cuarzo a nivel de trazas este último mineral.

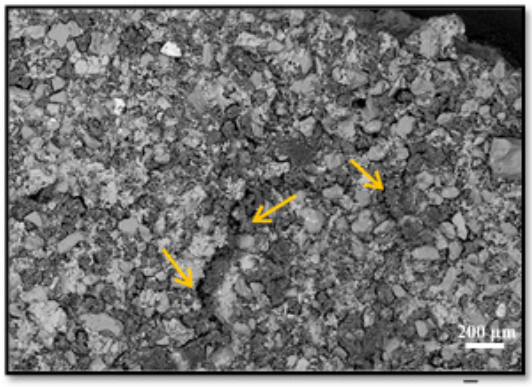


FIGURA 3. Fotografía realizada a un fragmento de la muestra PVM- O-C3 en el microscopio electrónico de barrido en la que se muestra una fractura perpendicular a la superficie (flechas).

Costra

Se recogió una muestra de costra negra sobre piedra (Tabla I) en la que se realizó una primera observación mediante EVL. Tras el análisis realizado mediante FESEM-EDX se pudo observar una superficie de agregados micrométricos cuya composición elemental principal es la calcita, y en menor proporción, el cuarzo, óxidos de hierro y filosilicatos. Cabe destacar la existencia de microfisuras perpendiculares (Fig. 3) a la superficie del fragmento, característica que únicamente se ha podido observar en esta muestra. La

detección de fosfatos indica la presencia de actividad biológica o de componentes orgánicos.

Eflorescencias salinas

Se tomaron cuatro muestras de sales, dos de la fachada norte (PVM-N-S1 y PVM-N-S2) y otras dos de la zona interna del Palacio (PVM-IN-S3 y PVM-IN-S4), cuyas diferencias composicionales son mínimas (Fig. 4).

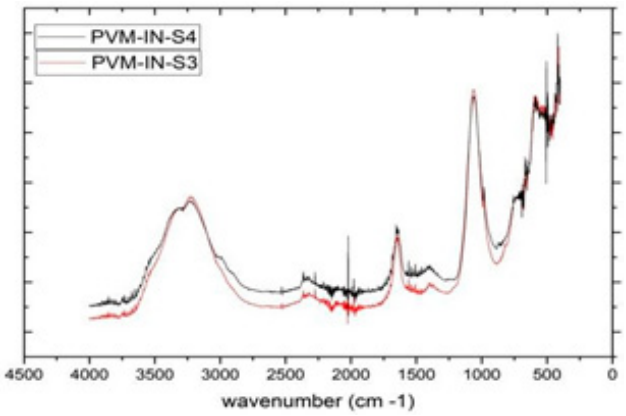


FIGURA 4. Espectro FTIR comparativo de las muestras procedentes del interior del palacio (PVM-IN-S4 y PVM-IN-S3).

El sulfato magnésico (hexahidrita) es la sal que se identifica con más frecuencia y en mayores cantidades en las eflorescencias estudiadas. Este sulfato soluble se considera una sal muy dañina que juega un papel relevante en el deterioro de la piedra (López-Arce *et al.*, 2009).

Este sulfato aparece acompañado de trazas de otras sales como el sulfato sódico hidratado (mirabilita, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) y sin hidratar (thenardita, Na_2SO_4), con las que pueden intensificar mediante una sinergia el efecto dañino sobre la piedra. El sulfato sódico, no se encuentra en cantidades apreciables, pero su intervención incluso a nivel de traza se considera dañino. La presencia de thenardita en este estudio es excepcional, únicamente en la muestra PVM- N-S2, por lo que el daño causado por el sulfato sódico no puede atribuirse únicamente a los ciclos de hidratación-deshidratación de estas dos sales de sodio sino a la presión de cristalización de la mirabilita.

La procedencia de los iones de calcio, magnesio y sodio que entran a formar parte de estas sales sulfatadas podría ser de la propia arena de los morteros ya que la *Piedra Dorada* contiene calcita y dolomita, o bien del uso de cemento portland en intervenciones pretéritas del palacio, sobre todo en el caso del sodio (se ha encontrado halita en dos muestras de mortero y otra de piedra, en cantidades casi inapreciables) y magnesio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los materiales pétreos estudiados pertenecen a la denominada *Piedra Dorada*, que petrológicamente corresponde a una calcarenita o arenisca calcárea. El color dorado de esta roca así como las variaciones en su tonalidad se atribuyen a la presencia de glauconita y óxidos de hierro en diferentes estados de oxidación. Los granos de la roca están unidos por un cemento calcítico esparítico cuyas proporciones determinan que la piedra sea del tipo *franca o viva* de acuerdo con la denominación de la zona. Ambos tipos están presentes en el edificio. En general, se observa que la piedra *viva* se sitúa en las zonas bajas del edificio mientras que la piedra *franca* domina en alturas superiores; aunque su distribución en el palacio, a simple vista, es más aleatoria. Esta disposición viene justificada por las diferencias en la porometría entre estos dos tipos de piedra; menor porosidad accesible pero muy alta microporosidad de la variedad *viva* frente a notable mayor volumen de poros, de carácter macroporos, de la *franca*.

La mayoría de los morteros estudiados son de cal, algunos de ellos con presencia de yeso de alteración, excepto en dos muestras que se empleó el yeso como único conglomerante (fachada Sur; S-M1) o de manera dominante (tapial, 2ª planta; IN-T2). Los áridos están constituidos mayoritariamente por fragmentos subredondeados de grano fino de la propia *Piedra Dorada*. Únicamente se salen de este patrón los morteros de revestimiento del interior MR1 y MR2 que contienen áridos fisurados silíceos sin presencia de bioclastos. Atendiendo a criterios de uso, la cal se ha utilizado durante siglos como el aglomerante de morteros de fábrica y de revestimiento en los edificios históricos. Por ello, se puede pensar que la mayoría de los morteros estudiados son originales. Sin embargo, en muchas restauraciones posteriores se vuelven a emplear, de acuerdo con el patrón de mezcla primitivo, obteniendo morteros totalmente compatibles con las características químico-mineralógicas de la *Piedra Dorada*.

A partir de los estudios con muestras de eflorescencias salinas, se constata la existencia de sales solubles de composición dominante sulfato-magnésicas con diferentes estados de hidratación, también de sulfatos de sodio (thenardita y mirabilita), sulfatos de calcio (yeso, de alteración) y cloruro sódico (halita), esta última en mínimas cantidades. Estas sales solubles sometidas a frecuentes fluctuaciones de las humedades (sobre todo de ascensión capilar en las fábricas) experimentan ciclos de expansión y contracción cristalina que causan esfuerzos tensionales en los poros y fisuras de la piedra y morteros. Este proceso se agudiza por las dilataciones y contracciones térmicas de los cristales, sobre todo de calcita, de las superficies externas de los materiales del palacio. Estos ciclos sucesivos son los responsables de la arenización y desplacados de los elementos ornamentales pétreos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Grupo de Investigación RNM-179 de la Junta de Andalucía y el Proyecto de Investigación MAT-2016-75889-R, y TESELA, Materiales, Innovación y Patrimonio S.L.

REFERENCIAS

Bellanca, A., Curcuruto, E., Lo Bue, S. y Neri, R. (1999): Petrography, geochemistry and historical references to use Pliocene calcarenites (Pietra di Sabucina), central Sicily. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 42: 193-210.

Campos Suñol, M.J. (2011): *La Piedra Dorada en Úbeda y Baeza. Caracterización y procesos de alteración*. Tesis doctoral. Univ. de Jaén, 346 p.

Casadio, F., Chiari, G. y Simon, S. (2005): Evaluation of binder/aggregate ratios in archaelogical lime mortars with carbonate aggregate: A comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches. *Archaeometry*, 47-4: 67-689.

López-Arce, P., Doehne, E., Martin, W. y Pinchin, S. (2008): Magnesium sulphate salts and historic building materials: Experimental simulation of limestone flaking by relative humidity cycling and crystallization of salts. *Materiales de Construcción*, 58: 125-142.

Caracterización mineral de rocas carbonatadas ornamentales mediante espectroscopía de reflectancia de campo: un ejemplo en dolomías masivas del Cenomaniense (Yecla, Murcia)

Mineral characterization of carbonate ornamental rocks through field reflectance spectroscopy: an example in Cenomanian massive dolostones (Yecla, Murcia)

A. Espín de Gea[1], E. García-Meléndez[2], M. Reyes[1], M. Ferrer-Julià[2] y E. Colmenero-Hidalgo[2]

1 Unidad Tecnológica Geológico-Minera del Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM). Ctra. de Murcia s/n. 30430, Cehegín (Murcia). antonio.espin@ctmarmol.es

2 Grupo de Investigación Geología Ambiental, Cuaternario y Geodiversidad (Q-GEO), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León. egarm@unileon.es

Palabras clave: Teledetección, espectroscopía, cociente de bandas, tratamiento digital de imágenes, mineralogía.

Resumen

Mediante técnicas de espectroscopía de reflectancia de campo y petrográficas se ha determinado la variabilidad composicional de un sector de una cantera de roca ornamental correspondiente a la denominada comercialmente como *Marrón Imperial*, perteneciente a dolomías masivas oscuras de edad Cenomaniense, localizadas dentro de la Transversal Montañosa Jumilla-Yecla en la Sierra de la Magdalena (oeste de Yecla). Mediante el estudio petrográfico y de campo se ha podido determinar que estas dolomías tienen aspecto de brecha, debido a procesos de dolomitización posteriores a la formación de la roca. Están atravesadas por venas rellenas de calcita de color blanco, presentando también zonas amarillentas porosas con inclusiones de materia orgánica y sulfuros que provocan cambios reconocibles de visu en la textura. La caracterización espectral sobre la base de 25 medidas tomadas en campo apoya las observaciones petrográficas y ha permitido diferenciar tres conjuntos de respuesta espectral con calcita y óxidos de hierro, dolomita y óxidos de hierro y dolomita con escasas impurezas, mostrando su distribución espacial en un frente de cantera y la evaluación de la roca para su potencial uso ornamental.

Abstract

Field reflectance spectroscopy and petrographic analysis were used to determine the mineralogical composition of the so called Marrón Imperial ornamental rock, formed by Cenomanian massive dolostones located in the Sierra de la Magdalena, in the Jumilla-Yecla transversal mountains (West of Yecla). The field and petrographic study show that these dolostones have a breccia appearance due to dolomitization processes occurred after the rock formation. The dolostones are crossed by white calcite veins with yellowish and porous areas characterized by the presence of organic matter and sulfides provoking recognizable textural changes in visu observations. For the spectral analysis, 25 measures were sampled in the field and the results support the petrographic observations, allowing the differentiation of three spectral groups. These groups are characterized by the presence of calcite with iron oxides, dolomite with iron oxides and dolomite with scarce mineral impurities, showing their spatial distribution in the quarry front and the rock evaluation for its potentially ornamental use.

Financiación: Trabajo financiado por el proyecto ESP2017-89045-R del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Investigación mediante técnicas geofísicas y escáner 3D para el conocimiento de los detalles constructivos y estado de conservación de los materiales presentes en el Puente de los Peligros, Ciudad de Murcia

Research using geophysical techniques and a 3D scanner for knowledge of the construction details and conservation status of the materials present in the "Puente de los Peligros", City of Murcia

A. Espín de Gea[1], M. Reyes Urquiza[1], A. Gil Abellán[1], A. García Fernández[1], J.A. Blanco Barquero[2], R. Murcia Crespo[3]

1 Ud. Tecnológica Geológico-Minera. Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales. Ctra. de Murcia s/n. 30430 Cehegín (Murcia). antonio.espin@ctmarmol.es;monica.reyes@ctmarmol.es; antonio.gil@ctmarmol.es; antonio.garcia@ctmarmol.es.
2 Jefe de Área de grandes infraestructuras. Ayuntamiento de Murcia. Glorieta España, 1. 30004 Murcia. aytomu@ayto-murcia.es
3 Director General de CEICO, S.L. Ctra. Nacional 301 km. 397,900 MD (frente gasolinera. Juan José Albarracín. 30100 Murcia. ceico@ceico.es

Resumen: El Excelentísimo Ayuntamiento de Murcia necesitaba conocer el estado de conservación y la geometría del subsuelo del Puente de Los Peligros o Puente Viejo, debido a la aparición de unas grietas en la calzada que hacían sospechar la existencia de asientos diferenciales en esa zona del puente. Lo primero fue conocer su estado mediante imágenes y nubes de puntos de gran calidad con Escáner 3D, obteniendo un modelo preciso. En una segunda etapa se usó georradar, con antenas de baja frecuencia para analizar desde la superficie hasta por debajo del cimiento de la pila central y en una tercera fase se ha estudiado la bóveda oculta, donde se han realizado perfiles con antenas de alta frecuencia para detectar el origen de las grietas en la superficie, obteniéndose radargramas que nos han permitido determinar su buena calidad con ausencia de grietas y zonas de alteración que pudieran debilitar el sillar y de paso, la estructura de la bóveda. En una cuarta fase se ha estudiado el Arco Norte, donde se han determinado los detalles constructivos y su grado de meteorización, ya que, a simple vista, se observan degradaciones que dieron lugar al desprendimiento de un pequeño trozo hace unos años.

Palabras clave: Puente, escáner 3D, georradar, radargrama, sillar

Abstract: *The City Council of Murcia needed to know the state of conservation and the geometry of the subsoil of the "Puente de Los Peligros" or "Puente Viejo", due to the appearance of cracks in the road that made suspect the existence of differential seats in that area of the bridge. A first was to know its status through images and clouds of high-quality points with 3D Scanner, obtaining precise model. In a second stage the georradar was used, with low frequency antennas to analyse from the surface to below the foundation of the central stack. In a third phase the hidden vault has been studied, where profiles have been made with high frequency antennas to detect the origin cracks on the surface, obtaining radargrams that have allowed us to determine its good quality with the absence of cracks and areas of alteration that could weaken the ashlar and in passing, the structure of the vault. In a fourth phase, North Arc has been studied, where the construction details have been determined, as well as the degree of weathering, since, at first glance, degradations are observed that resulted in the detachment of a small piece a few years ago.*

Keywords: *bridge, 3D scanner, GPR, radargram, block of stone.*

INTRODUCCIÓN

El Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, en lo sucesivo (CTM) desde su creación en 1996 lleva trabajando en la mejora de la investigación tecnológica en el sector de la roca ornamental en España. Las empresas asociadas al CTM, se han beneficiado de las innovaciones e investigaciones realizadas por el CTM en estos años. Una de las líneas por las que el CTM ha apostado desde el principio ha sido incorporar las últimas tecnologías en el campo de la conservación del patrimonio por lo que el estudio del Puente Viejo o Puente de Los Peligros de Murcia ha sido un buen campo de trabajo para demostrar la viabilidad y la utilidad de combinar escáner 3D con un método geofísico de auscultación como el georradar.

El Puente de los Peligros o Puente Viejo (Fig. 1) se encuentra en el centro de Murcia, y forma parte del paisaje de la ciudad desde el siglo XVIII. Empezó a construirse en 1718 y se terminó en 1742. Fue construido tras la destrucción del antiguo Puente de Alcázar en 1701, es uno de los monumentos más emblemáticos de Murcia.

Las obras fueron iniciadas en 1718 por el arquitecto Martínez de la Vega y en 1739 la dirección pasó a Jaime Bort, que añadió las actuales claves y el templete con la Virgen de los Peligros. Esta obra sigue actualmente en uso por parte de los transeúntes que lo cruzan diariamente y que ha resistido desde su construcción, las intensas riadas del río Segura.



FIGURA 1. A) Imagen de Google Earth del Puente de los Peligros o Puente Viejo y B) Foto CTM.

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

CEICO, S.L., solicitó los servicios del CTM para realizar un estudio en el Puente de los Peligros o Puente Viejo de la ciudad de Murcia con el objetivo principal de conocer su estado de conservación. El porqué de esta petición radica en la aparición de unas grietas en el pavimento del puente, en la zona Sur, hacia el barrio del Carmen, a la altura de las escaleras que bajan al nivel inferior. La empresa contratista tenía sospechas acerca de los motivos de la aparición de dichas grietas, sobre todo cuando en el estudio que realizaron en 2016 se encontró una antigua bóveda que había sido cerrada y donde tenía origen el problema, por lo que solicitó los servicios del CTM para realizar un estudio no invasivo del interior del puente y de la bóveda, mediante técnicas geofísicas no destructivas.

METODOLOGÍA

Lo primero fue efectuar un control de movimientos de los componentes a lo largo del tiempo mediante un escaneo 3D a gran resolución de todo el puente para posteriormente, en sucesivas etapas temporales, realizar otros escaneos y poder llevar a cabo una comparativa precisa de sus cambios y así, poder acometer las actuaciones oportunas para corregirlos (Espín *et al.*, 2015).

Por las características de la zona de estudio y los objetivos perseguidos, se determinó que la técnica más apropiada para auscultar el puente era el georradar. Se analizó todo el puente desde la superficie hasta por debajo de la cimentación de la pila con las antenas de más baja frecuencia. La antena de 250 MHz no alcanzó la base del puente, pero sí la de 25 MHz, con menor resolución, que dio trazas de la geometría de los laterales del puente. Se ha estudiado la bóveda con antenas de 800 MHz, 1,6 y 2,3 GHz, detectando la línea de sillares del techo, observando sus características y comprobando la existencia de relleno por encima hasta la calle y también se ha estudiado el suelo, llegando a detectar el grosor de los sillares y su calidad. Con las antenas de 800, 500 y 250 MHz también se ha estudiado el denominado arco norte, donde se han analizado los detalles constructivos de este arco y su grado de meteorización, ya que a simple vista se observan alteraciones en la roca importantes y ha permitido detectar las diferentes líneas de sillares que componen el citado arco y su mayor alteración que los de la bóveda interior, dando lugar hace unos años al desprendimiento de un pequeño trozo.

DATOS Y RESULTADOS

Se ha realizado el escaneo (Fig. 2) para cubrir varios objetivos importantes del proyecto; 1º) ha sido tener una imagen digital 3D en detalle del puente, como herramienta para localizar zonas del puente que presentan alteración importante o incluso falta de algunos sillares; 2º) utilizar dicho modelo para situar los estudios no destructivos a realizar, algo que es fundamental para visualizar e interpretar los resultados; 3º) un control en el tiempo de posibles movimientos.



FIGURA 2. Imagen del interior de la bóveda junto con escáner 3D y estación total para realizar la georreferenciación del proyecto.

El escaneo del Puente de los Peligros o Puente Viejo empezó en la bóveda situada debajo de la hornacina de la Virgen de los Peligros con el escaneo 1 (Fig. 2). El trabajo ha sido georreferenciado en coordenadas absolutas, obteniendo a partir de dos puntos base, obtenidos y ubicados en el terreno mediante la red GNSS MERISTEMUM

(Dirección General de Medio Ambiente) en proyección UTM ETRS89 ZONA 30 y geoide EGM2008 REDNAP del IGN. A partir de estos puntos base y mediante estación total se han ido tomando las posiciones de las dianas utilizadas para la unión de los distintos escaneos y su corrección (Fig. 3).



FIGURA 3. Conjunto de escaneos realizados unidos y en coordenadas absolutas.

Tras la realización de esta fase se continuó con la utilización del georradar, es un método electromagnético que consiste en la emisión de pulsos de alta frecuencia por parte de una antena emisora y su posterior recepción, tras las reflexiones sufridas en el subsuelo, en una antena receptora.



FIGURA 4. Momento de la toma de datos en la superficie del puente con la antena de 25 MHz.



FIGURA 5. Momento de la toma de datos en la bóveda con la antena de 800 MHz.

Se han diferenciado tres zonas: superficie del puente, bóveda interior y arco norte. En la primera de ellas, la superficie del puente (Fig. 4), se han efectuado sobre la calzada perfiles transversales y longitudinales con las antenas de 800 MHz, 500 MHz, 250 MHz y 25 MHz. En la bóveda interior (Fig. 5) se han realizado perfiles tanto en el suelo, paredes y el techo con las antenas de 2.3 GHz, 800 MHz, 500 MHz y 250 MHz.

En total se realizaron 241 perfiles: 176 perfiles transversales y longitudinales sobre la superficie de la calzada y 65 perfiles en la bóveda interior. En la bóveda interior, se efectuaron sobre el suelo, las paredes y el techo, tanto longitudinal como transversal. El trabajo sobre la calzada se realizó por la noche.

Otra zona importante ha sido el arco norte donde se han realizado 16 perfiles, llevándose a cabo mediante la utilización de una grúa cesta (Fig. 6).



FIGURA 6. Momento de la toma de datos en el arco norte del puente con la antena de 250 MHz.

Una vez medidos todos los perfiles, es necesario procesar los datos con el objetivo de resaltar las anomalías que se producen por contraste en las propiedades electromagnéticas del medio. El procesado consiste en la aplicación de una serie de filtros y operaciones matemáticas que buscan eliminar o minimizar en la medida de lo posible el ruido y resaltar la señal; en definitiva, mejorar la relación señal/ruido para que en la imagen resultante podamos identificar las anomalías que corresponden a alteraciones de la roca (Bares y Luetsher, 2001).

En el procesado es importante la conversión de los tiempos de llegada de la señal en valores de profundidad. Para calcular la velocidad aproximada de las ondas electromagnéticas en el material de la bóveda se aprovechó un bloque de arenisca que se había desprendido cuya altura era de 40 cm. Se realizó un perfil con la antena de 800 MHz y se hizo coincidir las reflexiones correspondientes al final del bloque con la profundidad de 40 cm, obteniéndose una velocidad de 0.1 m/ns (Ercoli, 2009).

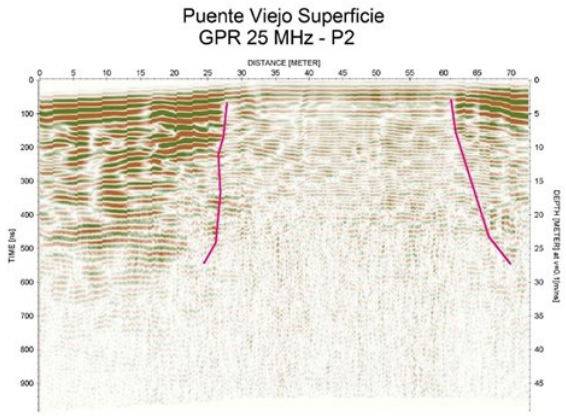


FIGURA 7. Radargrama interpretado obtenido con la antena de 25 MHz.

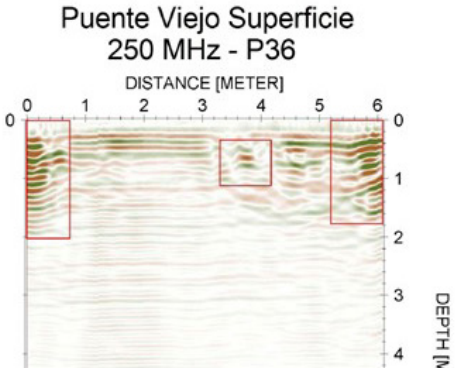


FIGURA 8. Radargrama y anomalías obtenido con la antena de 250 MHz.

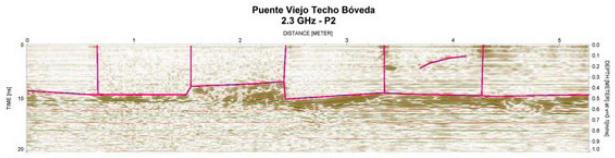


FIGURA 9. Radargrama interpretado obtenido con la antena de 2,3 GHz con la distribución de los sillares.

Hay que señalar que esta velocidad puede variar con la frecuencia de la antena y con los cambios en el material, por lo que pueden existir algunas variaciones, sobre todo en los perfiles de la superficie del puente, donde el material de relleno es bastante heterogéneo, no pudiéndose asignar un valor real constante de velocidad (Fig. 7).

Con esta metodología se han obtenido y analizado los distintos radargramas con cada una de las antenas mencionadas. Estos han sido interpretados e incorporados a un modelo 3D, donde se han representado todas las anomalías detectadas y fundamental para la interpretación.

CONCLUSIONES

Una vez procesados y analizados todos los perfiles de georradar (Fig. 8 y 9), se puede decir que los objetivos perseguidos se han alcanzado. Se ha detectado una tubería de 200 mm que ha quedado perfectamente definida, y también dos anomalías a ambos lados del puente que no podemos precisar su naturaleza. Se ha comprobado que los rellenos que se encuentran hacia el Barrio del Carmen son menos compactos que los ubicados hacia la Gran Vía. Se ha podido detectar también, dentro de estas anomalías, pequeñas zonas correspondientes a pavimento de adoquín antiguo que se encuentra debajo del asfalto.

Con respecto a la bóveda, se ha estudiado el suelo, llegando a detectar perfectamente la presencia de los sillares y su profundidad, constatando que los materiales que se encuentran por debajo de los sillares son rellenos y que se encuentran menos compactados conforme nos acercamos hacia el fondo de la bóveda, llegando a detectar reflexiones muy marcadas a más de 2 metros de profundidad, coincidiendo donde la bóveda está más deformada y se han perdido sillares. Viendo el modelo 3D (Fig. 10), desde la superficie se puede observar en la zona del fondo de la bóveda, que la forma de la anomalía detectada e interpretada es mayor y con una forma característica de deslizamiento compatible con movimiento de hundimiento. En el techo excepto en un sillar, en el que se ha detectado una fractura, todos los demás tienen unos radargramas limpios por lo que tienen buena calidad con ausencia de grietas y zonas de alteración masiva que pudieran debilitar el sillar y de paso la estructura por lo que queda descartada esta causa.

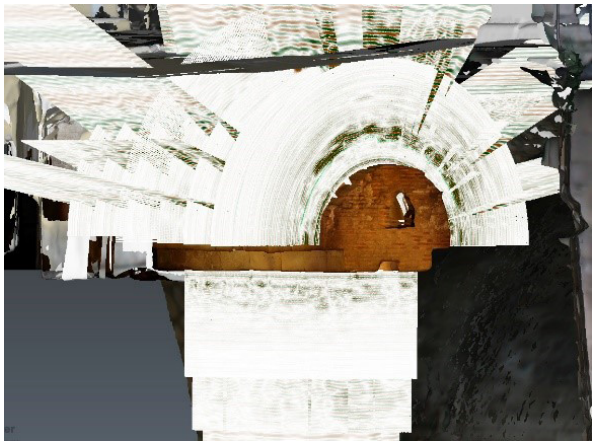


FIGURA 10. Modelo general final en 3D con radargramas interpretados en la bóveda.

En cuanto a la zona de estudio denominada arco norte, se han identificado dos líneas de sillares, una a los 60 cm de profundidad y otra segunda línea a 1.20 m de profundidad. Estos sillares presentan más anomalías que los de la bóveda interior, algo lógico si pensamos que están sometidos a la acción de los agentes atmosféricos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado gracias a la empresa CEICO S.L. y al Excelentísimo Ayuntamiento de Murcia.

Les agradecemos la confianza depositada y su disposición facilitada para el buen desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

Bares, M. y Luetsher, M (2001): Integration of ground penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves. *Journal of Applied Geophysic* 46, 249-262.

Ercoli, M. (2009): Detection of fractures and cavities using GPR in an active quarry. En: *5th International Workshop IWAGPR 2009, Granada,* 36-39.

Espín, A., Gil, A. y Reyes, M (2015): Modelización tridimensional mediante escáner 3D y tomografía eléctrica de alta resolución en Cueva Victoria I. *Mastia*, Cartagena, 127-137.

Estado actual y conservación de las fachadas y los torreones del edificio histórico de la Escuela de Minas y Energía de Madrid

Current state and conservation of façade and towers of the historic building of the School of Mining and Energy of Madrid

M. Esteban Benito[1], J. L. Parra y Alfaro[1], D. A. Martín Sánchez[1], L. F. Mazadiego Martínez[2] y B. Calvo Pérez[3]

1 Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera, ETS de .Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Rios Rosas, 21. 28003 Madrid. miriam_e_b@hotmail.com, joseluis.parra@upm.es; domingoalfonso.martin@upm.es

2 Dpto. de Energía y Combustibles, ETS de .Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Rios Rosas, 21. 28003 Madrid. luisfelipe.mazadiego@upm.es

3 IGE&MINAS, Instituto Gemológico Español-Fundación Gómez Pardo. Alenza, 1. 28003 Madrid. benjamin.calvo.perez@yahoo.es

Resumen: En 1883 el Ministerio de Fomento encargó al famoso arquitecto burgalés Ricardo Velázquez Bosco el diseño del edificio de la nueva sede de la escuela de ingenieros de Minas de Madrid, actualmente integrada en la Universidad Politécnica de Madrid. La inauguración tuvo lugar en 1896. En este artículo se parte de la investigación de los significativos antecedentes históricos del monumento y de sus relevantes características arquitectónicas y constructivas. En segundo lugar, se desarrolla una exhaustiva metodología que permita valorar el grado de alteración que sufren los materiales del edificio y los procesos de degradación que intervienen para poder proponer las acciones correctivas necesarias. El estudio señala la necesidad de plantear las labores destinadas a la conservación, para detener los procesos de degradación antes de proceder a la restauración. Pues de no ser así, no sólo sería inútil sino que podría agravar el estado del monumento con el paso de los años.

Palabras clave: Minas, Madrid, conservación, Velázquez Bosco, piedra

Abstract: *In 1883 the Ministry of Development commissioned the famous architect Ricardo Velázquez Bosco from Burgos the design of the building of the new headquarters of the Mining engineering school in Madrid, currently integrated into the Polytechnic University of Madrid. The inauguration took place in 1896. This article starts with the investigation of the significant historical background of the monument and its relevant architectural and constructive characteristics. Secondly, an exhaustive methodology has been developed in order to assess the degree of alteration suffered by the building materials and the degradation processes involved with the aim of proposing the necessary corrective actions. The study points out the need to propose conservation works with the aim of stopping the degradation processes before proceeding with the restoration. Otherwise, the conservation works would be not only useless, but they could also aggravate the state of the monument over the years.*

Keywords: *Mining, Madrid, conservation, Velázquez Bosco, stone*

INTRODUCCIÓN

La relevancia de este estudio sobre el edificio de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, diseñado por el arquitecto Velázquez Bosco, estriba en la importancia de la preservación de la huella cultural en dos aspectos. En primer lugar, el monumento, construido a partir de 1883, constituye parte de la memoria de un gremio, manteniendo el edificio la misma función para la que fue proyectado. En segundo lugar, se trata de un monumento arquitectónico declarado Bien de Interés Cultural con un alto valor patrimonial, debido a sus cualidades arquitectónicas.

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio actualmente consta de dos plantas y un sótano (Repullés y Vargas, 1897). Presenta planta rectangular, de 48 x 33 m, con cuatro pabellones salientes en las esquinas coronados por cuatro torreones y un cuerpo de entrada un poco más prominente en el centro de la fachada principal, que está orientada al sur. La planta está conformada por crujías perimetrales y otras más estrechas en torno a un patio central, con dos plantas de arquerías montadas sobre finas columnas de fundición y cubierto por una montera metálica acristalada. La ornamentación escultórica de los torreones es muy rica, con estatuas de figuras mitológicas.

ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y MATERIALES

El zócalo del edificio está compuesto por dos hiladas de sillares graníticos. La parte de la fachada que se corresponde con la planta baja se compone a base de una modulación clásica de huecos entre paños de fábrica de ladrillo blanco formando almohadillados y está rematada por una cornisa de piedra caliza de gran vuelo.

La planta principal arranca con un basamento con zócalo y remate de piedra caliza, formando en los pabellones y en el pórtico central balaustradas con montantes o balaustres de piedra artificial y alma metálica. Exceptuando los de la fachada norte, los huecos de esta planta presentan arcos de medio punto realizados con ladrillo aplantillado, siendo de caliza tanto los arranques como las claves. Los huecos de esta planta están flanqueados por columnas jónicas. En las esquinas de los pabellones, las pilastras en piedra caliza resaltan los volúmenes ligeramente adelantados de tales cuerpos. Entre las pilastras de la fachada principal se encuentran algunas decoraciones de piezas cerámicas. Los entrepaños son de tipo pétreo en el cuerpo central de la fachada principal y de fábrica de ladrillo en tono rojizo en el resto. Las semicolumnas de la fachada posterior son de hierro fundido. El cornisamento de remate está conformado por un arquitrabe, un friso y una cornisa de piedra, que se interrumpe en la fachada norte. En correspondencia de los huecos de los pabellones, se encuentran unos frontones por encima de la cornisa.

Los torreones de bóveda esquifada se apoyan sobre un basamento formado con zócalo y remate de piedra artificial. Estos torreones están adornados con figuras escultóricas de piedra artificial.



FIGURA 1. Escuela de Ingenieros de Minas (1917).

En algunos casos, los materiales citados anteriormente empleados en la construcción del edificio son de tipo local, como la caliza de Colmenar (depósitos de origen lacustre y edad Miocena situados en el Sureste de Madrid), y el granito (todas aquellas rocas ígneas de composición granítica o granodiorítica, extraídas en el área de la sierra madrileña, se encuadran bajo el nombre de *piedra berroqueña*). Otros materiales no son locales, como la piedra procedente de Novelda que irrumpió con éxito en la capital a finales del siglo XIX con la construcción del ferrocarril y su gran facilidad de labra (la Iglesia *et al.*, 1998). En particular en el monumento se usó la piedra de las canteras de La Romana, siempre bajo la denominación de piedra de Novelda.

En el edificio se usó ladrillo recocho en dos colores, blanco y rojizo. Responde a las características de fabricación de este tipo de material en el siglo XIX. En las fachadas presenta colocación casi a hueso.

La piedra artificial empleada en el edificio y concretamente en los torreones, ha sido desde el inicio del proyecto uno de los puntos débiles y problemáticos de éste. Su uso representó un ejemplo de vanguardia debido al empleo de los nuevos materiales en la arquitectura, piedra artificial y la reproducción de piezas en serie, a través del modelado.

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Para enfrentar racionalmente el tratamiento a aplicar para la conservación y la restauración del edificio se ha realizado una serie de estudios cuyo conjunto ha proporcionado una imagen de la problemática que hay que afrontar. Los estudios llevados a cabo son los siguientes: estudio histórico, estudio arquitectónico, análisis del entorno y estudio climático, análisis de la patología constructiva, estudio de los materiales (ver técnicas de caracterización empleadas y toma de muestras en la Tabla I).

Tipo muestra	Técnica empleada
Piedra de Novelda	Microscopía óptica Porosimetría de Hg Parámetros hídricos Fluorescencia de RX Microscopía electrónica
Piedra de Colmenar	Microscopía óptica Porosimetría de Hg Parámetros hídricos Fluorescencia de RX Microscopía electrónica
Granito	Microscopía óptica Porosimetría de Hg Parámetros hídricos Fluorescencia de RX Microscopía electrónica
Ladrillo rojo	Microscopía óptica FRX RX
Ladrillo blanco	Microscopía óptica FRX DRX
Piedra artificial	Microscopía óptica FRX DRX

TABLA I. Estudio de materiales (total: 10 muestras)

Para la cuantificación y descripción de las alteraciones (Alcalde y Villegas, 2003) presentes en los materiales del edificio, se ha seguido un método consistente en la cartografía, mediante fotografías, de las lesiones y la valoración de los procesos de degradación, dividiendo la superficie en diferentes grados o niveles de deterioro.

DIAGNÓSTICO

La alteración de los materiales es consecuencia de las distintas y sucesivas fases que presenta un fenómeno de degradación, produciendo cambios que afectan sólo al estado de agregación del material, sin cambio sustancial

en su naturaleza, o bien generando modificaciones en su composición (Alcalde y Villegas, 2003).

La causa más señalada de patologías en los materiales de la fachada del edificio y los torreones es la deficiente evacuación de las aguas de escorrentía. Dicha escorrentía circula inadecuadamente y, como consecuencia, ha provocado lesiones en los materiales a lo largo del tiempo transcurrido desde su construcción.

Por tanto, se pueden identificar los siguientes procesos de degradación: escorrentía, salpicaduras desde goterones, filtraciones en los goterones, intemperismo en las zonas de coronación y ataques por sales y heladas en las zonas superiores.

Los diferentes procesos de degradación que se han evidenciado, si bien son lentos, tienden a mostrar un desarrollo exponencial, sobre todo en la piedra de Novelda (Fort González *et al.*, 2002) y la piedra artificial. Una vez producidas las primeras lesiones, estás canalizan las lesiones posteriores y los procesos se intensifican.

PROPUESTA DE RESTAURACIÓN

El edificio ha sufrido muchas restauraciones y no todas tienen la misma importancia como para conservarlas. Por esta razón, se recomendará un método diferente de limpieza, por ejemplo, para los ladrillos de las fachadas que para los torreones o una mayor carga de hidrofugante en los aleros, cornisas y salientes, mientras que en las zonas más descompuestas se acudirá a una mayor consolidación.

Por tanto, la metodología de tratamiento se basa en los estudios realizados para redactar este documento, en especial en el dedicado a la descripción de los procesos de alteración presentes y su intensidad, así como en los estudios históricos, tanto de los materiales como de la arquitectura actual del edifico.

Los puntos a tratar para la conservación son los siguientes: actuaciones sobre el entorno, actuaciones sobre la patología del edificio, saneado y sellado de fisuras y juntas, saneado de morteros inadecuados de reconstrucción y recomposición de faltantes con mortero adecuado, sustitución de piezas, desalación y saneamiento de las zonas correspondiente, limpieza general y específica, consolidación de las zonas que lo requieran, veladuras y protección hidrofugante de zonas específica y sustitución de las cubiertas de los torreones,

La anulación del efecto de estas patologías, devolviendo a los elementos de fachada su función original de protección, es la parte fundamental de la intervención.

Además, y de acuerdo con la doctrina internacional de conservación del patrimonio, la intervención debería ser la mínima imprescindible para garantizar la buena conservación del monumento en el estado en que hoy día se encuentra. Sin embargo, se admiten recomposiciones o reposiciones, cuando se encuentre bien documentado el elemento desaparecido y se señale de alguna manera que no es original.

REFERENCIAS

Alcalde Moreno, M. y Villegas Sánchez, R. (2003): Indicadores de alteración de los Materiales Pétreos. En: *Metodología de Diagnóstico y la Evaluación de Tratamientos para la Conservación de los Edificios Históricos* (E.M. Sebastián Pardo y Villegas Sánchez, R. coords.) Ed. Comares, Granada, 1: 58-71.

Fort, R., Bernabéu, A., García del Cura, M.A., López de Azcona, M.C., Ordóñez García, S. y Mingarro, F. (2002): La piedra de Novelda: una roca muy utilizada en el patrimonio arquitectónico. *Materiales de construcción*, 52 (266): 20-32.

la Iglesia, A., García del Cura, M.A., Ordoñez, S. y Bernabéu, A. (1998): Estudio de los filosilicatos de la "Piedra Bateig" (Neógeno de la provincia de Alicante). *Geogaceta*, 23: 79-82.

Repullés y Vargas, E.M. (1897): *Escuela de Ingenieros de Minas y laboratorio de Gómez Pardo* Monografía.34 p.

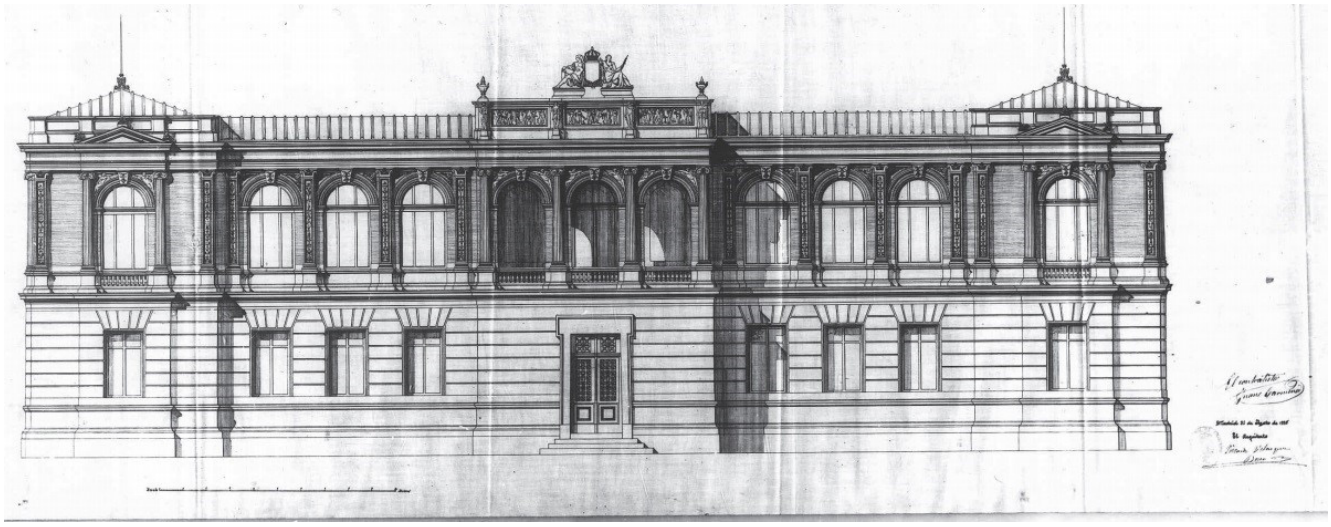


FIGURA 2. Ejemplo de plano original de fechada de Velázquez Bosco.

La cantera histórica, un recurso geológico para el desarrollo de las políticas turísticas en zonas rurales. El caso de San Ciprián (Lugo)

Historical quarry, a geological resource for the development of tourism policies in rural areas. The case of San Ciprian (Lugo)

J. Fernández Suárez[1], E. Álvarez Areces[2], J. Martínez-Martínez[2] y J.M. Baltuille Martín[2]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

Resumen: La localización y caracterización de las Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico, dentro del proyecto INCHaPA del Instituto Geológico y Minero de España, permite su utilización en el marco del desarrollo de las iniciativas turísticas de localidades rurales. Aumenta la oferta de ocio, permite el disfrute de la Naturaleza y proporciona un conocimiento de la geología del entorno. En los últimos años la puesta en macha de "A Ruta das Canteiras" en la localidad de San Ciprián (Cervo, Lugo, Galicia) supone el reconocimiento de las actividades de cantería histórica y la utilización de las rocas en la construcción de los monumentos y otras edificaciones. La incorporación de un elemento novedoso en la oferta turística de la localidad, permite aunar de esta manera aspectos culturales, deportivos, turísticos y ambientales, y la mejor conservación de estos espacios singulares, de la historia de la cantería y de las técnicas de extracción de los materiales constructivos.

Palabras clave: Canteras históricas, piedra natural, patrimonio arquitectónico, turismo, Galicia.

Abstract: *The location and characterization of the Historic Quarries associated with the Architectural Heritage, within the INCHaPA project of the Geological Survey of Spain, allows its use in the framework of the development of tourism initiatives in rural towns. It increases the leisure offer, allows the enjoyment of Nature and provides knowledge of the geology of the environment. In recent years, the commissioning of "A Ruta das Canteiras" in the town of San Ciprian (Cervo, Lugo, Galicia) represents the recognition of historical stonework activities and the use of rocks in the construction of monuments and other buildings. The incorporation of a novel element in the tourist offer of the town, allows combining in this way cultural, sports, tourism and environmental aspects, and the best conservation of these unique spaces, of the history of the stonework and the techniques of extraction of building materials.*

Keywords: *Historic quarries, natural stone, architectural heritage, tourism, Galicia.*

INTRODUCCIÓN

La utilización de piedra natural en pequeñas poblaciones reflejaba la utilización de recursos cercanos a los lugares de asentamiento humano, siendo fuente de riqueza del mismo. La localización de las canteras históricas (Fernández Suárez *et al.*, 2016; 2017) tiene en la actualidad, además del componente del conocimiento histórico, socio-económico e industrial sobre la tecnología aplicada para la explotación, la posibilidad de añadir un atractivo turístico a las poblaciones rurales. En pocas poblaciones puede seguirse la evolución histórico-temporal de la extracción de piedra en función del crecimiento de los asentamientos humanos (Fernández Suárez *et al.*, 2016), así que el caso de San Ciprián es un excepcional ejemplo que ha sido incluido dentro de la oferta turística-ambiental de la localidad.

La "Ruta das Canteiras", creada para poner en valor el pasado cantero, es el complemento al Sendero Azul "O Torno", como itinerario contribuye positivamente al uso sostenible del litoral, al disfrute de la naturaleza y el pasado histórico y, también en conjunto, como elementos vertebradores para el desarrollo económico, la salud y el bienestar del conjunto de la sociedad.

CANTERÍA HISTÓRICA DE SAN CIPRIÁN

A lo largo de los siglos las rocas del entorno de San Ciprián (43º42'01,88" N / 7º26'11,26" O, coordenadas del faro) han sido utilizadas como fuentes de obtención de materiales de construcción en forma de sillares y mampostería. De esta manera se define un paisaje armónico, integrado tanto en la naturaleza como en la población pues, a diferencia de épocas actuales, los yacimientos explotados en pequeños núcleos habitados estaban en las cercanías de las edificaciones.

Se han localizado en la población de San Ciprián-Lieiro una serie de canteras y zonas de explotación relacionadas con el Patrimonio Arquitectónico local (Fig.1). Estas explotaciones tienen la característica común de explotar

piedra granítica (roca utilizada en exclusiva en las construcciones) y ser de pequeño tamaño (utilizadas para unas construcciones concretas y puntuales), si bien en algunas de ellas (Aserradero-Area pequena y Atalaia E) se llegó a explotar de manera semindustrial, suministrando losas, para el empedrado de calles, a ciudades tan distantes como Oviedo, en Asturias (Gutiérrez Claverol *et al.*, 2012).



FIGURA 1. Antigua zona de explotación para la obtención de sillería en el entorno de la población. Sobre ella, actualmente, discurre el paseo de circunvalación de San Ciprián (Cervo, Lugo, Galicia).



FIGURA 2. Panel informativo principal donde se reflejan las principales áreas de cantería histórica de San Ciprián y los monumentos asociadas a las mismas.

En la actualidad se conservan un gran número de marcas y señales extractivas que permiten seguir la evolución geográfica, histórica y temporal de la extracción de materiales (Fernandez Suárez *et al.*, 2016; 2017), lo que supone una oportunidad para su divulgación en conjunto con las características geológicas de la zona. Es un recurso didáctico, histórico y cultural que ha sido puesto en valor en términos pedagógicos y turísticos.

LA RUTA DE LAS CANTERAS COMO RECURSO TURÍSTICO Y DIDÁCTICO

Tanto la docencia como el turismo demandan en la actualidad nuevas formas de acercar la historia y la geología al público en general, ofreciendo nuevas e innovadoras iniciativas para su consecución. Con esta premisa en el año 2017 el Ayuntamiento de Cervo puso en marcha la iniciativa "Ruta das Canteiras", un proyecto que involucra a las concejalías de Medio Ambiente, Cultura, Turismo y Deporte, lo que refleja la amplia dimensión del proyecto, para lo que contó con la ayuda de la Unidad de Piedra Natural y Patrimonio Monumental del Instituto Geológico y Minero de España.

Como complemento al Sendero Azul "O Torno", importante reconocimiento en materia de Medioambiente, esta ruta permite diversificar la oferta turística para obtener una manera distinta de disfrutar de los valores naturales y patrimoniales que los ecosistemas costeros brindan. Se ha planificado una ruta que permite visitar las antiguas zonas de explotación, así como observar las características extractivas, recorriendo la localidad desde el faro hasta la aldea de Lieiro, pasando tanto por las zonas históricas de explotación como por los monumentos asociados a las mismas. A lo largo de todo el recorrido se han establecido una serie de paneles (Fig. 2) que ayudan a entender las marcas, la metodología utilizada para realizar los trabajos y la identificación de los hitos más importantes.



FIGURA 3. Explicaciones sobre los métodos de cantería histórica y geología en el marco de una de las actividades de dinamización turística organizadas por el Ayuntamiento de Cervo en colaboración con investigadores del Instituto Geológico y Minero de España.

En los últimos años se están realizando actividades encaminadas a difundir los aspectos más importantes de la cantería y la geología de la zona, con una gran afluencia de público (Fig. 3). La visita a algunas de estas canteras ha supuesto, en muchos casos, una verdadera sorpresa para los asistentes; pues a pesar de que en muchos casos son zonas cercanas y conocidas, desconocían que en algún momento de la historia de la localidad hubieran existido canteras de extracción de piedra para construir el patrimonio arquitectónico o incluso las propias casas.

CONCLUSIONES

El estudio, la identificación y puesta en valor de las áreas de cantería histórica en San Ciprián ha supuesto la introducción

de un nuevo elemento novedoso en la oferta turística que permite la divulgación de los aspectos históricos, etnográficos y culturales, junto con el conocimiento del Medioambiente y la práctica de actividades saludables.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto INCHaPA del Instituto Geológico y Minero de España y al Excmo. Ayuntamiento de Cervo, por su ayuda en el estudio, conservación y divulgación de las Canteras Históricas de San Ciprián.

REFERENCIAS

Fernández Suárez, J., Álvarez Areces, E. y Baltuille, J.M. (2016): Evolución histórico-geográfica de la extracción de piedra natural para la construcción civil y religiosa de San Ciprián (N de Lugo, Galicia). *Geo-Temas*, 16 (2), 375-378.

Fernández Suarez, J., Álvarez Areces, E., Martínez-Martínez, J. y Baltuille Martín, J.M., (2017): Identificación, estudio preliminar y puesta en valor de las canteras históricas de San Ciprián (Lugo). *Boletín Geológico y Minero*, 128 (2): 485-498.

Gutiérrez Claverol, M., Luque Cabal, C. y Pando González, L.A. (2012): *Canteras históricas de Oviedo. Aportación al patrimonio arquitectónico*. Hércules Astur de Ediciones, S.L., 256 p. Oviedo.

Localización y caracterización de las canteras históricas de Aceuchal (Badajoz), como fuentes de abastecimiento para la construcción de la iglesia parroquial de San Pedro Apóstol

Location and characterization of the historical quarries of Aceuchal (Badajoz), as sources of supply for the construction of the parish church of San Pedro Apostol

J. Fernández Suárez[1], B. Ordóñez Casado[1], E. Álvarez Areces[2], J. Martínez-Martínez[2] y J.M. Baltuille Martín[2]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

Resumen: En el marco del proyecto INCHaPA (Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico), se han estudiado las rocas utilizadas en la construcción de la iglesia parroquial de San Pedro Apóstol de Aceuchal, declarada Bien de Interés Cultural. Se han identificado las antiguas canteras históricas de extracción en una extensión rocosa en el paraje de "La Postrera", que establece el límite norte de la localidad, denominada a nivel local como "Las Piedras". Se han diferenciado varias zonas de extracción. Probablemente, en época de funcionamiento de las canteras se encontraban conectadas, correspondiendo a una única, o como mucho, dos zonas mineras. En todos los casos se han identificado marcas de explotación consistentes, principalmente, en cuñas y rozas, y antiguos bancos de explotación de diferentes dimensiones. Hay que destacar sobre otros signos localizados, la presencia de una serie de marcas de canteros y una fecha, año 1776, en consonancia con las fechas de construcción de la iglesia de la localidad. La zona explotada para la obtención de materiales labrables se sitúa en un ortogneis de grano medio-fino, conocido como "Ortogneis de Aceuchal". Presenta un color rosado y textura gnéisica con escasos porfiroclastos de feldespato potásico.

Palabras clave: Canteras históricas, piedra natural, patrimonio arquitectónico, Aceuchal, Badajoz

Abstract: *Within the framework of the INCHaPA project (National Inventory of Historic Quarries associated with the Architectural Heritage), the rocks used in the construction of the church of San Pedro Apostol of Aceuchal, declared BIC, have been studied. The old historical quarries of extraction have been identified in a rocky extension in the place of "La Postrera", that establishes the northern limit of the locality, denominated locally as "Las Piedras". Several extraction zones have been differentiated. Probably, at the time of operation of the quarries they were connected, corresponding to a single, or at most, two mining areas. In all cases, exploitation brands consisting mainly in wedges, rubs, and operating banks of different dimensions. It is necessary to emphasize on other localized signs, the presence of stonecutters marks and a date, year 1776, in consonance with the dates of construction of the local church. The area exploited to obtain labrable materials is a medium-fine grain orthogneis, known as "Orthogneis de Aceuchal ". It has a pink colour and gneissic texture with few porphyroclasts of potassium feldspar.*

Keywords: *Historic quarries, natural stone, architectural heritage, Aceuchal, Badajoz.*

INTRODUCCIÓN

La identificación de canteras históricas abarca aspectos muy diversos, que van desde los culturales, a los históricos, pasando por los turísticos y etnográficos, además de los propiamente científicos encaminados a conocer el lugar de origen y evolución futura de las rocas. Con el fin de localizar y caracterizar estos espacios extractivos asociadas a la construcción de patrimonio arquitectónico nacional, y posteriormente preservarlas y ponerlas en valor, el IGME inicia en 2014 un programa, de ámbito nacional, denominado Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (INCHaPA) (Baltuille Martín *et al.*, 2016). Dentro de los trabajos realizados en la provincia de Badajoz (Extremadura, España), se presentan los resultados obtenidos en la localidad de Aceuchal, donde se han puesto de manifiesto la existencia de unas labores de explotación de materiales gnéisicos para la fabricación de parte de la sillería con la que fue construida la iglesia parroquial de San Pedro Apóstol.

LA IGLESIA PARROQUIAL DE SAN PEDRO APÓSTOL

Este templo cristiano se encuentra en el centro de la localidad pacense de Aceuchal (Coordenadas UTM: X-718680; Y-4280603; Huso 29). El origen de esta construcción lo encontramos en torno a finales del siglo XV, con la edificación de la torre, punto de arranque de la iglesia que la dota de una apariencia fortificada (Fig. 1A). El paso de los siglos y los diferentes añadidos a este monumento produce la superposición de distintos periodos arquitectónicos, con estilos gótico, renacentista y barroco que abarcan desde el siglo XV al XVIII. A los pies del templo se encuentra situada la torre levantada entre finales del siglo XV y comienzos del XVI (http://aceuchal.com). Esta estructura está formada por una serie de cuerpos almenados superpuestos que conforman su aspecto defensivo.



FIGURA 1. De izquierda a derecha y de arriba abajo. A- Vista lateral de Iglesia de San Pedro Apóstol de Aceuchal, con la torre almenada coronada con el campanario. B y C- Vista de las portadas laterales de acceso a templo, cuyas fechas de construcción las sitúan a principios de la segunda mitad del siglo XVI (1765). D- Vierteaguas o resguardo, hecho de piedra gnéisica obtenida en los afloramientos situados al norte de la localidad. E- Detalle del ortogneis utilizado para la fabricación de los elementos labrados utilizados en la construcción de la iglesia de Aceuchal.

Si bien la mayor parte de las estructuras, especialmente los paramentos que se encuentran enfoscados, son levantadas con mampostería, hay que señalar una serie de elementos construidos con material de labra. La Puerta del Perdón se ha realizado con areniscas, cuyo origen no ha podido determinarse por el momento. No ocurre lo mismo con las portadas del Evangelio y la Epístola, fechadas a la mediados del siglo XVIII (1765), así como los vierteaguas de los paramentos laterales (Fig. 1B, C y D.), cuyos elementos han sido labrados en un ortogneis de grano medio-fino, conocido como ortogneis de Aceuchal (Fig. 1E.), de color rosado y textura gnéisica y escasos porfiroclastos de feldespato potásico (ortosa pertítica-microclina).

LAS CANTERAS HISTÓRICAS DE LA POSTRERA

A las afueras de la localidad, en la parte más meridional de la misma, se han localizado varias zonas, actualmente separadas por la carretera y viales, donde se han extraído las rocas para la construcción de la Iglesia de San Pedro Apóstol, conocido como el barrio de “La Postrera”. Esta extensión rocosa, que establece el límite norte de la localidad, es denominada a nivel local como “Las Piedras”, área donde proliferan formaciones rocosas de particulares formas que llamaron la atención a los habitantes, quienes las conocen como “El Librito”, “Camita del Señor”, “La Cocina”, etc.

Desde un punto de vista petrográfico, el material aflorante es un cuerpo gnéisico que deriva de un granitoide de carácter alcalino. La zona explotada para la obtención de materiales labrables se sitúa sobre una diferenciación del mismo de grano fino, conocido como ortogneis de Aceuchal, que presenta una característica coloración rosada y textura gnéisica con escasos porfiroclastos de feldespato potásico (ortosa pertítica-microclina).

UTM X	UTM Y	Área de extracción	Referencia
719273	4281061	"La Postrera 1"	AE-AC-001
719422	4280846	"La Postrera 2"	AE-AC-002
719262	4281195	"La Postrera 3"	AE-AC-003
719222	4280936	"La Postrera 4"	AE-AC-004
719111	4281012	"La Postrera 5"	AE-AC-005

TABLA I. Áreas de extracción asociadas con la construcción de la Iglesia de San Pedro Apóstol.

Se han diferenciado varias zonas de extracción (Tabla I) que, probablemente, en la época de funcionamiento de las canteras se encontraban conectadas, formando una única, o como mucho, dos zonas mineras. Actualmente, tras la proliferación de construcciones y nuevos viales, algunos de los cuales han hecho desaparecer algunas partes, se han individualizado hasta cinco áreas de extracción. En todos los casos se han identificado marcas de explotación consistentes, principalmente, en cuñas y rozas, y antiguos bancos de explotación de diferentes dimensiones.



FIGURA 2. Grafiti en uno de los frentes de una de las áreas de explotación de Aceuchal Se puede diferenciar una fecha (1776), clave a la hora de establecer un periodo temporal de funcionamiento de las canteras históricas de Aceuchal.

Desde el punto de vista de superficie, el área de explotación AE-AC-002 (Tabla I) es la mayor finca de las que se conservan en la actualidad, situándose en su interior una antigua zona de prácticas de tiro. Se han reconocido numerosas señales inequívocas de explotación en forma de bancos de explotación y pequeños frentes de extracción de bloques y sillares. Sobre todos los signos de trabajo identificados y georreferenciados en esta extensa área, hay que destacar, la presencia de una serie de grafitis (Fig. 2). Estos consisten en frases religiosas ("*Ave María*"; "*INRI*"), firmas de talleres de cantería y una referencia al año 1776. El establecimiento de esta fecha está en consonancia con las fechas de fabricación de algunos elementos de la iglesia de la localidad (puertas de la Epístola y del Evangelio), y permite establecer una relación temporal entre su construcción y el uso de estos espacios de explotación.



FIGURA 3. Alineación de marcas de cuñas en uno de los afloramientos del Área de extracción "La Postrera 4" (AE-AC-004). Las marcas reflejan la extracción de sillares.

Al oeste de la carretera EX-105, se encuentran las otras cuatro áreas de explotación individualizadas, AE-AC-001, AE-AC-003, AE-AC-004 y AE-AC-005, separadas únicamente por pequeños caminos y por el terreno removilizado para la construcción de un parque y un aparcamiento de camiones, lo que seguramente produjo una pérdida importante de superficie de explotación. Son frecuentes, al igual que en la otra zona, los signos de extracción de bloques, sin embargo, es en estas zonas donde aparecen una gran cantidad de improntas de cuñas (Fig. 3). El tamaño de las mismas, es buena base de referencia para el estudio de los métodos de extracción mediante estas técnicas, al estar restringidas a un espacio temporal, mediados y finales del siglo XVIII, y local, pues la explotación de estas rocas está únicamente relacionada con la Iglesia parroquial de San Pedro Apóstol. Se caracterizan por la estrechez y alargamiento de las mortajas, y un espaciado que es el doble del tamaño de las mismas. Otro hallazgo importante supone la presencia de un tobogán, en la parte sur del área meridional (Área de extracción "La Postrera 4"), que permitiría el deslizamiento de los bloques para salvar el desnivel existente entre la zona de explotación y la localidad.

Es de suponer, por los signos de explotación identificados dentro de una de las propiedades colindantes con las zonas de explotación, que el crecimiento de la localidad en dirección norte se sobrepuso a la parte meridional de la zona de explotación. El cerramiento de las fincas impide observar la totalidad de la extensión de la cantera.

PUESTA EN VALOR DE LAS CANTERAS HISTÓRICAS DE LA POSTRERA

La situación cercana al núcleo de población y su excelente estado de conservación, a pesar de la desaparición de parte de las zonas de explotación, permitirían poner en valor estas importantes áreas extractivas. Además de los aspectos científicos, relacionados con la evolución de las características petrofísicas de las rocas y la posible obtención de materiales para futuras restituciones en los monumentos, la importancia técnica e histórica de la zona queda patente. Se hace necesario su estudio en profundidad desde un ámbito arqueológico e histórico que complete los estudios llevados a cabo hasta el momento.

CONCLUSIONES

Se pone de manifiesto la existencia de una serie de áreas extractivas en la parte norte de la localidad que fueron utilizadas para el abastecimiento de parte del material utilizado en la construcción de la iglesia parroquial de San Pedro Apóstol. Las fechas de explotación de estas rocas señalan que, por lo menos, puede establecerse a principios a principios de la segunda mitad del siglo XVIII, época de construcción de algunos de los elementos constructivos del templo.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto INCHaPA (Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico) del Instituto Geológico y Minero de España.

REFERENCIAS

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016). Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016.*

http://aceuchal.com. Página oficial del Ayuntamiento de Aceuchal

La roca ornamental europea y su vinculación al patrimonio arquitectónico: el proyecto Eurolithos

European ornamental stone and its link to architectural heritage: the Eurolithos project

J. Fernández Suárez[1], J. Martínez-Martínez[2], E. Álvarez Areces[2] y J.M. Baltuille Martín[2]

1 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

2 Instituto Geológico y Minero de España. Unidad de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

Resumen: Europa es una de las principales potencias mundiales productoras de roca ornamental, explotando una gran diversidad de recursos pétreos. Sin embargo, su uso local y regional está disminuyendo en muchas partes del continente, junto con una potencial pérdida de los conocimientos y técnicas tradiciones relacionadas con su uso histórico. La piedra natural ha contribuido significativamente en la configuración de los paisajes rurales y urbanos europeos, a través de su uso en nuestro patrimonio arquitectónico. En este contexto se enmarca el proyecto europeo Eurolithos, cuyos objetivos finales se centran en aunar la información sobre las diferentes variedades de roca ornamental explotadas en Europa, y vincular a cada caso su posible valor patrimonial añadido. EuroLithos se basa en la idea de que un mayor conocimiento de la geología, la calidad y la historia del uso de la piedra natural en Europa estimulará tanto un uso más sostenible de los recursos pétreos en beneficio de la sociedad rural, de las empresas explotadoras y de nuestro patrimonio cultural, como una gestión racional del uso del suelo. EuroLithos también aborda los aspectos del patrimonio cultural y la conservación de los edificios, ya que el mantenimiento del patrimonio europeo y una industria de la piedra activa son mutuamente dependientes. EuroLithos dará como resultado una base de conocimientos sobre piedra natural bajo el paraguas de EGDI (European Geological Data Infrastructure), que cubrirá datos espaciales armonizados sobre recursos pétreos europeos, con un directorio asociado de propiedades de piedras ornamentales. El consorcio EuroLithos está compuesto por 16 socios de 14 países, que forman colectivamente un grupo de investigación fuerte e innovador.

Palabras clave: Roca ornamental, piedra natural, patrimonio arquitectónico, Europa.

Abstract: *Europe is one of the world's leading ornamental stone producers, quarrying a great diversity of stone resources. However, the actual use of local and regional stone resources in Europe is decreasing, and so is the knowledge of the resources, traditions and skills. Ornamental stone has contributed significantly in shaping european rural and urban landscapes, through its use in the built heritage from different historical periods. In this context, the European project Eurolithos is framed, whose final objective are focused on combining information on the different varieties of ornamental stones quarried in Europe, and linking to each case their use in architectural heritage. EuroLithos is founded on the idea that increased knowledge of the geology, quality and history of use of natural stone in Europe will stimulate both more sustainable use of stone resources in Europe for the benefit of enterprises and cultural heritage, and a sound land use management for the safeguarding of ornamental stone deposits. EuroLithos also addresses cultural heritage and building preservation aspects, since the maintenance of European heritage and a living stone industry are mutually dependent. EuroLithos results in an ornamental stone knowledge base under the umbrella of EGDI (European Geological Data Infrastructure), covering harmonised spatial data on European stone resources, and a directory of ornamental stone properties. The EuroLithos consortium is composed of 16 partners from 14 countries, collectively forming a strong and innovative research group.*

Keywords: *ornamental stone, natural stone, architectural heritage, Europe.*

INTRODUCCIÓN

La roca ornamental ha contribuido significativamente en la configuración de los paisajes rurales y urbanos europeos, a través de su uso en el patrimonio construido a lo largo de la historia. La industria de la roca ornamental constituye un fuerte sector económico en Europa, explotando una gran diversidad de tipos petrológicos con diferentes e innovadores acabados comerciales. Sin embargo, los recientes cambios en el volumen y la dinámica de la construcción, junto con la aparición de nuevos materiales y aplicaciones, están provocando una disminución en el uso y producción actual de roca ornamental en Europa. Esta situación va acompañada, además, de un potencial riesgo de pérdida del conocimiento de los recursos pétreos europeos, así como de las técnicas de producción tradiciones.

En este contexto se enmarca el proyecto europeo Eurolithos. Este proyecto se inició en enero de 2017 y agrupa a 16 servicios geológicos europeos (de ámbito tanto nacional como regional) de 14 países diferentes (tabla 1), coordinados por el Servicio Geológico Noruego (NGU). El objetivo final del proyecto Eurolithos es la unificación de la información disponible sobre las diferentes variedades de roca ornamental explotadas en Europa, vinculando en cada caso su posible valor patrimonial añadido. EuroLithos se basa en la idea de que un mayor conocimiento de la geología, la calidad y la historia del uso de la piedra natural en Europa estimulará tanto un uso más sostenible de los recursos pétreos en beneficio de la sociedad rural, de las empresas explotadoras y del patrimonio cultural, como una gestión racional del uso del suelo.

OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto Eurolihos es establecer un marco unificado de análisis de la explotación de roca ornamental en los diferentes países europeos, promoviendo la continuidad del aprovechamiento de la piedra natural. Para ello se han marcado una serie de objetivos secundarios.

Objetivo 1: MARCO DE REFERENCIA. Eurolithos establece un marco descriptivo de los recursos de piedra natural en Europa, llevando a cabo un inventario exhaustivo de las diferentes variedades explotadas en los países socios. Este inventario se apoya en bases de datos preexistentes a nivel nacional y/o regional sobre rocas ornamentales, así como sobre la distribución de canteras y depósitos. En el momento de inicio del proyecto Eurolithos, estos inventarios base estaban fragmentados y/o incompletos, por lo que se vela por la homogeneización de la información a nivel europeo.

Objetivo 2: BASE DE DATOS. En el marco del proyecto se está desarrollando una base de datos armonizada de la amplia gama de información ya disponible sobre rocas ornamentales. Esta base de datos incluye información sobre el uso (edificios actuales, monumentos históricos, piezas de artesanía, etc.) así como su composición, propiedades físicas y técnicas empleadas para su explotación y/o manufactura. La base de datos a nivel nacional está coordinada con el resto de socios del proyecto, construyendo una estructura unificada que se adapta completamente a la plataforma de información GeoERA.

Objetivo 3: ATLAS. En este objetivo se busca la elaboración de un atlas europeo mostrando la localización de las áreas extractivas de las diferentes rocas ornamentales europeas recogidas en la base de datos (Objetivo 2) (Figura 1). El atlas correlaciona la posición geográfica de estas áreas extractivas, con información sobre el contexto geológico del recurso, el uso general de la roca, la descripción petrológica y sus principales características petrofísicas y mecánicas.

Objetivo 4: VALOR. La piedra natural y la roca ornamental dan forma a nuestros paisajes rurales y urbanos, y tienen un gran significado histórico y cultural que debe ser documentado y protegido. En el objetivo 4 del proyecto Eurolithos se busca identificar y valorizar el impacto cultural de la piedra natural. Como resultado, se elaborarán pautas y guías de buenos usos destinadas a las empresas productoras y a los organismos responsables de la gestión del patrimonio y de la explotación de los recursos naturales locales.

Objetivo 5: DIFUSIÓN. Como fin último, Eurolithos busca una comunicación directa, una difusión de los resultado y una fluida interacción con las diferentes partes interesadas en el proyecto. En este sentido, Eurolithos se dirige a un público diverso: responsables en del proceso de construcción, gestores y administradores, arquitectos, estudiantes, historiadores y público en general.

Institutión	Acrónimo	País
Norges Geologiske Undersokelse	NGU (coord.)	Noruega
Laboratorio Nacional de Energia e Geologia	LNEG	Portugal
Sveriges Geologiska Undersökning	SGU	Suecia
Instituto Geológico y Minero de España	IGME	España
Hellenic Survey of Geology and Mineral Exploration	HSGME	Grecia
Regione Emilia Romagna. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli	SGSS	Italia
Regione Toscana. Sistema informativo territoriale e ambientale	RT	Italia
Geoloski Zavod Slovenije	GeoZS	Eslovenia
Geologische Bundesanstalt	GBA	Austria
Institutul Geologic al Romaniei	IGR	Rumanía
State Information Geological Fund of Ukraine	GEOINFORM	Ucrania
Geological Survey of Ireland	GSI	Irlanda
Instituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale	ISPRA	Italia
Hrvatski Geoloski Institut	HGI-CGS	Croacia
Cyprus Geological Survey	GSD	Chipre
Service Geologique du Luxembourg	SGL	Luxemburgo

TABLA 1. Relación de socios (servicios geológicos europeos) incluidos en el proyecto Eurolithos.

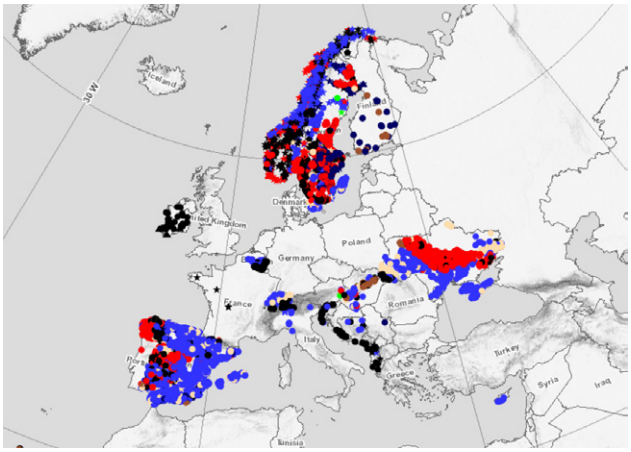


FIGURA 1. Visor de Atlas en su estado actual.

CASOS DE ESTUDIO PARTICULARES

Como complemento al Objetivo 4 del proyecto, en el que se evalúa el valor patrimonial de cada una de las rocas ornamentales explotadas en Europa, se están abordando diferentes casos de estudio a modo de ejemplo de valorización de las canteras y la roca ornamental en su vertiente cultural, histórica y patrimonial. En total se han propuesto 12 casos de estudio en toda Europa mostrando diferentes herramientas para ayudar a la valorización de los recursos pétreos. El interés subyacente en todos estos casos de estudio es crear la necesidad de políticas que garanticen una mejor conservación del patrimonio construido en piedra, mejores condiciones de gestión para las empresas extractivas y una mejor protección de los recursos pétreos en la planificación del uso del suelo.



FIGURA 2. Canteras de esquisto de Oppdal, situadas en lo alto de las montañas de Noruega, con producción permanente durante todo el año.

Los 12 casos de estudio propuestos se articulan entorno a cinco líneas principales:

I. Evaluación del valor patrimonial de los paisajes de cantera y de las canteras históricas. En esta línea se incluyen tres ejemplos con diferentes perspectivas:

a. Cantera de granito Iddefjord (Noruega).

b. Canteras históricas de Magura Calanului (Rumanía)

c. Paisaje de las canteras de Pučišća, Brač (Croacia)

II. Piedra y patrimonio construido. Alrededor de este tema se proponen cuatro casos de estudio en el que se muestran diferentes actuaciones en las que se pone en valor la piedra de construcción a partir del patrimonio arquitectónico.

a. Datos abiertos para vincular los recursos pétreos con el patrimonio construido. El caso de Trondheim (Noruega).

b. El uso de calcarenita como piedra de construcción desde la antigüedad hasta los tiempos recientes (Nicosia, Chipre).

c. Vinculando la piedra natural de la isla de Brač, con el patrimonio construido de Croacia.

d. Piedra y patrimonio construido: el mármol de Carrara (distrito Alpi Apuane).

III. Piedra y patrimonio inmaterial. Esta línea de trabajo persigue establecer las bases para la valoración de los aspectos etnológicos, tradicionales y la cultura inmaterial asociada al trabajo de la piedra. Para ello se está trabajando en dos casos de estudio:

a. Artesanía tradicional en la producción moderna de piedra (Noruega).

b. La escuela de canteros Pučišća (Croacia)

IV. Sostenibilidad y piedra ornamental:

a. Ejemplos de producción de piedra sostenible en Portugal y Noruega (figura 2).

V. Casos de estudio transversales. Se incluyen dos casos de estudio en los que se abordan de forma transversal varias de las líneas planteadas:

a. Buenas Prácticas en el uso de la piedra natural en la conservación del patrimonio arquitectónico: el caso de la costa oriental del Adriático.

b. Paisajes de cantera superpuestos: las canteras activas e históricas del mármol de Macael (Almería, SE España).

EL CASO DE ESTUDIO ESPAÑOL: LAS CANTERAS DE MACAEL (ALMERÍA)

La apertura de nuevos frentes de cantera y el desarrollo de canteras activas supone un serio riesgo de destrucción de canteras históricas, con la consiguiente pérdida de información geo-arqueológica y etnológica. Existen multitud de ejemplos en los que las sucesivas reactivaciones de frentes de cantera previamente abandonados han provocado la pérdida de valiosa información histórica. En una solución ideal, la adecuada gestión del espacio de cantera debería solapar el trabajo en frentes de cantera activos y la conservación de frentes históricos. Sin embargo, en aquellas regiones en las que la industria de la roca ornamental está fuertemente arraigada en la realidad social y económica, es extremadamente complicado redirigir el interés comercial global en pos de la preservación cultural de la cantería histórica.

Las canteras de Macael (Almería) constituyen un claro ejemplo de esta realidad dual. Sobre las laderas de la Sierra de los Filabres se abrieron las canteras que surtieron de mármoles blancos a la Alhambra de Granada o al Patio de Honor renacentista del Castillo-Palacio de Vélez Blanco (hoy en el Metropolitan Museum de New York). Sin embargo, hoy en día el término municipal de Macael ofrece un sobrecogedor paisaje de monumentales huecos y desmedidas escombreras, típico de una zona de canteras activas con elevada demanda comercial.

Por lo tanto, este caso de estudio ofrece en el panorama europeo un ejemplo de superposición de paisaje de cantera activa (figura 3) sobre un fondo de paisaje de cantería tradicional (figura 4). Este caso de estudio sirve de contexto para mostrar:

1) La metodología seguida para la identificación, valoración y cartografía de las áreas de cantería tradicional;



FIGURA 3. Paisaje de canteras activas de Macael.



FIGURA 4. Frentes de cantera tradicionales en el entorno de las canteras activas de Macael.

2) La relación espacial entre los espacios de cantera activa y los de trabajo tradicional;

3) Las propuestas que desde el Ayuntamiento de Macael se están realizando para la puesta en valor del trabajo artesano del mármol.

En consecuencia, la cantería en Macael se propone en el proyecto europeo Eurolithos como un ejemplo de sinergia entre la cantería tradicional y los sistemas modernos de explotación para incrementar el valor turístico, cultural y didáctico de la comarca. Los puntos de acción sinérgica son:

1) Permite comparar el paisaje de cantera asociado a cada sistema de trabajo del mármol;

2) Permite observar las técnicas de trabajo tradicional y las modernas;

3) Permite comparar el tipo y volumen de residuo generado en ambos sistemas de explotación, así como valorar la economía de reaprovechamiento;

4) Permite trazar en la línea temporal la evolución de las técnicas de trabajo del mármol, para valorar desde el presente el trabajo en el pasado.

En resumen, este caso de estudio se presenta como una visión positiva de este tipo de paisaje de cantera, identificando los puntos estratégicos que lo convierten en entornos únicos y de singular interés turístico, didáctico y cultural.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto Eurolithos está financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea. Acuerdo de subvención nº 731166.

REFERENCIAS

https://www.eurolithos.org/.

Arqueología e Historia de un paisaje de la piedra: la explotación del marmor de Espejón (Soria) y las formas de ocupación de su territorio desde la Antigüedad al siglo XX

Archaeology and History of a stone landscape: the exploitation of the marble of Espejón (Soria) and the forms of occupation of its territory from Antiquity to the 20th century

V. García-Entero

Dpto. de Prehistoria y Arqueología – UNED. Madrid. vgarciaentero@geo.uned.es

Resumen: El presente trabajo trata de demostrar que la larga explotación minera de las calizas y conglomerados del término municipal de Espejón (Soria) y su entorno inmediato, desde la época romana hasta la actualidad, han conformado un Paisaje Cultural singular.

La investigación abarca desde los inicios del siglo I hasta finales del XX, con un pico máximo de actividad extractiva comprendido entre los s. XVI-XVIII, focalizándose sobre cuatro indicadores: la cantera, los caminos y estrategias de comercialización, los productos y el paisaje.

Palabras clave: Marmor, extracción minera, comercialización, paisaje cultural, Espejón.

Abstract:

This paper tries to demonstrate that the long mining exploitation of limestone and conglomerates in the municipality of Espejón (Soria) and environments, from the Roman period to the present time, has formed a singular Cultural Landscape.

The research covers the period from the beginning of the 1st century to the end of the 20th century, with a maximum peak of extraction activity between the 16th and 18th centuries, focusing on four indicators: the quarry, the roads and marketing strategies, the products and the landscape.

Keywords: *Marmor, mining extraction, marketing, cultural landscape, Espejón.*

ANTECEDENTES

El presente trabajo es resultado del Proyecto de investigación "Arqueología e Historia de un paisaje de la piedra: la explotación del *marmor* de Espejón (Soria) y las formas de ocupación de su territorio desde la Antigüedad al siglo XX" (PGC2018-096854-B-I00), en el que venimos abordando el estudio del paisaje vinculado con las actividades extractivas del *marmor* de Espejón (Soria) desde la Antigüedad hasta el siglo XX.

La investigación parte de la hipótesis de que la masiva explotación de calizas y conglomerado (García-Entero *et al.*, 2017) que afloran en el término municipal de Espejón y su entorno inmediato, en las actuales provincias de Soria y Burgos (Espeja de San Marcelino, Cantalucia, Huerta del Rey) -especialmente activa durante las épocas romana (siglos I-V d.C.), moderna (fines del siglo XV-XVIII) y contemporánea (XX)- han determinado las formas de ocupación y explotación del territorio, habiendo generado un Paisaje Cultural singular. En este paisaje es posible reconocer las huellas de esta actividad productiva que ha constituido el motor de la actividad económica de la zona, generando dinámicas de interacción de las comunidades implicadas con el medio natural a lo largo de varios siglos. Son estas huellas (desmontes, frentes de cantera, instalaciones metalúrgicas para la elaboración y reparación de herramientas, mecanismos de elevación, cisternas, escombreras, herramientas, materiales abandonados, centros de procesamiento, almacenes, caminos, etc.), junto con los productos elaborados, las que son objeto de nuestra investigación que abordamos desde el punto de vista arqueológico e histórico con el fin de profundizar en el conocimiento de las formas de ocupación y explotación de un paisaje de la cantería.

MARCO GEOGRÁFICO

Desde el punto de vista geográfico, el territorio objeto de análisis comprende cinco términos municipales localizados en las actuales provincias de Soria (Espejón, Espeja de San Marcelino, Cubilla y Cantalucia) y Burgos (Huerta del Rey y Coruña del Conde). En ellos se engloban los afloramientos geológicos que fueron objeto de explotación desde época

romana hasta el siglo XX, así como los caminos inmediatos de salida del material lapídeo hasta centros de procesamiento y almacenaje de la piedra que, a tenor de la información hoy disponible, se situaron en Clunia -para época antigua- y Espejón, Espeja y Huerta del Rey para época moderna y contemporánea (García-Entero, 2018a; 2018b; Tárraga Baldó, 1999). Este territorio, que abarca una superficie total de c. 200 km^2 (Fig. 1), engloba, según la hipótesis de partida, las evidencias vinculadas directamente con las formas de explotación y ocupación del territorio marcado por su actividad extractiva a lo largo de varias centurias y que ha creado un Paisaje Cultural singular.

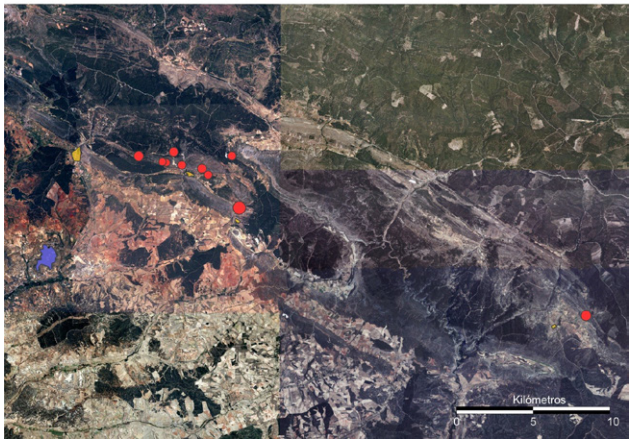


FIGURA 1. Zona extractiva de las calizas y conglomerado de Espejón (en rojo) y localización de la ciudad romana de Clunia (azul). (Imagen: Proyecto Espejón).

RESULTADOS

Desde el punto de vista cronológico la investigación en curso comprende un amplio periodo temporal desde inicios del siglo I d.C., momento en el que está documentado el primer uso de materiales de Espejón en programa decorativos de ciudades romanas como *Segobriga* (Saelices, Cuenca) (García-Entero, in press.; García-Entero *et al.*, 2018b), y finales del siglo XX cuando se produjo la última actividad extractiva masiva de estos materiales. En tan vasto abanico temporal, debemos indicar que no tenemos constancia de evidencias materiales ni documentales de labores extractivas entre los siglos VI y XIV, circunstancia que deberá ser confirmada. En todo caso, la activación de la explotación de los materiales lapídeos de Espejón y su entorno se retoma con fuerza a fines del siglo XV, siendo especialmente activa esta labor bajo la monarquía de los Austrias y los Borbones (XVI-XIX), período que será objeto de especial atención en el marco de nuestra investigación.

Para ello, la investigación que estamos desarrollando se articula a través de la consecución de 4 objetivos en los que hemos englobado 4 indicadores que permiten articular el estudio:

La cantera: Principal protagonista de nuestra investigación es la cantera como espacio productivo y escenario de las actividades de explotación de los recursos lapídeos. El análisis y caracterización de las evidencias materiales e inmateriales e información histórica sobre cada una de las canteras del territorio analizado, constituye uno de los objetivos del proyecto. Este objetivo contempla no solo el análisis físico del espacio productivo, sino también todas las cuestiones vinculadas con la propiedad, los procesos técnicos y tecnológicos, así como sobre los operarios vinculados con las tareas extractivas y de elaboración y distribución de los productos (condiciones de vida y trabajo), indicadores que serán analizados, en función de las fuentes disponibles, desde una perspectiva diacrónica, desde la Antigüedad al siglo XX.

Los caminos y las estrategias de comercialización del *marmor*: Como segundo objetivo general, abordamos el estudio de los caminos (terrestres y fluviales) empleados desde la Antigüedad al siglo XX para la distribución de los productos elaborados en las distintas variedades de calizas y conglomerado de Espejón; analizando las estrategias de comercialización de estos objetos y los circuitos comerciales en los que se integraron en cada una de las fases objeto de estudio.

Los productos: El tercer objetivo general de nuestra investigación aborda el estudio y caracterización de los productos elaborados en *marmor* de Espejón, desde la Antigüedad (Fig. 2) –tarea ya asumida en el proyecto previo- hasta la actualidad, prestando especial atención a productos (elementos arquitectónicos, mobiliario, monumentos funerarios, etc.) elaborados entre los siglos XVI a XX (Fig. 3) que nos permitirá profundizar en el conocimiento de la evolución de las modas y las demandas de los consumidores y comitentes, así como en las variedades del marmor empleadas en cada momento, vinculando esta información con la que se determine en el primer objetivo centrado en el estudio de las canteras de extracción y si estos gustos determinaron el agotamiento de algunos filones y la apertura de nuevos frentes.



FIGURA 2. Labrum procedente de las termas de Legio (León). (Foto: V. García-Entero; Dibujo: Morillo y Salido, 2010).

El Paisaje: En última instancia, aunque no en último lugar, pretendemos valorar el impacto ambiental que sobre el paisaje tuvo la masiva explotación de los recursos lapídeos, así como caracterizar y estudiar los tipos y evolución del poblamiento asociado a esta actividad económica a lo largo de veinte centurias (I-XX). Asimismo, planteamos establecer estrategias en el estudio, gestión y valorización patrimonial

de este Paisaje Cultural. La investigación ahora en curso, planteada a partir de los resultados obtenidos en un proyecto de investigación previo sobre "*Marmora Hispaniae*. Explotación, uso y difusión de la caliza de Espejón en la Hispania romana y tardoantigua" (HAR2013-44971-P), se centra en el análisis arqueológico e histórico del espacio productivo en sí (la cantera) como escenario de las actividades de explotación de los recursos lapídeos, en las vías terrestres y fluviales de salida del material, en los productos elaborados y en las estrategias de difusión y comercialización, así como en el estudio del Paisaje generado, intentando valorar el impacto ambiental que sobre él tuvo la masiva explotación de los recursos lapídeos, caracterizando y estudiando los tipos y evolución del poblamiento asociado a esta actividad económica a lo largo de veinte centurias.

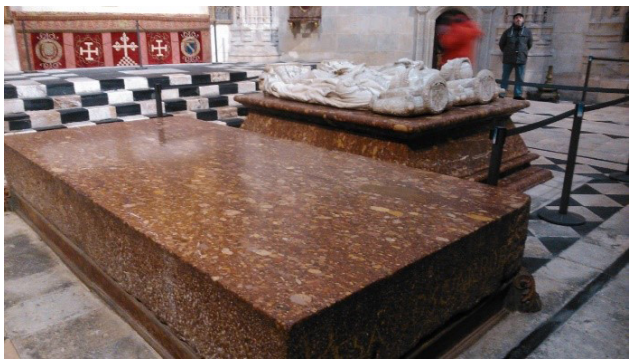


FIGURA 3. Soportes de los sepulcros de los Condestables de Castilla. Capilla de los Condestables, Catedral de Burgos. (Foto: V. García-Entero)

BIBLIOGRAFÍA

García-Entero, V. (in press.): Elementos decorativos moldurados elaborados en caliza de Espejón (Soria): las piezas de Santa María de Abajo (Carranque, Toledo). In: *La cava e il monumento. Materiali, officinae, sistemi di costruzione e produzione nei cantieri edilizi di età imperiale* (Mª.S. Vinci, A. Ottati and D. Gorostidi, eds.). Roma.

García-Entero, V. Gutiérrez García-Moreno, A., Royo Plumed, Hernando y Vidal Álvarez, S. (2017): La caliza de Espejón (Soria, España): caracterización arqueométrica, *digitAR-Digital Journal of Archaeology, Architecture and Arts* 4, 5-13.

García-Entero, V., Gutiérrez García-Moreno, A. y Zarco Martínez, E. (2018a): Las canteras de calizas y conglomerado de Espejón (Soria): Evidencias arqueológicas y la documentación escrita. En: *Lapidum natura restat… Canteras antiguas de la península ibérica en su contexto (cronología, técnicas y organización de la explotación* (A. Gutiérrez Garcia-M. y P. Rouillard, eds.). Collection de la Casa de Velazquez, 170. Madrid-Tarragona, 185-197.

García-Entero, V., Gutiérrez García-Moreno, A., Vidal Álvarez, S., Peréx Agorreta, Mª.J. and Zarco Martínez, E. (2018b): Espejón Limestone and Conglomerate (Soria, Spain): Archaeometric Characterization, Quarrying, and uses in Roman Times, *In: XI ASMOSIA Conference.* Split 2015. Proceedings, 567-576.

Tárraga Baldó, Mª.L. (1999): Las canteras históricas de Espejón al servicio de la ornamentación del Palacio Real de Madrid. Litos. *La Revista de la piedra natural* 41, 38-52.

El ciclo productivo del *marmor* en la península Ibérica desde la Antigüedad: extracción, elaboración, comercialización, usos, reutilización, reelaboración y amortización

The production cycle of marmor in the Iberian Peninsula since ancient times: extraction, processing, marketing, uses, reuse, reworking and amortization

V. García-Entero

Dpto. de Prehistoria y Arqueología – UNED. Madrid. vgarciaentero@geo.uned.es

Resumen: El X Congreso Geológico de España se constituye como un marco inmejorable para la presentación de la Red: *El ciclo productivo del marmor en la península Ibérica desde la Antigüedad: extracción, elaboración, comercialización, usos, reutilización, reelaboración y amortización* (RED2018-102722-T), financiada por el MICINN y desarrollada entre 2019 y 2020.

La Red, constituida por 50 investigadores de 22 instituciones y liderada por la UNED, tiene un marcado carácter multidisciplinar y se distribuye en 9 grupos localizados en diferentes áreas de la Península Ibérica.

Palabras clave: Red de investigación, marmor, extracción minera, elaboración, comercialización.

Abstract: *The X Geological Congress of Spain as an unbeatable framework for the presentation of the Network: "The production cycle of marble in the Iberian Peninsula since Antiquity: extraction, processing, marketing, uses, reuse, reprocessing and amortization" (RED2018-102722-T), financed by the MICINN and developed between 2019 and 2020.*

The Network, made up of 50 researchers from 22 institutions and led by the UNED, has a strong multidisciplinary character and is distributed in 9 groups located in different areas of the Iberian Peninsula.

Keywords: *Research network, marmor, mining extraction, processing, marketing*

ANTECEDENTES

La participación en el X Congreso Geológico de España es una oportunidad para presentar la Red de Investigación sobre *El ciclo productivo del marmor en la península Ibérica desde la Antigüedad: extracción, elaboración, comercialización, usos, reutilización, reelaboración y amortización* (RED2018-102722-T) financiada por el MICINN y desarrollada entre 2019 y 2020; cumpliendo así uno de los objetivos previstos, como es el de la difusión y la visibilidad de la investigación desarrollada por las/os investigadoras/es de la red.

La creación de la Red de Investigación está determinada por la oportunidad de institucionalizar una red de investigadoras/es que viene trabajando desde hace años de manera coordinada en el marco del análisis multidisciplinar del *marmor* y otros materiales lapídeos de la península Ibérica desde la Antigüedad. El origen de esta red arranca en 2008, en el marco de los trabajos de organización de la *IXth International Conference of the Association for the Study of Marbles and Other Stones in Antiquity (ASMOSIA)*, celebrada en Tarragona en 2009. Dicho congreso sirvió para presentar a la comunidad internacional los trabajos desarrollados hasta la fecha por distintos equipos españoles, pero, además, bajo el liderazgo de I. Rodà, permitió la reunión y participación de buena parte de las investigadoras ahora reunidas en la RED. Sobre esa sólida base, y a lo largo de más de una década, se ha tenido la ocasión de avanzar y consolidar nuestras investigaciones, centradas en estudio del *marmor* en Hispania en cada una de las regiones que conforman los 9 grupos de la Red. Esta consolidación se ha fraguado al calor de iniciativas individuales, pero principalmente de numerosas acciones conjuntas y coordinadas (coordinación y participación en proyectos de I+D+i, organización de reuniones científicas, publicaciones, integración en grupos reconocidos, etc.) que confirman la solidez de la investigación llevada a cabo y la vitalidad y fortaleza del grupo.

RESULTADOS

La Red, constituida por 50 investigadoras/es de 22 instituciones (universidades, institutos y centros de investigación y museos nacionales) y dirigida desde la UNED, tiene un marcado carácter multidisciplinar y está integrada por arqueólogas/as, historiadoras/es de la Antigüedad, Edad Media y Edad Moderna, historiadores del Arte, epigrafistas, geógrafos, geólogas/os e ingenieros geólogos.

Está integrada por 9 grupos de trabajo, centrados en el análisis del ciclo productivo de los materiales lapídeos en diferentes regiones peninsulares donde se viene desarrollando la investigación:

– **GRUPO 1.**- *Materiales lapídeos del Noreste peninsular (1/ICAC)*

Anna Gutiérrez Garcia-M. (ICAC), Isabel Rodà (UAB-ICAC), Pilar Lapuente (UniZAR-ICAC), Roberta di Febo (ICAC), Serena Vinci (AUSONIUS), Jordi López (ICAC), Aureli Àlvarez (ICAC), Lluís Casas (UAB), Raúl Aranda González (ICAC), Ana Artina (ICAC), Laura Galán Palomares.

– **GRUPO 2**.- *Materiales lapídeos del Noreste peninsular (2/URV-ICAC)*

Diana Gorostidi Pi (URV/ICAC), Isabel Rodà (UAB-ICAC), Montserrat Clavería (UAB), Antonio Peña (UAB), Pilar Lapuente (UniZAR-ICAC), Julio C. Ruiz (ICAC).

– **GRUPO 3.**- *Materiales lapídeos del Sureste peninsular (UM)*

Begoña Soler Huertas (UM), José Miguel Noguera (UM), Rosario Cebrián (UCM), Juan Antonio Antolinos (UM), Francisco Guillén Mondéjar (UM), Asunción Alías Linares (UM), Mª Isabel Gutiérrez Deza (UCO), Mª Ángeles García del Cura (CSIC-UCM), Enrique Álvarez (IGME), Timothy Anderson (LAHRA-UGA), Laura Galán Palomares.

– **GRUPO 4**.- *Materiales lapídeos de la Bética (US)*

Oliva Rodríguez Gutiérrez (US), Salvador Ordoñez (US), Sergio García-Dils de la Vega (Real Academia Luis Vélez de Guevara), Diego Jiménez Madroñal (US), Ruth Taylor (US).

– **GRUPO 5**.- *Materiales lapídeos de Estremoz-Borba (MNAR)*

Trinidad Nogales (MNAR), Pilar Lapuente (UniZAR), Irene Mañas (UNED), André Carneiro (Universidade de Evora), Sergio Vidal (MAN), Mª José Merchán (UNEX).

– **GRUPO 6**.- *Materiales lapídeos del Noroeste peninsular (UAM-MIAS)*

Silvia González Soutelo (UAM-MIAS), Anna Gutiérrez Garcia-M. (ICAC), Pilar Lapuente (UniZAR), Avelino Gutiérrez (UniOVi), Marie-Claire Savin (IRAMAT-CRP2A-UniZar).

– **GRUPO 7**.- *Materiales lapídeos del área de Espejón (UNED)*

Virginia García-Entero (UNED), Sergio Vidal (MAN-GI UNED), Alejandro García Ferrero (UNED), Irene Mañas (UNED), María Pérez (MNA-GI UNED), María Peréx (UNED), Alba Alonso, Carmen Guiral (UNED), Lara Íñiguez (UniZAR-GI UNED), Raúl Aranda González (ICAC-GI UNED), Anna Gutiérrez Garcia-M. (ICAC-GI UNED), Eva Zarco Martínez (GI UNED).

– **GRUPO 8.**- *Materiales lapídeos de los Pirineos (UniZAR)*

Pilar Lapuente (UniZAR), José Antonio Cuchí Oterino (UniZAR), Anna Gutiérrez Garcia-M. (ICAC), Marie-Claire Savin (IRAMAT-CRP2A-UniZar).

– **GRUPO 9**.- *Materiales lapídeos del Centro peninsular (IGME)*

Javier Martínez Martínez (IGME), Mª Ángeles Utrero (CSIC-EEA), Enrique Álvarez Areces (IGME).

Expansión histórica del Granito de Cardeñosa (Ávila) y tipos de paramento en el Centro-Sur de Castilla y León: relación con las formaciones geológicas

Historic expansion of the Cardeñosa Granite (Avila) and types of composite masonry in the South-Central region of Castilla y Leon: relationship with geological formations

M. López-Plaza[1] y E. Azofra Agustín[2]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced s/nº. 37008 Salamanca. milplaz@usal.es.
2 Dpto. de Historia del Arte, Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Salamanca, Cervantes s/nº. 37002 Salamanca. azofra@usal.es.

Resumen: El Centro-Sur de Castilla y León, un área sin afloramientos rocosos, registra desde finales del s. XV un flujo del material granítico hacia el N desde las canteras de Cardeñosa-Mingorría en el borde N del Sistema Central, utilizándose selectivamente en los monumentos las mismas facies graníticas de las canteras. La expansión decreciente del granito por zonas desde Ávila a Valladolid obedece a las siguientes causas: a) la suave pendiente descendente, b) la antigua red viaria en los interfluvios N-S, y c) la demanda de material resistente desde los centros de poder. Paralelamente, el material básico de los monumentos registra, en combinación con el ladrillo, los siguientes tipos de paramentos de S a N: a) mampuesto de bloques de cuarcita y esquisto, procedentes de las formaciones ordovícicas y neoproterozoicas del basamento varisco, b) mampuesto de caliza del Páramo, y c) mampuesto de cantos rodados procedentes de las terrazas fluviales y de los conglomerados miocénicos de la Cuenca del Duero.

Palabras clave: Expansión histórica, granito de Cardeñosa, Centro-Sur de Castilla y León, paramento

Abstract: *From the end of the 15th century onwards in the South-Central region of Castilla y León, an area devoid of rocky outcrops, there has been a significant northwards flow of granite building material from the Cardeñosa quarries at the edge of the Spanish Central System. The same granite types of quarries have been selectively used in monuments. A zoning model of a decreasing granite expansion has been determined from Ávila to Valladolid. This is explained by: a) a smooth descending slope, b) the presence of an old road network in the N-S inter-river areas, and c) the demand for resistant material from great centers of power. In parallel, from the basic material of monuments the following types of composite masonry in combination with brick has been established from S to N: a) random quartzite (and schist)-stone rubble masonry, whose blocks come from the Ordovician and Neoproterozoic formations of the Variscan basement, b) rubble masonry made of the Páramo limestone, and c) rubble construction made of quartzite pebbles from fluvial terraces and Miocene conglomerates of the Duero Basin.*

Keywords: *Historic expansion, Cardeñosa granite, South-Central Castilla y Leon, composite masonry*

INTRODUCCIÓN

El área estudiada del Centro-Sur de Castilla y León integra esencialmente el sur de la provincia de Valladolid y la comarca de La Moraña en la de Ávila. Morfológicamente, es una llanura ubicada sobre los terrenos de la Cuenca del Duero. En gran parte, esta vasta zona adolece de recursos pétreos y puede considerarse, en cierto sentido, una "tierra de nadie", es decir, sin adscripción evidente a ninguna formación rocosa masiva. No en vano, durante las épocas medievales progresó tanto la arquitectura mudéjar, basada en el uso del ladrillo. Como es sabido, desde finales del s. XV cambian drásticamente las condiciones socio-económicas y se produce una demanda constructiva que se traduce en la utilización de la piedra granítica del basamento varisco, en concreto, del gran Batolito del Sistema Central. En este contexto sobrevenido, este trabajo pretende, por un lado, establecer los flujos selectivos de piedra desde las canteras graníticas de Cardeñosa y Mingorría (Fig. 1), y, por otro lado, determinar el uso del material básico, no selectivo, que se refleja en los cambios de los tipos de paramento, al competir los "materiales pobres" del basamento con los de las formaciones detríticas o carbonatadas de la Cuenca del Duero.

LAS CANTERAS DE CARDEÑOSA

En las canteras del área de Cardeñosa, situadas en el borde norte del batolito del Sistema Central (Hernández Samaniego *et al.*, 1982; Martín Parra *et al.*, 2008), se distinguen los siguientes tipos de granito objeto de explotación: 1) Granito variedad "gris", ligeramente porfídico biotítico y de mesostasis gruesa (Fig. 1 B1); 2) Granito fino biotítico de tendencia inequigranular porfídica (Fig. 1 B2);

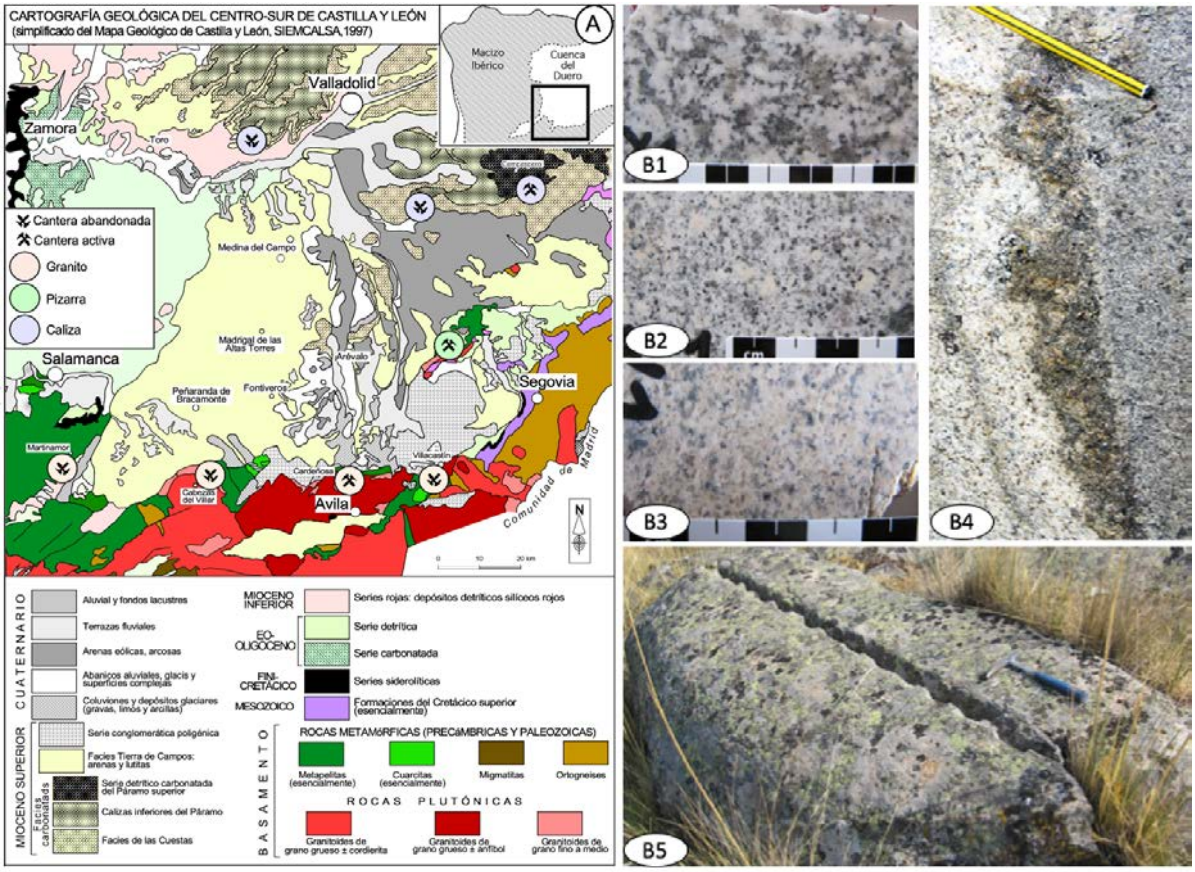


FIGURA 1. A) Cartografía geológica y localización de las principales canteras. A la derecha, granitos de Cardeñosa: B1)"gris", B2) fino biotítico, B3) fino equigranular, B4) contacto con pegmatita entre "rubio" beige y fino noduloso gris y B5) bloques abandonados en las canteras.

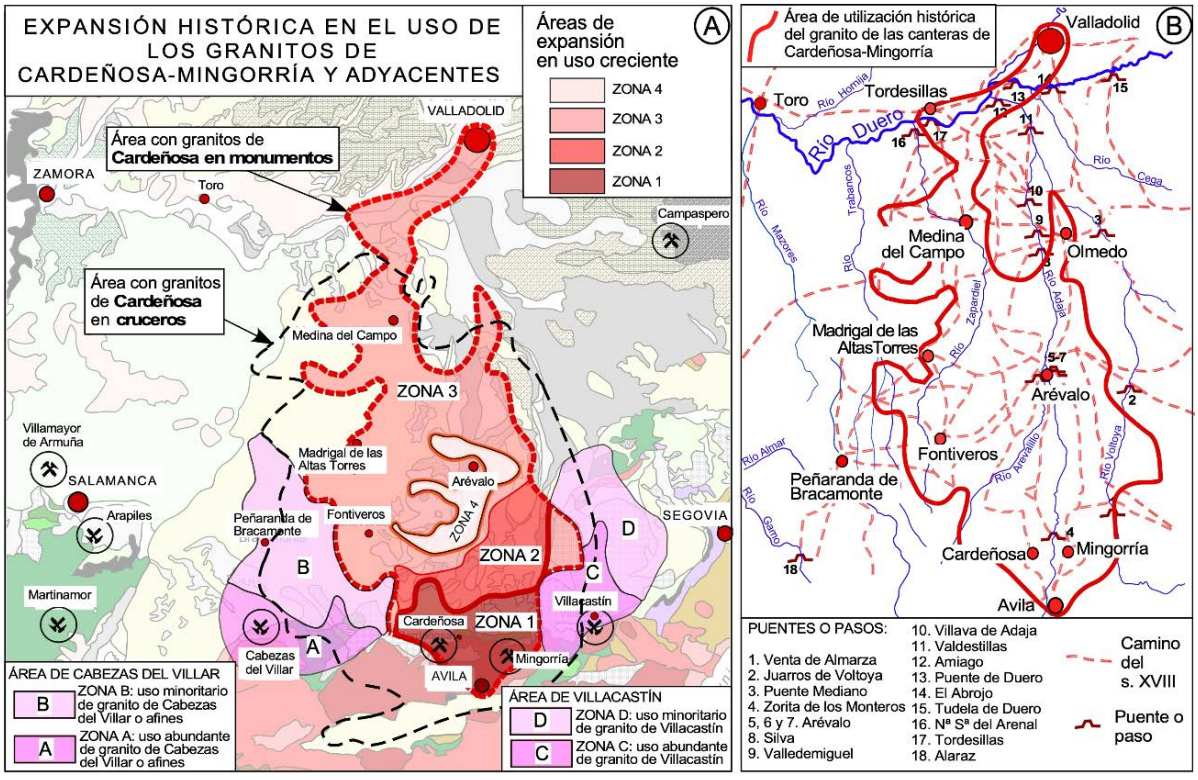


FIGURA 2. A) Áreas de expansión del granito de Cardeñosa en relación con la geología y B) Ídem. en relación con ríos y caminos antiguos



FIGURA 3. Monumentos en las distintas zonas de expansión del granito de Cardeñosa: A) Zona 1, con la iglesia de Riocabado; B) Zona 2, con la iglesia de Martín Muñoz de las Posadas, y C) Zona 3, con la iglesia de Fontiveros

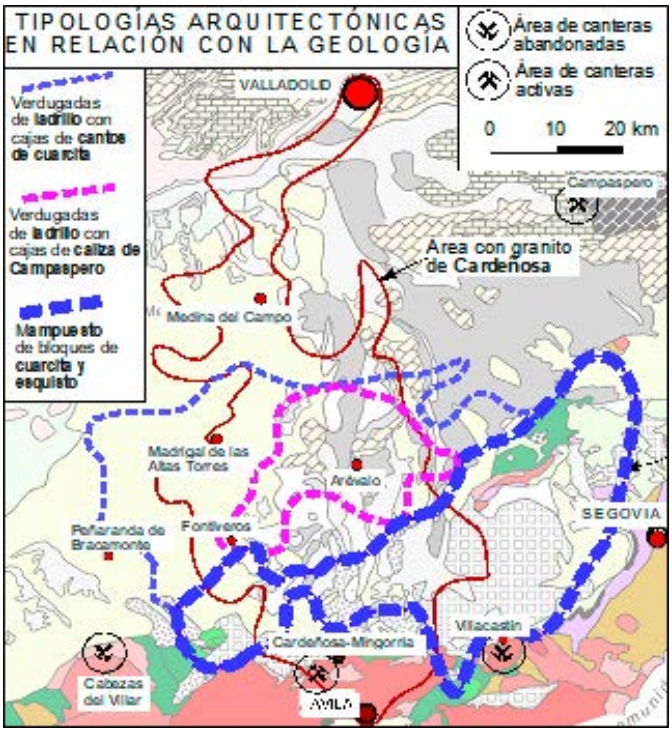


FIGURA 4. Cartografía de los tipos de paramento en relación con la geología.



FIGURA 5. Monumentos representativos de los tipos de paramento: A) Iglesia de Herreros de Suso, con bloques de cuarcita y esquisto; B) Iglesia de Palacios de Goda, con bloques de caliza, y C) Iglesia de Bernuy de Coca, con cantos rodados.

3) Granito equigranular fino o fino equigranular, con biotita y moscovita subordinada (Fig. 1 B3) y de textura frecuentemente nodulosa (Fig. 1 B4 -derecha-); y 4) Granito "rubio", equigranular de grano medio/grueso, de dos micas y de color beige (Fig. 1 B4 -izquierda-). El granito porfídico aparece también con una mesostasis de grano medio ("facies intermedia"). La mayor diferencia entre todos los tipos radica en el tamaño de grano y en el contenido en biotita, disminuyendo ambos factores desde el "gris" al fino equigranular,. Existen numerosos restos de pequeñas labores de cantería en los que se reconocen bloques abandonados y trazas de cuñeras (Fig. 1 B5).

EXPANSIÓN DEL GRANITO DE CARDEÑOSA

Se ha inspeccionado el exterior de los monumentos en 251 localidades del área. Los tipos graníticos de Cardeñosa se han reconocido *de visu*; si bien, con frecuencia, para su identificación se ha tenido en cuenta la utilización conjunta de varios de ellos, en coherencia con la misma asociación que aparece en las canteras (Fig. 1 B4). Los tipos finos han sido utilizados selectivamente desde finales del s. XV en las portadas o, en general, en elementos de talla fina, en contraste con el "gris" que solía ser el material de los zócalos, al igual que el "rubio", usado más tardíamente. Es notable el uso de las distintas facies en columnas de patios y soportales.

Según la abundancia de Granito de Cardeñosa se distinguen las siguientes zonas de S a N (Figs. 2 y 3): ZONA 1, con uso mayoritario o exclusivo; ZONA 2, con uso significativo en diversos elementos, y ZONA 3, con uso minoritario, restringido normalmente al zócalo. El área del uso de los granitos de Cardeñosa para los cruceros no es exactamente igual que para los monumentos, ampliándose en sentido E-O y prolongándose al S por el Valle del Amblés (Fig. 2 A).

TIPOS DE FÁBRICA MURARIA

El material "pobre", no granítico, reconocido en los monumentos, permite establecer la siguiente sucesión de tipos de paramento *grosso modo* de S a N (Figs. 4 y 5): ZONA 1, con mampuesto de cuarcita y esquisto (pórfido y caliza, al E); ZONA 2, con verdugadas de ladrillo y cajas de caliza de Campaspero, y ZONA 3, que rodea a la anterior y consiste en verdugadas de ladrillo y mampuesto de cantos rodados de cuarcita.

DISCUSIÓN

Los siguientes factores explican la expansión al N de los granitos de Cardeñosa: 1) La pendiente regularmente descendente desde las canteras de Cardeñosa (a 1105 m.s.n.m.) hasta Valladolid (a 690 m.s.n.m.). 2) La red antigua de caminos (López, 1769) desarrollada, sobre todo, en los interfluvios N-S (Fig. 2 B). 3) La demanda de material resistente desde últimos del s. XV, plasmada en la vecina Ávila y en los grandes centros de poder de Madrigal de las Altas Torres, Arévalo, Medina del Campo y Valladolid. Y 4) La diversidad de facies graníticas que aportaron una versatilidad constructiva, en contraste con los granitos adyacentes de Cabezas del Villar y Villacastín, ambos de expansión más restringida (Fig. 2 A).

La disposición OSO-ENE subparalela al basamento del Sistema Central de las zonas de tipos de paramento (Fig. 4) tiene, más bien, un control geológico. Así, la procedencia de los bloques de cuarcita y esquisto se relaciona con los derrubios de las sierras cuarcíticas de Solana del Río Almar y de Ojos Albos, y del pequeño macizo de Sª Mª la Real de Nieva. Los bloques de caliza de la ZONA 2 provienen de las calizas del Páramo, aflorantes en Arévalo y en amplias zonas del NE, mientras que los cantos rodados de cuarcita de la ZONA 3 pueden proceder de las terrazas fluviales y de los depósitos conglomeráticos del Mioceno.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido financiado con los proyectos 18KAG8 / 463AC01 (2013) de la Universidad de Salamanca y PGC2018-098151-B-I00 FLA del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

Hernández Samaniego, A., Fernández Carrasco, J., Carreras Suárez, F., Olivé Davó, A., Gutiérrez Elorza, M., Portero García, J.M., Molina, E., Aragonés Valls, E., Aguilar Tomás, M.J., Leal Martín, M.C., López Martínez, N., Capote Villar, R., Pérez González, A., Elízaga Muñoz, E., Corrales, I.,, Sanchez de la Torre, L. y Puigdefábregas, C. (1982): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 506 (Cardeñosa)*. IGME, Madrid.

López, T. (1769): Mapa de la Provincia de Avila, Escala [ca. 1:433.500]. En: *Atlas particular de los Reynos de España, Portugal e islas adjacentes*, Madrid, 1790, tomo I, 17p.

Martín Parra, L.M., Martínez-Salanova, J., Moreno Serrano, F., Contreras López, E., Iglesias, A., Martín Herrero, D., González Lodeiro, F., Bellido Mulas, F. y Junco Aguado, F. (2008): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 531 (Ávila de los Caballeros)*. IGME, Madrid.

SIEMCALSA (1997): *Mapa Geológico de Castilla y León. Escala 1: 400.000*. Ed. SIEMCALSA (J.L. Crespo Ramón, coord.). Valladolid. 459 p.

L'Énova (Valencia), el corazón marmóreo del Buixcarró

L'Énova (Valencia), the marble heart of Buixcarró

M. R. Martí Matias[1]

1 Dir Colegio Divina Providencia. Carrer del Convent. Vinaros. Castelló. CP:12500. apreslavie1@yahoo.es

Resumen: Con los ojos del naturalista Cavanilles creímos, durante siglos, que el llamado mármol valenciano de Buixcarró procedía de Quatretonda y, más recientemente, de Barxeta. Pero estos lugares eran satélites de lo que fue el verdadero centro, la localidad de l'Énova. Allí, desde la villa romana de Publio Cornelio Iuniano, se centralizó la explotación de esta roca marmórea. El Buixcarró empezó siendo el fondo de un mar tropical cretácico que, fosilizado, acabaría en forma de hacha pulida en la prehistoria y continuaría después, como piedra decorativa en todas sus formas y tamaños en época romana, desde el siglo I a.C, para Hispania e Italia, pasaría por el Imperio, época visigoda, islámica en forma de capiteles, lápidas y pila suntuosa, hasta llegar a la puerta románica del siglo XIII de Valencia. Por ahora, l'Énova llega hasta el siglo XVI, siendo borrada al enterrarse bajo campos de naranjos, que ocultaron este eslabón perdido, que debe recuperar su papel de único conjunto de cantera marmórea mejor conservada de la península ibérica, junto a su villa romana, sus protagonistas sobre lápidas y las carriladas. Un lugar fosilizado en el tiempo, y tallado sin descanso.

Palabras clave: L'Énova, Buixcarró, Barxeta, Quatretonda, Xàtiva, mármol

Abstract: *Through the eyes of the naturalist Cavanilles, we believed for centuries that the so-called Valencian marble from Buixcarró came from Quatretonda, and more recently from Barxeta. But these places were satellites of what was the true center, the town of l'Énova. There, from the Roman villa of Publio Cornelio Iuniano, the exploitation of this marble rock was centralized. The Buixcarró began as the bottom of a Cretaceous tropical sea, which fossilized, would end in the shape of polished axes in prehistory, and would later continue as a decorative stone in all its shapes and sizes in Roman times, from the 1st century BC, for Hispania and Italy, would pass through the Empire, Visigothic, Islamic period in the form of capitals, tombstones and sumptuous font, until reaching the 13th century Romanesque door of Valencia. For now, l'Énova reaches the 16th century, being erased by burying itself under orange groves, which hid this missing link, which must regain its role as the best-preserved marble quarry in the Iberian Peninsula, together with its Roman villa, its protagonists on tombstones and cart lanes. A place fossilized in time, and carved without rest.*

Keywords: *L'Énova, Buixcarró, Barxeta, Quatretonda, Xàtiva, marble*

TEXTO PRINCIPAL

En el informe geológico realizado por Gisbert (2019: 1-2, diferenciaba como formaciones litológicas distintas los materiales de las canteras de Barxeta, Quatretonda y l'Énova, situando esta última, localizada en la partida de "Els Francs", en el Cretácico Superior, "Campaniense C 25 c", confirmando su relación con las piezas romanas. Entre la biomicrita recristalizada, de color blanco al amarillo y rosa, destacan los fósiles de murícidos y pectínidos, entre otros.

En 1998, coincidiendo con el vaciado de la documentación del Archivo de Valencia para la realización de mi tesis doctoral (Martí Matías, 1914), hallé en el *Manual de Consells* más antiguo conservado en el Archivo de la ciudad de Valencia, una carta donde el "Ayuntamiento medieval de Valencia", reclama al "Ayuntamento de Xàtiva", que le sean devueltas a un *pedrapiquer* de Valencia, llamado Ponç Riera, las piedras que tallaba y hacía tallar en el término de l'Énova, y que le habían sido confiscadas. Para ello, defienden que en los fueros valencianos se permite a cualquier persona tallar piedra libremente en las montañas valencianas. Este documento está fechado el 1 de junio de 1325. Ese lugar, aún existe, 39º 03'30.6" N, 0.46'01.5" W, y es parte de las canteras históricas, una pequeña parte. Dos lápidas romanas de Buixcarró en la fachada de la iglesia de l'Énova, adelantaban acontecimientos. A principios del siglo XX en la localidad vecina de Barxeta y gracias a la información oral de su antiguo dueño, constaté que en una oquedad se había localizado un hacha pulida, de mármol de Buixcarró, de pequeño tamaño, color rosa-amarillento, junto algunos huesos. Esta sería la primera referencia, un enterramiento del Eneolítico-Bronce.

Existen, en las proximidades a las canteras, "carriladas" talladas en la roca por el desgaste de las ruedas forradas de hierro, equiparables a las que se conservan en Arse-Saguntum, en Moixent o en Edeta. En un momento dado se esconden bajo el asfalto, aunque continúan en dirección hacia el mar al igual que en su camino hacia Xàtiva.

Unen como un hilo las canteras, y aunque en un principio eran un tramo secundario de la ibérica Vía Heraclea, con el cercano yacimiento del "*Alt del Valent*" (en Manuel), en época romana se recicló para drenar la producción.

VIAJE DIACRÓNICO MARMÓREO

En 2003, con la construcción del AVE, apareció una villa romana de la que solo se ha excavado una parte y no entraremos en los despropósitos en ella cometidos. Se cita, como un mantra arqueológico que costará eliminar, una piscina decorativa que se encontraba dentro del mismo corazón de la villa, para refrescarla y reflejar su arquitectura, haciéndola pasar como balsa pútrida para remojar el lino (Albiach y Madaria, 2006: 41-61). Incomprensible en su contexto y más cuando abundantes documentos medievales (época que no destaca por su higiene) prohíben esa actividad cerca de las ciudades por su insalubridad. El lino de *Saetabis*, tan famoso, debió ser enriado en las corrientes cercanas, pero no en medio de la zona residencial, y Publio, junto con su hermanastro Marco Grani Superestes (cuya base de estatua ecuestre, una de las diez existentes en *Hispania*, hemos conservado en Xàtiva) debieron monopolizar tanto este tejido como el mármol, y así llegarían al puerto de Ostia ambos productos.

Habitaciones y termas de la villa, con mármol en sus suelos, zócalos, quicios para puertas, molduras, frisos vegetales, columnas, mosaicos, capiteles, relleno de los cimientos, de las paredes y la cal del mortero. Trece lápidas de l'Énova (sin olvidar otras más que hablan de otras personas de la villa encontradas en Xàtiva o en Roma), ofrecen el nombre de diferentes personajes: Rhodine, Natalis, Leonas, Hymetos, Lucio, Vibio Eutychus, dedicada a Júpiter Optimo, por la salud de Publio Cornelio Iuniano, incluso la de Hércules Invicto, son datadas a finales del siglo II d.C (Corell, 2006a: 135-147). Columnas torneadas como en el Mediterráneo Oriental (Fig. 1), decoración vegetal imperial helenizante y nombres griegos, hablan de la mportación de especialistas y patrones.

Soler (2008: 131) identifica Buixcarró en la villa de los *Quintilii* en Roma. Esta villa fue confiscada por Cómodo en el 182 d.C y se había acabado en tiempos de Marco Aurelio Antonino Augusto (el tercero de los emperadores hispanos), que muere en el 180 d.C, y que se había rodeado de gentes hispanas.

Y ahí, en ese círculo encontramos a un hermano de Publio Cornelio Iuniano, muerto en Roma, y con su lápida citada por Corell (2006b: 65): *C.Cornelius C.f. Iunianus ex Hispania citeriore Saetabistanus* (*CIL* VI, 16247). Así se puede intuir que, bajo Marco Aurelio, Publio Cornelio Iuniano, bajo el control en persona de uno de sus hermanos, pudo establecer una oficina de importación en Roma, tanto de lino setabense como de Buixcarró (y de exportación de mármol de Carrara desde Roma), como pequeña muestra algunas piezas de la misma villa de l'Énova. Además, las dos divinidades encontradas en la villa, *Hercules invicto* (con la misma denominación que la CIL XIII, 7695-759, en la cantera de Brohl y CIL XIV, 3545 en la Tibur) y Júpiter Optimo Máximo, siempre aparecen en *metalla* con altares y hornacinas talladas por las *vexillationes* del Nordeste de la Galia y Germania Superior, como las de Norrov, Brohl, Kruft, Brohtltal, en las canteras de Norroy-lès-Pont-à-Mousson,Hermes (Oise), o en Kriemhildenstuhl, donde la legio XXII (Alfayé y Marco, 2014: 71), en época del emperador Septimio Severo (193-211), recalca aún más el marco temporal de finales del siglo II d.C, dentro de una villa impregnada incluso de las divinidades de la piedra. Al unir por las carriladas, las canteras y la riqueza marmórea de la villa, pude unir a Publio Cornelio con la explotación (Martí Matías, 2007: 169-171). El mundo de la explotación de la piedra, hasta sus creencias, quedan plasmadas hasta en la vida interior de esta villa.

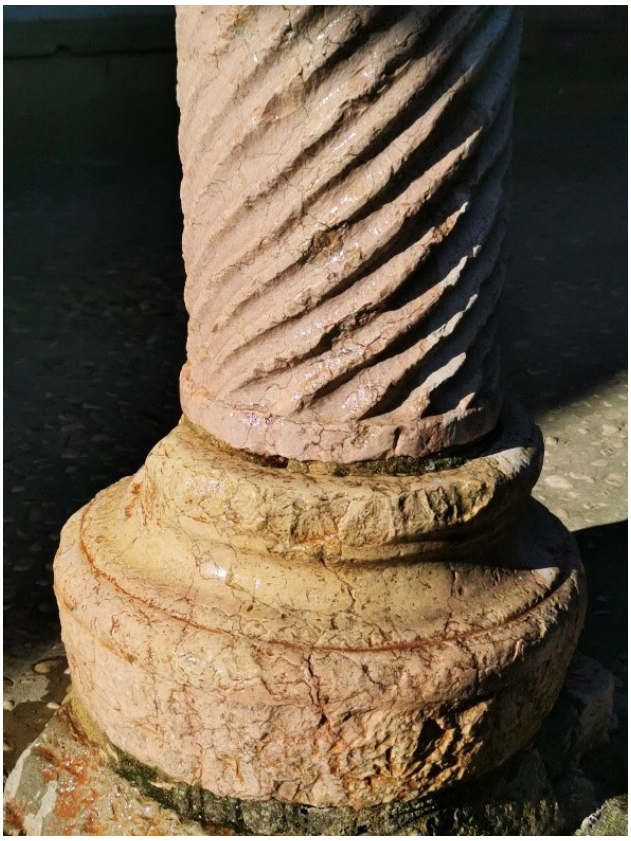


FIGURA 1. Columna torneada imperial, reaprovechada (Ermita Sant Feliu, Xàtiva).

Dentro de ese jardín de Publio, cerca de la estatua del Hércules invicto, estuvo la pieza de mármol importado con una escena de caza, que, tal y como me ha corroborado el señor Giandomenico Spinola, de los *Musei Vaticani*, es una réplica de un original helenístico, del tipo de la casa de los Ciervos de Herculano, y equivalente a la talla de Franzoni con el número de inventario 441 de la *Salla degli Animali* de dichos museos, y puedo aportar, que muestra a Acteón convertido en ciervo atacado por sus propios perros, una afición que Publio pudo practicar por el tipo de bosque de la zona, y que de nuevo, es erróneamente clasificada en la excavación de la villa, como "équido mordido por felino" (Albiach y Madaria, 2006: 76). La presencia de una hornacina tallada en un frente de cantera (Fig. 2), con un hueco para libaciones a modo de cuenco en su interior, en la cantera romana de l'Énova, debe de relacionarse con estas divinidades que también en el corazón de la villa, claman protección como dioses tutelares.



FIGURA 2. Hornacina con hueco para libaciones en la cantera de l'Énova.

Bloques de 6 m de largo (Fig. 3), un ara por terminar y otra aún unida a la roca madre, rota al intentar extraerse en su momento, las marcas de cantero, de cuñas espaciadas y la escoda, fragmentos de ánfora en superficie, una cuña de hierro y dos sobrecuñas, enriquecen el paisaje con tal potencial, que ni el martillo hidráulico, ni voladuras del siglo XX para triturar la piedra, lo eliminaron.

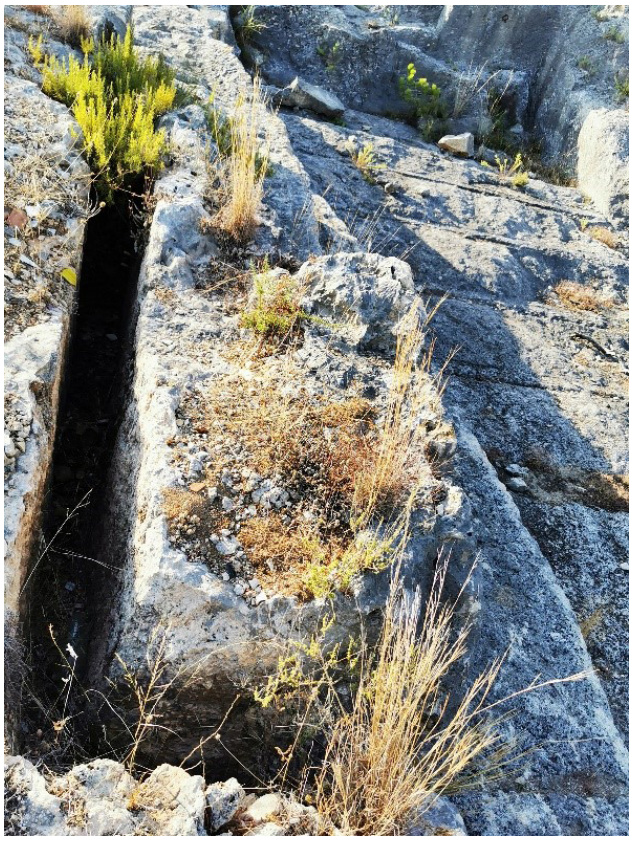


FIGURA 3. Visión de una parte de la cantera romana desde un frente con bloques por extraer y extraídos.

Saetabis, Edeta, Valentia, Saguntum, Dianium, Lucentum, Ilici, Segobriga, Laminium, Toletum, Maqueda, Carthago Nova, Villa de Balazote, *Libisosa, Caesaraugusta, Munigua* (Cebrián, 2013: 162) son algunos de los lugares que emplearon este *Marmor Saetabitanum*. Un pedestal romano reaprovechado, en el siglo VII, para el obispo de Xàtiva, Atanasio, muestra aún el gusto por este tipo de piedra.

Dos cerámicas islámicas locales de los siglos IX-X d.C, encontradas en otra parte de la cantera, fuera de la organizada y geométrica cantera romana, sitúan en esta época presencia humana en el lugar. De época islámica tenemos en el palacio Real de Valencia, un capitel califal del más puro estilo cordobés, adscribible a Abd-al-Rahman III, tallado en Buixcarró. Esta pieza habla ni más ni menos, que de la recuperación definitiva de la *medina Balansiyya*, después de la eliminación de Valencia la Vella, la otra Valencia amurallada del final de la época visigótica, y suplantadora de la Valencia actual. Ibn Hayyan habla del lujo de los Saqálibas de Valencia y Xàtiva después de ser expulsados de Córdoba tras la caída de Hisham II. Y no hace falta que recordemos la pieza Buixcarró, excepcional a nivel internacional, de la Pila de Xàtiva, con escenas humanas de corte y batallas, de la segunda mitad del siglo X (Lerma Alegría *et al.*, 1990: 415-417). Una lápida en árabe datada entre el 1036-1038 y otra del 1150-1165 (Barceló, 1998: 191) se encuentra solo a 97 años de la puerta románica de Valencia (Fig. 4).



FIGURA 4. Puerta Románica Catedral de Valencia Zócalo y jambas de mármol. Columnas y arquivoltas de arenisca.

Conecta así con los talleres islámicos recientemente conquistados (Martí, 2014) y casi contemporáneo al documento de 1325 con la disputa por las piedras de l'Énova. En 1515, se documentan las piedras para pavimentar la sala de la ciudad de Valencia, con 10 carretadas de "*pedra mármol…de Enova*" (AMV, 23 mayo 1515, e3-26).

CONCLUSIÓN

Desde humildes hachas prehistóricas hasta halls de entrada de hoteles de todo el mundo, en la actualidad, el conjunto de Barxeta, Quatretonda y l'Énova (como centro antiguo) entraron en la órbita de la familia de Publio Cornelio Iuniano, que tejió una red comercial que, bajo el apoyo de emperadores hispanos, embarcó su piedra más allá de la península, habiendo ya acaparado multitud de ciudades hispanas en su lista de consumidores marmóreos. La olvidada Énova, con su conjunto, suma de villa, canteras y carriladas, tuvo su continuidad en época medieval islámica, desde el califato a la época taifa, y estando presente ya en época cristiana con la puerta románica de Valencia, llegando l'Énova, por ahora, y con seguridad, al siglo XVI. La llegada del rentable naranjo, cubrió sus *metalla* con tierra fértil, disimulando su presencia, escapándose hasta al mismo Cavanilles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albiach, R. y Madaria, J. L. (2006): *La villa de Cornelius (L'Énova, Valencia)*, Valencia.

Alfayé, S. y Marco, F. (2014): Santuarios en canteras y romanización religiosa en Hispania y Gallia. En: *Santuarios urbanos y del territorio en las ciudades romanas* (Mangas, J. y Novillo, M.A., eds.), 53-86. Madrid.

Barceló, C. (1998): *La escritura árabe en el País Valenciano: inscripciones monumentales*. Universitat de València, 286 pp.

Cebrián, R. (2013): Las canteras de Buixcarró y el uso del marmor Saetabitanum. En: *El marmor en Hispania: explotación y difusión en época romana.* (V. García-Entero, ed.). 155-168. Madrid,

Corell, J. (2006b): Las inscripciones romanas. En: *La villa de Cornelius (L'Énova, Valencia)*, Valencia.

Corell, J. (2006a): Inscripcions romanes de Saetabis i el seu territori. *Fonts Històriques valencianes*, 135-147. Valencia.

Gisbert, J. (2019): Informe sobre singularidad y valor patrimonial de la cantera histórica situada en el paraje de "Els Francs" (Enova), 5 pp. Zaragoza.

Lerma Alegría, J.V., Barceló, C. y Cressier, P. (1990): Basas y capiteles califales inéditos procedentes del Palacio Real de Valencia. *Archivo de prehistoria levantina*. 20, 407-433. Valencia.

Martí Matias, M.R. (2014): *El genoma de una ciudad: Valencia. (Bioarquitectura, orígenes hasta época foral).* Tesis Doctoral, Univ. Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/43591.

Martí Matias, M.R. (2007): Improntas de trabajo artesano en el campo valenciano. En: *La Impronta de Roma. Monumentalización de las ciudades y esplendor del medio rural (204 a.C-711). La Gran Historia de la Comunitat Valenciana*, t. 2, 169-171. Valencia.

Soler, B. (2008): Los marmora de la Tarraconense y su difusión en Carthago Nova. Balance y perspectivas. En *Marmora hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana* (T. Nogales y J. Beltrán, eds.), 121-165. Roma.

Caracterización Petrofísica del travertino de Alfacar como material de construcción

Petrophysical characterization of Alfacar travertine as construction material

P. Martín-Escudero[1], L. Crespo-López[2], E. Sebastián Pardo [1, 2] y G. Cultrone[1]

1 Dpto. de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada. 18071 Granada. pablougr95@gmail.es
2 TESELA, Materiales, Innovación y Patrimonio (Spin-Off Universidad de Granada). Gran Vía de Colón,48 5º2, 18010 Granada (España)

Resumen: La Piedra natural siempre ha tenido una gran importancia desde el punto de vista económico, técnico y estético. Además, es resistente y duradera, aunque con ciertas condiciones que limitan su uso y calidad como material de construcción. El travertino de Alfacar es una de esas rocas que destacan por su belleza ornamental y ha sido utilizada los últimos siglos principalmente en edificios de culto religioso. En muchas de estas construcciones de Granada, este material presenta una deterioración importante.

Por ello, se han realizado una serie de ensayos con el objetivo de caracterizar esta roca, determinar las características del material para su uso como piedra ornamental y predecir después de estas comprobaciones, posibles patologías. Esto nos permitirá saber los factores de riesgo, desarrollar planes de limpieza, mejorar la conservación, y por último, métodos de prevención que garanticen una restauración adecuada y el posible uso en la construcción.

Abstract: *Natural stone has always had a great importance from an economic, technical and esthetic points of view. In addition, it is durable and resistant, although there are certain conditions that limit its use and quality as building materials. The Alfacar travertine is one of these rocks that stand out for its ornamental beauty and it has been used in last centuries mainly in buildings of religious cult. In many of the buildings of Granada, this material presents an important deterioration.*

For this, a series of tests were carried out whit the objective to characterization of this stone, it to determine the characteristics of the material for its use as ornamental rock and to predict after these realizations, possible deterioration pathologies. This will allow us to know the risk factors, to develop cleaning plans, correct conservation, and finally, preventive methods able to guarantee an adequate restoration and possible use in construction.

Keywords: *Ornamental stone, Characterization, Petrophysical properties, Hydration, Durability.*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las rocas sedimentarias que se utilizan ampliamente en el ámbito de la construcción pueden ser utilizadas en elementos de sillería o partes decorativas, por lo que tienen un gran interés económico y artístico-monumental. La calidad de una roca ornamental deriva de su composición, de sus propiedades petrofísicas (resistencia mecánica, densidad, porosidad, conductividad térmica, acústica, etc.), de su alterabilidad (resistencia a la lluvia ácida, resistencia a las heladas...), además de su belleza ornamental. El travertino de Alfacar ha desempeñado un importante papel en el sector de la construcción durante los últimos siglos, especialmente en la región granadina (Gisbert, 2002). Su explotación comenzó en el siglo XVI y cesó aproximadamente a comienzos del siglo XX. En el sector industrial, esta roca destaca por su homogeneidad cromática de color beige claro y un aspecto cavernoso muy característico y llamativo. Los principales objetivos en este estudio han sido los siguientes:

1 Determinar las características químicas y mineralógicas del travertino de Alfacar.

2 Analizar el comportamiento de roca frente a diferentes ensayos, para determinar sus propiedades petrológicas y físicas.

3 Observación del deterioro de la roca a lo largo del tiempo en los edificios donde se ha usado y propuesta de métodos de conservación, limpieza y restauración.

Este material se ha utilizado principalmente en la arquitectura religiosa, así como en la arquitectura civil y residencial (Molina Piernas, 2015). Se puede encontrar en fachadas, sillares, columnas, bordillos y pórticos. Algunos de los edificios históricos más significativos de Granada son las iglesias de San Justo y Pastor y del Salvador, la Real Chancillería, el Hospital Real, junto con las diferentes localizaciones del barrio del Albaicín.

ESTRATIGRAFÍA Y CANTERAS

El travertino de Alfacar procede de la Cordillera Bética, más concretamente de la Cuenca de Granada. Esta cuenca es una depresión intramontañosa post-orogénica situada entre la Zona Interna y la Zona externa de la Cordillera.

Los materiales que rellenan la cuenca son muy jóvenes ya que datan del Cuaternario (González y González, 2013). El travertino que se ha estudiado en este trabajo procede de las canteras del municipio de Alfacar (Fig. 1) situadas en la zona noreste de la Cuenca de Granada y datan de edad Pleistoceno-Holoceno (Braga *et al.*, 1990). Se sitúan sobre un paquete de arcillas y costras calcáreas, intercaladas con derrubios de ladera y arcillas rojas y arenas.

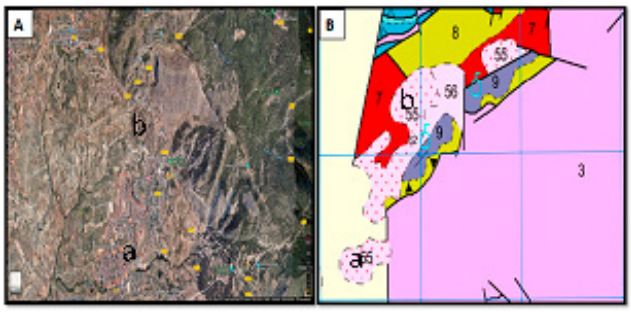


FIGURA 1. A) Vista aérea de la localidad de Alfacar (Fuente: Google maps); B) Contexto geológico de la zona, el afloramiento identificado con el nº 55 corresponde al travertino. Se han indicado en ambas fotos la localización de los dos afloramientos donde se ha realizado el muestreo (a y b) (Fuente: Lupiani Moreno *et al.*, 1985)

MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo se ha realizado en dos afloramientos diferentes, uno situado al norte del pueblo de Alfacar y otro en el mismo pueblo, en el barrio de las canteras. El corte de las probetas se ha realizado de acuerdo con las diferentes Normas de cada ensayo. Se han empleado los siguientes estudios y técnicas de análisis:

La observación mediante un Videomicroscopio (EVL) se realizó con el modelo Leica VDM 2000 y el software Leica Application Suite para la obtención de fotografías.

El estudio mineralógico se ha realizado mediante la difracción de rayos X (DRX) según el método de polvo desorientado, utilizando el difractómetro X´Pert PRO con radiación de cobre, equipado con rendija automática y sistema de rotación de muestras. La observación de la textura se ha realizado con el microscopio óptico de polarización (MOP) modelo Carl-Zeiss "Jenapol-U" equipado con una cámara Nikon D7000.

Para la medición de los parámetros cromáticos de la roca, se ha utilizado un espectrofotómetro Konica Minolta modelo CM-700d junto al programa Spectra Magic NX. Obteniendo los valores de luminosidad y cromaticidad.

Los ensayos hídricos se realizaron a unas condiciones ambientales constantes de temperatura 20ºC y HR 20%, con las cuáles se han podido determinar los datos de porosidad y densidad, así como el comportamiento frente al agua, llevando a cabo pruebas de absorción libre, absorción forzada y desorción sobre probetas cúbicas de 5 cm de arista, así como ensayo de permeabilidad al vapor de agua e higroscopicidad.

Los ensayos se repitieron para optimizar los resultados debido al comportamiento tan heterogéneo que presenta la roca frente al agua.

Para la propagación de ondas sónicas se ha utilizado el equipo Parametrics HV Pulser/Receiver 5058 PR, utilizando transductores de 1Mhz, que han permitido conocer la velocidad de las ondas elásticas en el interior de la roca.

Con la ayuda de los ensayos mecánicos se han determinado la resistencia a la deformación, compresión simple y flexión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características petrográficas:

A escala macroscópica destaca una estructura de baja densidad, con la presencia de coqueras de escala centimétrica, generadas a partir de la descomposición de los vegetales que quedaron encajados en el interior de la roca. Visualmente la porosidad ronda el 20% de la roca.

El travertino de Alfacar es de color beige claro muy homogéneo, que no presenta óxidos en ninguna sección y se pueden observar cristales de mayor tamaño correspondientes a calcita. La homogeneidad y porosidad de esta roca la hace muy interesante en su uso arquitectónico, ya que confiere un aspecto visual muy característico y prácticamente único (Molina Piernas, 2015).

Mineralógicamente se trata de una roca casi monomineral, predominando un 97% de calcita ($CaCO_3$) y un 3% de dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), presentando también cuarzo (SiO_2) como mineral accesorio. En el análisis MOP se han diferenciado principalmente dos fases, micrita (componente petrológico que encontramos formando la matriz de la roca) y esparita (agregados de cristales de calcita o aragonito). La micrita rara vez aparece en el interior de lo que pudo ser en su día una estructura orgánica, mientras que los cristales de esparita, los encontramos rellenando los poros resultantes de la descomposición orgánica, por lo que su depósito fue posterior.

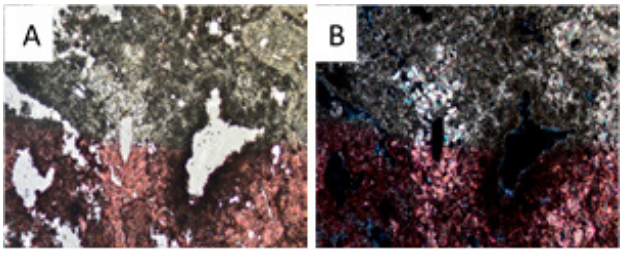


FIGURA 2. Microfotografías realizadas con un solo polarizador (A) y con nicoles cruzados (B) en las que se observa un agregado de cristales de esparita de mayor tamaño en el centro de la figura. La lámina ha sido teñida parcialmente (mitad inferior de la imagen) con Rojo de Alizarina.

Parámetros hídricos:

El comportamiento del travertino varía frente al agua de una muestra a otra (Fig. 3), posiblemente debido a dos causas:

1 El elevado tamaño de los poros dificulta las mediciones, ya que la roca no consigue retener el agua que almacena en la absorción libre o forzada, antes de realizar la medida.

2 Las probetas han sufrido un desmoronamiento inicial en las primeras horas de los ensayos, debido al hinchamiento del material que ha provocado una expansión volumétrica y leves fracturas en los bordes de las muestras.

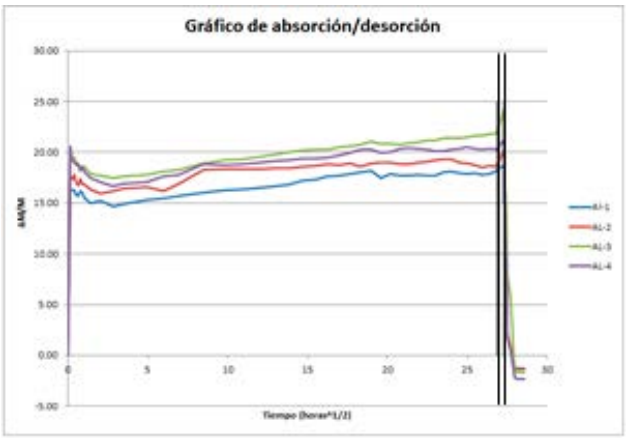


FIGURA 3. Curvas de absorción libre de agua, absorción forzada y desorción de diferentes muestras de travertino de Alfacar. El límite entre ensayos se encuentra delimitado por las líneas negras verticales, correspondiendo la primera sección a la absorción libre, la segunda sección a la absorción forzada y finalmente la desorción.

La roca ha resultado tener una absorción muy alta de agua (con un coeficiente de saturación del 81.6%), la cual corresponde con las rocas de alta porosidad, resultados que difieren de otras clases de travertino que se pueden encontrar en otras partes del mundo (Alonso *et al.*, 1987).

En el ensayo de desorción, las muestras se secaron en apenas 24 horas, lo que le confiere un comportamiento ideal frente al agua, evitando alteraciones químicas en la roca. Cabe destacar los valores negativos al final del ensayo debidos al desmoronamiento a lo largo del mismo.

En el ensayo de higroscopicidad, se ha podido conocer la capacidad de transmisión de líquidos en el interior de la roca bajo la presión atmosférica, con unos valores de 0.2 g/m^2 x 24h de media, ya que variaban de una muestra a otra por la diferencia de porosidad.

En el ensayo de capilaridad se ha obtenido un coeficiente de capilaridad de 275.42 g/m^2, un valor considerablemente alto, debido a que las heterogeneidades favorecen el ascenso del agua. Se debe destacar que, tras 20 días de ensayo, no se alcanzó la saturación de la muestra, con un valor de ascenso medio capilar de 0.82 cm/min. Además, en las zonas donde la roca presenta bandeado, se ha comprobado que la velocidad de ascenso capilar aumenta considerablemente.

Propiedades cromáticas

En las rocas sedimentarias existen tres factores fundamentales que condicionan el color: 1) presencia o ausencia de minerales cromóforos, 2) el tamaño cristalino de los constituyentes de la roca y 3) el grado de oxidación y presencia de materia orgánica.

La homogeneidad cromática de la roca, ha permitido realizar el análisis en 8 muestras diferentes y en cada una de sus caras, destacando el valor de desviación típica tan pequeño, que nos asegura una homogeneidad plena en todo el afloramiento de la roca y una luminosidad muy alta.

Propiedades dinámicas

Mediante la propagación de ultrasonidos se han determinado los valores de velocidad de las ondas S (1159.9 m/s) y P (2319.9 m/s), el coeficiente dinámico de Poisson, el módulo dinámico de Young, el módulo dinámico de cizalla, el módulo dinámico de compresibilidad y la anisotropía.

Los valores de anisotropía total son altos, similar a otros travertinos, mientras que la velocidad de las ondas P y S son bastante bajas en comparación con los valores resultantes de otras investigaciones (Molina Piernas, 2015). El valor del módulo dinámico de Young (45,3 GPa), indica un comportamiento frágil.

Frente al ensayo de flexión ha resultado tener un valor de resistencia de 11,16 MPa, mientras que, en el ensayo de compresión simple, se han obtenido resultados comprendidos entre 3,26 MPa y 12,40 MPa. Estos resultados se deben a la heterogeneidad interna de la roca, que al fracturarse se han podido apreciar grandes coqueras en su interior y lo que ha condicionado que la rotura no fuera de manera lineal.

DETERIORO Y CONSERVACIÓN DEL TRAVERTINO DE ALFACAR

El deterioro de la roca que se ha observado, puede ser tanto de origen químico como físico y en algunos lugares se puede apreciar de manera muy acentuada. Se debe principalmente a su porosidad eficaz y la interconexión entre poros, lo que permite una circulación libre por el interior de la roca de los fluidos.

Los daños más comunes en esta roca suelen ser la pérdida de material o fisuración (Fig. 4), que se debe al efecto agresivo que posee agua contra la superficie, las acumulaciones de polvo que terminan generando pátinas oscuras debido a la contaminación de los vehículos y las pintadas que se han realizado en numerosos edificios.

Los métodos de restauración más frecuentes utilizados han sido limpieza manual, métodos físicos, mecánicos y ultrasonidos, principalmente en las costras de contaminación que se generan en las partes bajas de la fachada.

Uno de los métodos de actuación más utilizado en el travertino es el uso de consolidantes, principalmente para solucionar el problema de porosidad, no rellenando plenamente los poros, para que la roca permita el movimiento del agua. En algunas fachadas del barrio del Albaicín se han aplicado capas de pintura impermeable con finalidad de evitar la absorción del agua en el material.



FIGURA 4. A) Real Chancillería. B) Iglesia del Salvador. C) Hospital Real. Granada.

CONCLUSIONES

El estudio petrográfico ha proporcionado datos importantes sobre la calidad técnica del travertino de Alfacar:

El estudio del sistema poroso ha permitido conocer la calidad y durabilidad de la roca. El valor obtenido del comportamiento de la roca frente a la absorción de agua fue muy alto, lo que indicaría facilidad a sufrir daños en condiciones de saturación, pero se ve compensado con su alta capacidad de desorción. Los poros son, además, susceptibles de ser rellenados con cemento de marmolista (emplastecido), siempre que tenga un color que no desentone con el de la roca.

El color crema de la roca medido en superficies secas y húmedas, indica la ausencia de minerales cromóforos (Lo que se ha podido comprobar en los resultados de DRX), lo que asegura que el color de la roca variará mínimamente a lo largo del tiempo ante la presencia del agua. Además, uno de los mayores problemas que presentan las rocas ornamentales, es la heterogeneidad estética del material, lo que no ocurriría con este material.

En el ensayo de ascenso capilar se observa cómo en las zonas de bandeado el agua circula más rápidamente, por lo que, a la hora de usarse en construcción, debería evitarse colocar el bandeado en dirección vertical.

Desde el punto de vista mecánico, su comportamiento es muy irregular, debido a que no se puede prever con fiabilidad la porosidad interna de la roca, lo que podría causar graves problemas en algunas situaciones de grandes cargas.

Finalmente, el travertino de Alfacar presenta características estéticas idóneas para su uso como roca ornamental, pero no desde el punto de vista petrofísico-mecánico, lo cual provocó el cese de su producción buscando nuevas alternativas.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación RNM 179 de la Junta de Andalucía y el Proyecto de Investigación MAT-2016-75889-R.

REFERENCIAS

Alonso, F.J., Esbert, R.M. y Ordaz J. (1987): Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías. *Boletín Geológico y Minero*, 98: 226-237.

Braga, J.C., Martín, J.M. and Alcalá, B. (1990): Coral reefs in coarse-terrigenous sedimentary environments (Upper Tortonian, Granada Basin, Southern Spain). *Sedimentary Geology*, 66: 135–150.

Gisbert, J. (2002): *Las humedades y el deterioro de la fábrica pétrea. En: Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología.* Equipo Arbotante, Univ. Zaragoza. Tomo I. 207-228.

González, J. y González, Mª. (2013): *Las acumulaciones tobáceas.* Dpto de Geografía, Univ. Autónoma de Madrid, 2: 19-35.

Lupiani Moreno, E., Soria Mingorance, J. García Hernández, M., Martín Martín, J., Fernández Martínez, J., Rodríguez Fernández J., Sandoval Gabarrón,J., Tavera Benítez, J.M., Company Sempere, M., Martínez Gallego, J., González Donosos, J.M., Linares Rodríguez, D., Serrano Lozano, F., Sanz de Galdeano, C., Ruiz López, J.L., Puga, E., Rodríguez Badiola, E., Serrat Congost, D., Vera Torres, J.A., Baena Pérez, J., y Pérez González, A. (1985): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1009 (Granada).* IGME, Madrid.

Molina Piernas, E. (2015): *Influencia de la textura, del sistema poroso y del acabado superficial en la durabilidad de areniscas y travertino explotados en Andalucía y utilizados en construcción*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 323 p.

Aproximación a la cantería histórica en el Altiplano Granadino: comarca de Huéscar (Andalucía)

Approximation to the historic quarrying in the North sector of Granada province: Huescar region (Andalusia, Spain)

J. Martínez-Martínez[1], E. Álvarez Areces[1], J. Fernández Suárez[2] y J.M. Baltuille Martín[1]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

Resumen: La comarca de Huéscar presenta características geológicas-geográficas poco propicias para la cantería, bien por la inaccesibilidad de las zonas de sierra, bien por la falta de afloramientos en la altiplanicie, o bien por las características de los materiales existentes. Este complejo panorama cantero no inhibió el trabajo de la piedra y su empleo en el patrimonio arquitectónico, sino más bien, obligó a optimizar la explotación de los recursos locales, limitando al máximo la importación de materiales desde regiones más lejanas. Los principales litotipos empleados como material de construcción en la comarca son diferentes variedades de caliza travertínica, tobas calcáreas y una caliza gris masiva rica en algas rojas. Además, es interesante la alta diversidad de tipologías de áreas extractivas y los diferentes métodos de extracción de bloques empleados, los cuales se agrupan en tres tipos principales: 1) explotaciones extensivas dispersas, con bloques obtenidos mediante descalce y caída (asociadas a la explotación de calizas travertínicas); 2) explotaciones intensivas escalonadas, con extracción de bloques mediante rozas a pico (calizas travertínicas y tobas) y 3) explotaciones intensivas en escarpes, con voladura y retallado de los bloques caídos (calizas masivas).

Palabras clave: Canteras históricas, patrimonio arquitectónico, Granada, toba, travertino.

Abstract: *Huescar region (Granada province) presents complicated geological-geographical characteristics that make difficult the stonework: on the one hand, the inaccessibility of the mountainous areas; on the other hand, the lack of outcrops in the plateau; and finally, the low profile of the available materials. This complex quarrying panorama did not inhibit the stonework and the use of stone as building material in the local architectural heritage. Indeed, it forced to optimize the exploitation of local resources, limiting to the maximum the import of foreign materials. The main lithotypes used as building material in the region are different varieties of travertine limestone, calcareous tuffs and massive grey limestone rich in red algae. The most interesting features of the stonework of the Huescar region are the diversity of types of extractive areas and the different used methods for rock block extraction, grouped into three main types: 1) extensive dispersed exploitations with blocks obtained by means of undermining and block falling methods (especially used for travertine limestones); 2) stepped intensive exploitations with grooves made by pickaxes (used in travertine limestones and tuffs); and 3) intensive exploitations in cliffs, with blasting and reworking of the fallen blocks (massive limestones).*

Keywords: *Historic quarry, architectural heritage, Granada, tuff, travertine*

INTRODUCCIÓN

La comarca de Huéscar corresponde a la zona más nororiental de la provincia de Granada (Fig. 1), limítrofe con la comarca de Baza al sur, junto con la que conforma el Altiplano Granadino. La realidad geográfica de esta comarca está marcada por las altiplanicies del surco intrabético, que ocupan más del 70% de su extensión, y que limitan con las zonas serranas septentrionales (sierras de Castril, Seca, Duda, Marmolance, La Sagra y Taibilla). Desde el punto de vista geológico, se reconocen tres unidades morfoestructurales: el Complejo prebético (sierras de Castril, Seca y Taibilla), el Complejo subbético (sierras de Duda, Marmolance, Montilla, La Sagra y Orce) y, por último, la depresión postorogénica que da lugar al altiplano. Litológicamente, las zonas prebética y subbética presentan un predominio de calizas, margas y dolomías, en general muy compactas, que contrastan fuertemente con los materiales poco consolidados del relleno postorogénico de la depresión neógena, en los que predomina las rocas evaporíticas (yesos y margas yesíferas), arenas, areniscas, conglomerados, arcillas y calizas.

Esta realidad geográfica-geológica dificulta fuertemente la extracción y el trabajo de la piedra en época histórica, condicionando inevitablemente su empleo en el patrimonio arquitectónico de la región. Por una parte, la escarpada orografía de la zona serrana y la dureza general de los materiales que en ella afloran, no propician las labores de cantería, ni el transporte de los bloques hasta el punto de consumo, ofre-

ciendo en general materiales poco trabajables que, en el mejor de los casos, pueden ser idóneos para mampostería y/o sillarejos, pero que no permiten la labra y talla de piezas elaboradas. Existen, sin embargo, explotaciones modernas de roca ornamental en las sierras de Castril (variedad comercial *Emperador Castril*) y Marmolance (variedad comercial *Crema Huéscar*). Por otra parte, la situación en el altiplano es diametralmente opuesta. La falta de relieves limita las labores de extracción a los afloramientos asociados al encajonamiento del sistema fluvial, quedando el altiplano caracterizado por extensos niveles subhorizontales de materiales evaporíticos, detríticos y carbonáticos con baja cohesión (en términos generales) y, por lo tanto, poco interesantes desde el punto de vista de la cantería.

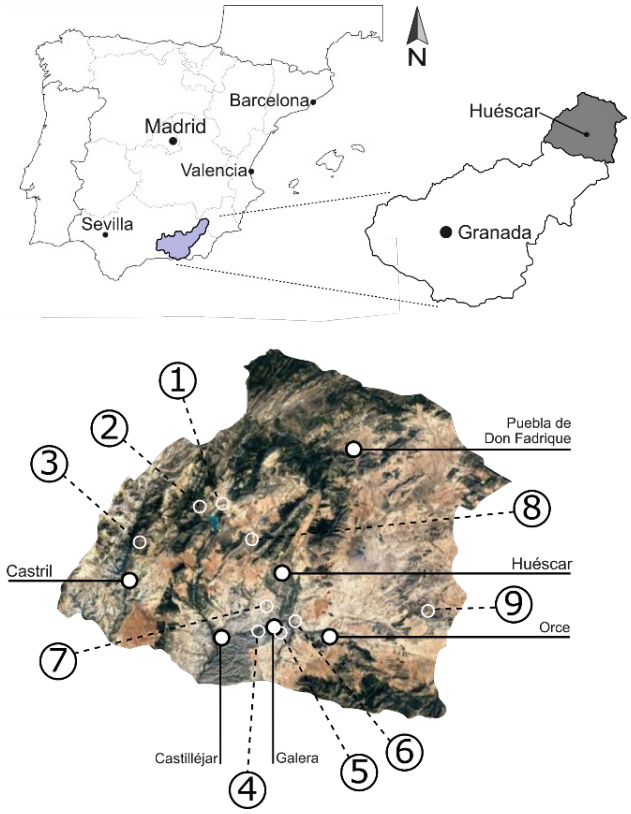


FIGURA 1. Localización de la comarca de Huéscar y de sus principales municipios. Localización de las principales áreas de cantería histórica: (1) Cortijo del Salado; (2) Las Fuentes; (3) Llano de Los Tubos; (4) Alpanchía-Cueva Tío Reinón; (5) Alpanchía-Encantada; (6) Los Cejos; (7) El Cerezo; (8) Ermita de la Virgen de la Cabeza; (9) Monte La Cantera.

Este complejo panorama cantero no inhibió el trabajo de la piedra y su empleo en el patrimonio arquitectónico, sino más bien, obligó a optimizar la explotación de los recursos locales, limitando al máximo la importación de materiales desde regiones más lejanas. De hecho, la comarca de Huéscar cuenta con un destacable patrimonio arquitectónico construido en piedra, que recoge obras gótico-renacentistas de finales del s. XV (iglesia de Santiago de Huéscar) y XVI (entre las que destaca la Colegiata de Santa María la Mayor de Huéscar), monumentos neoclásicos como la iglesia de la Anunciación de Orce (s. XVIII) o construcciones civiles como la conducción hidráulica del Canal de Carlos III (s. XVIII-XIX) o el Puente de Hierro de Galera (s. XX). Muchos de ellos considerados Bien de Interés Cultural, si bien las referencias a la cantería histórica asociada a su construcción son inexistentes en la gran mayoría de los casos.

Los datos recogidos en este trabajo son resultado de los últimos avances realizados en el marco del Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico, Programa INCHaPA (Baltuille Martín *et al.*, 2016), llevados a cabo dentro del Convenio suscrito entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España (BOJA, nº. 8, de 9 de enero de 2019).

RESULTADOS

La Tabla I recoge los principales tipos petrológicos explotados en las canteras históricas de la comarca de Huéscar y algunos ejemplos de los principales monumentos en los que fueron utilizados.

Se podría considerar, a grandes rasgos, que el litotipo de referencia como material de construcción óptimo en la comarca de Huéscar es una caliza travertínica (puntualmente puede mostrar incluso rasgos tobáceos) que aflora en bancos subhorizontales de potencia variable (entre 1 y 1,5 m) y que lateralmente (a escala kilométrica) sufre fuertes cambios laterales de facies hacia términos más margosos. Estos niveles calcáreos pueden mostrar coloraciones pardas, marrones o blanquecinas, y se encuentran intercalados entre niveles margosos y/o areniscosos dentro de la sucesión estratigráfica del depósito sedimentario neógeno. Con este litotipo se tallaron sillares, sillarejos, molduras y cornisas, más o menos elaborados, para las principales construcciones de Huéscar, Galera y Orce.

Otro litotipo de importancia regional es la toba calcárea, que aflora en grandes volúmenes asociados a la precipitación a partir de surgencias de ladera en el Llano de los Tubos (Castril), en Las Fuentes (Huéscar), en la pedanía de Duda (Huéscar) y en El Salto de la Fábrica (Puebla de Don Fadrique). Hay evidencias de extracción de bloques en los dos primeros edificios tobáceos, asociados a la construcción de la iglesia de Castril (el primero) y a las construcciones hidráulicas del Canal de Carlos III (el segundo). Probablemente, la toba de El Salto se empleará también en la construcción de la iglesia de Puebla de Don Fadrique, aunque no se han preservado evidencias de extracción de bloques en el afloramiento.

Para las obras del Canal de Carlos III se empleó, además de la toba de Las Fuentes, una caliza masiva gris con abundancia de algas rojas, extraída de los relieves próximos al Cortijo del Salado. Esta caliza, conocida localmente como *piedra viva*, se empleó en los elementos estructurales, cimientos y tramos inferiores de la construcción. Su uso se compaginaba con la toba, muy porosa y ligera, destinada a los tramos superiores de muros, dovelas de arcos y bóvedas y remates.

Dentro de la optimización de la explotación de los recursos locales, cabe destacar la única cantera histórica de roca con fines ornamentales (en vez de usos estructurales) localizada en la comarca. La zona extractiva se identifica en las inmediaciones de la ermita de la Virgen de la Cabeza (Huéscar) y de ella se extrajo una caliza roja-gris jurásica, con facies características del *Ammonitico Rosso*, y que se empleó exclusivamente (según los datos existentes) en la portada principal de la colegiata de Huéscar y en elementos muy concretos de viviendas particulares de Huéscar. Actualmente no se reconocen vestigios de actividad extractiva en el entorno de la ermita, si bien es probable que hayan quedado cubiertos con la construcción y ampliación de la propia ermita y sus espacios anexos (s. XVII-XX), la modificación del trazado y ampliación de la carretera y la creación de nuevos campos de cultivo en las inmediaciones. El empleo de material procedente de este afloramiento en la portada de la Colegiata está avalado por la compatibilidad, tanto en las características petrológicas como en las dimensiones de los bloques acorde a la potencia de los estratos. Por otra parte, la actividad extractiva en el área de la ermita está probada por la existencia de bloques abandonados (y moderadamente trabajados).

La explotación y optimización de los recursos pétreos locales se enriqueció con la aportación de materiales foráneos. Destaca la importación para la construcción de la Colegiata de Huéscar y la iglesia de Puebla de Don Fadrique de una calcarenita de grano fino y puntualmente bioturbada, procedente de las canteras de Celda (Murcia) (Pozo Martínez, 1998). Otra calcarenita procedente de Bácor-Olivar (según referencia oral) se empleó para la construcción de las portadas y muro sur de la iglesia de Castril. Por último, es frecuente encontrar en los monumentos de la comarca piezas singulares elaboradas con mármol blanco procedente de las canteras de Macael (Almería).

Uno de los aspectos más interesantes de la cantería histórica en la comarca de Huéscar es la coexistencia de canteras explotadas mediante diferentes técnicas (Fig. 2). Por una parte, las canteras de Las Fuentes (tobas calcáreas) y La Cantera (explotación de calizas travertínicas próxima a Venta Micena) muestran una explotación escalonada intensiva (Bessac, 2003). Los bloques fueron extraídos a pico y en ellas se observan los vestigios asociados a este proceso de extracción: surcos, bloques adosados al macizo, frentes y explanadas, marcas de pico, etc.

Un método diferente se empleó en las áreas de extracción del Cortijo del Salado, donde se extraía la *piedra viva* para el Canal de Carlos III. En este caso, la elevada resistencia mecánica de la roca, su cohesión y su baja fracturación dificultaba enormemente la extracción de bloques regulares a pico, por lo que se procedía a la voladura de grandes bloques del escarpe del relieve mediante dinamita y al retallado posterior (con pico y maza) de los bloques irregulares resultantes. En estas áreas de extracción es posible reconocer todavía marcas de barrenos y grandes bloques de piedra a medio tallar abandonados a los pies del monte.

Por último, existe un tercer proceso de extracción de bloques que es, además, el más frecuente en la comarca de Huéscar. Este tercer método se emplea en la explotación de los niveles carbonatados competentes (calizas travertínicas) que afloran subhorizontalmente entre niveles poco cohesivos (margas, arenas, areniscas poco cohesivas, etc.).



FIGURA 2. Ejemplos de áreas extractivas históricas de la comarca de Huéscar: Las Fuentes (arriba-izquierda); Monte La Cantera (arriba-derecha); Cortijo del Salado (abajo-izquierda); Alpanchía-Cueva del Tío Reinón (abajo-derecha).

La explotación de estos estratos es dispersa-extensiva y puede seguir dos procesos extractivos en función de la posición relativa del estrato de interés dentro de la secuencia estratigráfica. Si el estrato se encuentra a media altura dentro de la secuencia estratigráfica, su explotación se realiza en dos fases. En primer lugar, se descalza el nivel competente (por erosión natural o por trabajo manual) y posteriormente se realiza el quebrado del estrato-cornisa resultante mediante mazas. Si, por el contrario, el nivel competente constituye el estrato superior de la serie, entonces los bloques se arrancan directamente mediante barras y palancas, avanzando horizontalmente a ras de superficie. Son muy escasos los vestigios asociados a este sistema de explotación, ya que el paisaje de cantera que ofrecen queda totalmente mimetizado con el entorno natural que los rodea. Se han identificado numerosas áreas extractivas de este tipo a lo largo de los márgenes del valle del río Galera/Barbatas (parajes de la Alpanchía-Cueva del Tío Reinón, Alpanchía-Encantada), en El Cerezo, en Los Cejos y en las proximidades del Cortijo Domingo (Orce).

CONCLUSIONES

La cantería histórica en la comarca de Huéscar constituye un claro ejemplo de la optimización de los recursos pétreos existentes en un área con características geológicas-geográficas poco propicias para la cantería.

En las zonas de altiplanicie (alrededor del 70% de la extensión de la comarca) la cantería está dificultada por la ausencia de relieves y afloramientos, así como por la baja idoneidad de los materiales sedimentarios que la conforman (rocas evaporíticas, detríticas y carbonatadas). En este contexto, la cantería se focalizó en la explotación de unas calizas travertínicas marrón-blanquecinas que afloran intercaladas entre niveles margosos y detríticos en los afloramientos del encajamiento de la red fluvial.

En las zonas de sierra (complejos prebéticos y subbéticos), la cantería estaba dificultada por la escarpada orografía

Litotipo	Área(s) de explotación	Ref.	Construcciones donde se reconoce
Caliza travertínica	Monte La Cantera (Orce)	9	Alcazaba de las Siete Torres (Orce)-intervenciones s. XVI Iglesia de Nª Sª de la Anunciación (Orce) Palacio de los Marqueses de Dos Fuentes (Orce)
Caliza travertínica	Los Cejos (Huéscar-Galera), Los Cerezos (Galera), Alpanchía-Encantada (Galera) y Alpanchía-Cueva Tío Reinón (Galera)	4-7	Iglesia de Nª Sª de la Encarnación (Galera) Puente de Hierro (Galera) Colegiata de Sª María la Mayor (Huéscar)
Toba calcárea	Las Fuentes (Huéscar)	2	Puente de Las Ánimas – Canal Carlos III
Toba calcárea	Los Tubos (Castril de la Peña)	3	Iglesia Nª Sª de los Ángeles (Castril de la Peña)
Caliza con algas	Cortijo del Salado (Huéscar)	1	Puente de Las Ánimas – Canal Carlos III
Caliza roja (Ammonitico Rosso)	Ermita Virgen de la Cabeza (Huéscar)	8	Colegiata de Sª María la Mayor (Huéscar) – pórtico occidental

TABLA I. Litotipos explotados históricamente en la comarca de Huéscar, áreas de explotación de procedencia, referencia de las áreas de explotación en la Fig. 1 y ejemplos de construcciones donde se reconocen.

y la elevada dureza de los materiales (poco trabajables). De este contexto se explotaron diversos edificios tobáceos (tobas de Los Llanos de Castril, y de Las Fuentes de Huéscar) y una caliza masiva gris con algas (empleada en el s. XVIII en la construcción del Canal de Carlos III).

De la cantería en la comarca de Huéscar destaca el empleo y coexistencia de diferentes sistemas de extracción de bloques en cantera, desde extracción por rozas a pico en explotaciones intensivas escalonadas, las de tipo disperso-extensivo por descalce-caída, y las intensivas en escarpes con voladura y retallado de los bloques caídos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del Convenio entre la Junta de Andalucía y el IGME para la realización del Primer Inventario de Canteras Históricas de Andalucía. Los autores agradecen enormemente la ayuda desinteresada prestada para la realización de este estudio a Jesús García, Antonio Ros (Archivo Histórico Municipal de Huéscar), Jesús María García Rodríguez, Francisco Antonio Torres Rosa (Ayto. de Galera) y a Raúl Viedma (Las Fuentes, Huéscar).

REFERENCIAS

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016): Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016.*

Bessac, J.C. (2003): L'extraction des pierres de taille et des roches marbrières dans l'Antiquité: les principales stratégies d'exploitation. En: *Marbres en Franche-Comté* (L. Poupard y A. Richard, directs). Actes des Journées d'etude (Besançon, 1999), Besançon, 21-34.

Pozo Martínez, I. (1998): Noticias sobre el Castillo y Capellanía de Celda (Los Royos, Caravaca). *Murgetana*, 98: 21-34.

Análisis petrológico y geoquímico de la cantera histórica de Ortigosa del Monte (Segovia) y avances sobre su compatibilidad como cantera histórica del acueducto de Segovia

Petrological and geochemical characterization of the historical quarry of Ortigosa del Monte (Segovia) and analysis of its compatibility as historical quarry of the Segovia aqueduct

J. Martínez-Martínez[1], C. Martín García[2], E. Álvarez Areces[1], J. Fernández Suárez[3] y J.M. Baltuille Martín[1]

1 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003. Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es

2 Arqueóloga profesional

3 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005. Oviedo. j.fernandez@igme.es

Resumen: El Berrocal de Ortigosa del Monte (Segovia) constituye un afloramiento de rocas plutónicas con una superficie de 2,5 km^2 y en el que es posible encontrar infinidad de marcas y vestigios de actividad extractiva en toda su extensión. Petrológicamente, las rocas de El Berrocal muestran una baja variabilidad litológica, clasificándose según su composición química como granitos con tendencia a composición adamellítica. Las muestras estudiadas son de color gris claro (anaranjado en superficies alteradas) y textura heterogranular e hipidiomorfa, con tamaño de cristal medio-grueso (5-9 mm) y muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas con grandes fenocristales de feldespato potásico de hasta 3 cm de longitud. A mesoescala se pueden apreciar xenolitos de hasta 10 cm de diámetro, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita.

En este trabajo se plantea un estudio comparativo entre la composición geoquímica de las muestras de El Berrocal de Ortigosa del Monte y los datos bibliográficos existentes de los análisis de Fluorescencia de Rayos X realizados sobre muestras directamente obtenidas de los sillares del acueducto durante la última intervención (década de 1990). Los resultados verifican la compatibilidad geoquímica entre las rocas de la cantera y el acueducto, aunque estas correlaciones deberán ser corroboradas con futuros análisis.

Palabras clave: Canteras históricas, acueducto, berrocal, granito, adamellita.

Abstract: *El Berrocal of Ortigosa del Monte (Segovia) constitutes an outcrop of plutonic rocks with an area of 2.5 km^2. There is it possible to find countless marks of extractive activity in all its extension. Petrologically, the rock of El Berrocal shows a low lithological variability, being classified according to their chemical composition as Granites (Granites-Adamellites). The samples studied are light gray (orange on altered surfaces) and heterogranular and hypidiomorphic texture, with medium-coarse crystal size (from 5 to 9 mm). Occasionally, these rocks can show porphyry textures with large phenocrystals of K-feldspar up to 3 cm in length. A mesoscale, there are disperse xenoliths, up to 10 cm in diameter, as well as biotitic aggregates and aplite veins.*

This paper presents a comparative study between the geochemical composition of El Berrocal samples and the existing bibliographic data of the chemical composition of the ashlars of the roman aqueduct. The results verify the geochemical compatibility between the rocks from the quarry and the aqueduct. However, all these correlations should be corroborated with future analysis.

Keywords: *Historic quarry, aqueduct, berrocal, granite, adamellite*

INTRODUCCIÓN

La determinación de las canteras históricas concretas de las que se obtuvieron los sillares empleados en la construcción del Acueducto de Segovia es una tarea compleja debido a la similitud de las diferentes variedades de roca empleada (diferentes subvariedades de granito) y a la multitud de afloramientos de esta litología en los entornos inmediatos de Segovia (Fig. 1).

Los objetivos de este trabajo se centran en el estudio y caracterización petrológica y geoquímica de las canteras

de El Berrocal de Ortigosa del Monte, consideradas por Martín de Frutos (2008) como una de las principales fuentes de suministro de material para el acueducto.

La justificación de este trabajo se ciñe, por lo tanto, a la aportación de nuevos datos (geoquímicos, mineralógicos y petrológicos) al estudio de las rocas explotadas en las citadas canteras históricas y al análisis cuantitativo de la compatibilidad petrológica entre el material de cantera y el de construcción del acueducto. Para ello, en este trabajo se tiene en cuenta el estudio de la variabilidad de facies dentro del afloramiento de El Berrocal de Ortigosa del Monte y los datos bibliográficos disponibles sobre las rocas que conforman los sillares del acueducto.

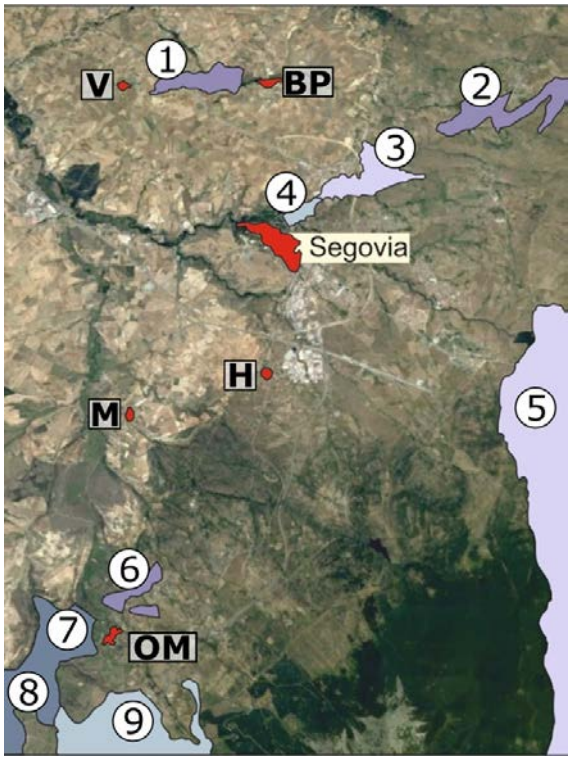


FIGURA 1. Principales afloramientos graníticos en las proximidades a Segovia capital: (1) Bernuy de los Porreros-Valseca; (2) Torrecaballeros; (3) Canteras de El Sotillo y del Ciguiñuela; (4) Segovia Capital; (5) La Granja-Valsaín; (6) La Losa; (7) Berrocal de Ortigosa del monte; (8) Otero de Herreros; (9) Peña del Hombre. Las iniciales indican los principales núcleos urbanos: V: Valseca; BP: Bernuy de los Porreros; M: Madrona; H: Hontoria; OM: Ortigosa del Monte.

ANTECEDENTES

Existe una extensa bibliografía escrita entorno a las características constructivas, artísticas e históricas del Acueducto de Segovia. Más limitada, sin embargo es la bibliografía geológica centrada en el material de construcción y las canteras históricas de donde se extrajo. En este sentido, destacan tres informes emitidos por diferentes autores: Geocisa (1994), Martín de Frutos (2008) e Iñigo Íñigo *et al.* (2008).

En la década de los 90 del siglo XX se llevó a cabo una importante intervención en el Acueducto. Previamente a la intervención se realizó un estudio exhaustivo de la piedra del monumento (Geocisa, 1994). Este es el único estudio conocido en el que se extrajeron muestras pétreas directamente de los sillares del propio Acueducto. Sobre estas muestras se realizó un estudio petrográfico, geoquímico y mineralógico. Además, también se caracterizaron tres afloramientos graníticos próximos a la ciudad de Segovia: barrios de San Lorenzo-la Estación, El Sotillo y La Granja. Las conclusiones del informe se centran en el estudio petrológico de los sillares del Acueducto. El estudio de las canteras es complementario y, aunque aporta datos muy interesantes, no contribuye a establecer una base científica de correlación entre el Acueducto y las canteras, ya que no considera la totalidad de los afloramientos potenciales existentes en las proximidades de la ciudad.

En el informe de Martín de Frutos (2008), se identificaban inicialmente 10 afloramientos graníticos próximos a la ciudad de Segovia de los que se podría haber extraído el material de construcción del acueducto (Fig. 1). En dicho informe, se realizó la comparación cualitativa de las rocas empleadas en el acueducto de Segovia y la roca explotada en cada uno de los afloramientos, seleccionando finalmente 4 zonas como las más compatibles con los tipos petrológicos observados en el acueducto: (1) Barrio de San Lorenzo, Valles del Río Eresma, Arroyo Ciguiñuela y Magullo; (2) El Sotillo y Ciguiñuela; (3) El Berrocal de Ortigosa del Monte; y (4) La Granja- Valsaín. Las conclusiones obtenidas por Martín de Frutos (2008) se basan en la observación de muestra de mano y descripción cualitativa.

La caracterización geológica de las canteras llevado a cabo en el estudio de Íñigo Íñigo *et al.* (2008) se centró en la caracterización petrofísica de los materiales de las canteras de Ortigosa del Monte, Magullo, La Granja y El Sotillo, prestando especial atención a la durabilidad de los mismos y a su respuesta frente a diferentes tratamientos de consolidación. Este estudio petrofísico está acompañado por la descripción petrológica del material ensayado en laboratorio y la caracterización geoquímica y mineralógica (DRX y FRX).

RESULTADOS

Prácticamente toda la superficie de El Berrocal muestra signos de actividad extractiva. Sin embargo, se han identificado tres áreas en las que la densidad de signos de explotación es mucho más elevada y donde se localizan los ejemplos más interesantes (Fig. 2).

En muestra de mano, las rocas de El Berrocal de Ortigosa del Monte corresponden a granitos s.l. de color gris claro (en muestra fresca) (Fig. 3), adquiriendo coloraciones anaranjadas al aumentar el grado de alteración. La textura es heterogranular e hipidiomorfa, con tamaño de cristal medio-grueso (entre 5 y 9 mm). Muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas (fenocristales de feldespato ≈ 3 cm). En el afloramiento de El Berrocal pueden aparecer pequeños xenolitos (gabarros) dispersos, de hasta 10 cm de diámetro, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita.

La mineralogía principal es cuarzo, plagioclasa, microclina y biotita. Se han observado apatito, circón y minerales opacos como minerales accesorios. El cuarzo se presenta en cristales intensamente fracturados, con extinción ondulante y en ocasiones también en borde de subgrano y con subgranos individualizados. Los cristales de feldespato potásico son los que muestran el mayor tamaño de cristal en la roca, llegando a constituir grandes fenocristales en las texturas porfídicas.



FIGURA 2. Arriba: localización y delimitación de El Berrocal de Ortigosa del Monte. Identificación de las tres principales áreas extractivas dentro de El Berrocal. Abajo: ejemplo de bolo granítico parcialmente explotado.

No suelen presentar maclado, aunque en algunos casos puntuales se puede observar macla simple de Carlsbad y/o macla en enrejado (Fig. 3). Presentan una ligera alteración en los bordes y textura pertítica. La plagioclasa aparece frecuentemente con macla polisintética, y suele estar zonada (Fig. 3). Muestra una intensa alteración zonal (sericitización) concentrada en el interior del cristal. En ocasiones aparece como inclusiones subidiomorfas pequeñas en feldespato potásico. La biotita forma cristales subidiomorfos con pleocroísmo de castaño rojizo oscuro a castaño amarillento muy claro. Suele estar flexionada y desflecada, mostrando bandas de extinción (Fig. 3). En el interior suele presentar pequeños halos metamícticos.

La variabilidad litológica del afloramiento es baja, no mostrando grandes dispersiones ni texturales ni composicionales. Únicamente se puede apreciar una ligera variación en la proporción relativa del contenido de minerales máficos y cuarzo (Fig. 3), no identificando una zonación de facies neta en el afloramiento.

Según los resultados de Difracción de Rayos X, las rocas de El Berrocal corresponden a granitos (muestras 2, 5, 6, 7 y 8) y adamellitas (muestras 1, 3 y 4). La Tabla I muestra la composición geoquímica (FRX) de las muestras.

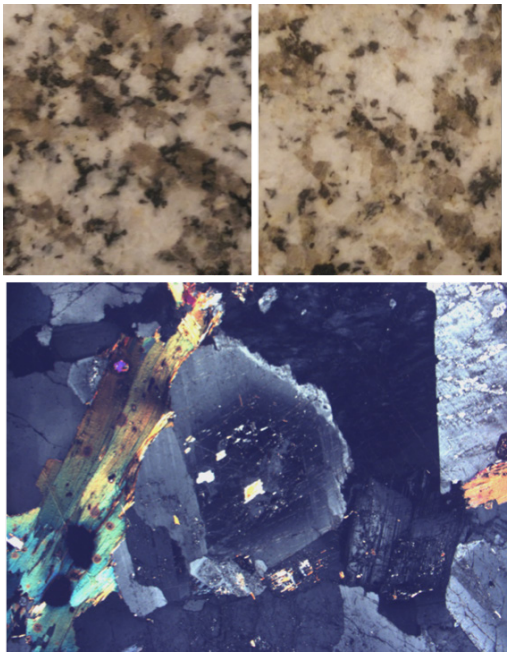


FIGURA 3. Arriba: aspecto en muestra de mano del granito-adamellita de Ortigosa del Monte. Izquierda: facies con alto contenido en minerales máficos y cuarzo; derecha: facies con bajo contenido. Abajo: fotomicrografía tomada en MOP (nicoles cruzados) mostrando una plagioclasa zonada (centro de la imagen), biotita deformada y con bandas de extinción (izquierda) y fenocristal de feldespato potásico con macla simple de Carlsbad (derecha).

DISCUSIÓN

A partir de los resultados geoquímicos obtenidos se han calculado los parámetros P, Q, A y B propuestos por Debon and Le Fort (1983) para la clasificación de rocas plutónicas según su proporción cuarzo-feldespato-plagioclasa (diagrama P-Q) (Fig. 4) y según su carácter peralumínico (diagrama A-B) (Fig. 5). Las muestras de El Berrocal son de tipo granítico con tendencia a composición adamellítica (Fig. 4), se encuentran todas dentro del campo de predominio de la biotita (Fig. 5).

Según la distribución de la nube de puntos dentro de los diagramas P-Q y A-B, existe compatibilidad petrológica entre las muestras de Ortigosa del Monte y las rocas de construcción del Acueducto. Además, atendiendo a la distribución de puntos en el diagrama A-B, existe mayor compatibilidad con los sillares de las fases iniciales de construcción. Este resultado podría apuntar a que las canteras de El Berrocal de Ortigosa del Monte sirvieron de punto de suministro para las fases más antiguas del acueducto, mientras que en fases posteriores de reconstrucción se emplearon también materiales con otras procedencias. Estos interesantes resultados, sin embargo, deberán ser corroborados con la incorporación de más análisis y el muestreo de otras áreas de explotación.

CONCLUSIONES

El Berrocal de Ortigosa del Monte constituye un interesante entorno de cantería histórica con evidencias de una intensa explotación. El afloramiento granítico está

muestra	SiO_2	$Al2O_3$	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5
1	69.4	15.4	1.47	0.694	3.49	4.62	2.64	0.282	<0.050	0.207
2	69.4	15.2	1.48	0.657	3.01	5.33	2.92	0.344	<0.050	0.194
3	68.0	15.6	2.04	0.783	3.19	4.35	3.63	0.477	<0.050	0.257
4	63.2	16.7	2.41	1.292	3.14	3.91	5.57	0.696	0.083	0.404
5	71.4	14.7	1.13	0.426	3.17	5.56	2.15	0.237	<0.050	0.164
6	65.1	18.7	0.692	0.374	4.55	5.43	2.19	0.155	<0.050	0.448
7	71.4	14.3	1.31	0.524	3.06	4.91	2.58	0.282	<0.050	0.191
8	67.3	16	1.96	0.791	3.16	5.27	3.27	0.432	<0.050	0.243

TABLA I. Composición geoquímica (Fluorescencia de Rayos X) de las muestras de El Berrocal de Ortigosa del Monte (contenido en óxidos (%)).

formado por granitos y adamellitas de tamaño de cristal medio-grueso (5-9 mm), de color gris claro (anaranjado en superficies alteradas) con textura heterogranular e hipidiomorfa, aunque muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas. En el afloramiento pueden aparecer pequeños xenolitos de hasta 10 cm de diámetro, dispersos, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita. La variabilidad litológica del afloramiento es baja.

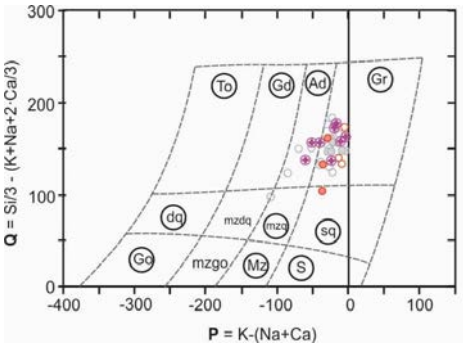


FIGURA 4. Diagrama P-Q de Debon and Le Fort (1983). Código de símbolos: cruz lila: muestras de El Berrocal; círculos naranjas: muestras de las fases iniciales de construcción del acueducto (círculos sólidos y huecos: muestras alteradas e inalteradas, respectivamente); círculos grises: muestras de fases de reconstrucción. Las iniciales de cada campo indican el tipo de roca correspondiente: (To) Tonalita; (Gd) Granodiorita; (Ad) Adamellita; (Gr) Granito; (dq) Cuarzo Diorita; (mzdq) Cuarzo Monzodiorita; (mzq) Cuarzo Monzonita; (sq) Cuarzo Sienita; (Go) Gabro; (mzgo) Monzogabro; (Mz) Monzonita; (S) Sienita.

La comparación de los resultados geoquímicos de las muestras de cantera (obtenidos mediante Difracción de Rayos X) y los datos bibliográficos disponibles en el informe de Geocisa (1994) de los sillares del acueducto, muestran una notable compatibilidad petrológica, apuntando a una corroboración del origen de los sillares en la cantera de Ortigosa. Además, atendiendo al carácter peralumínico de las muestras parece existir una mayor afinidad entre los datos de la cantera y los de los sillares de las primeras fases de construcción del acueducto. Estos resultados preliminares podrían apuntar a que las canteras de El Berrocal sirvieron de suministro para las fases más antiguas del acueducto, mientras que en fases posteriores de reconstrucción el material también se suministró de otras canteras del entorno de Segovia.

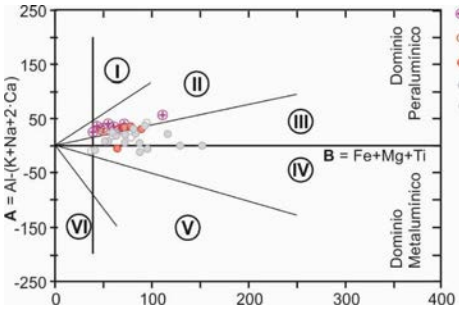


FIGURA 5. Diagrama A-B de Debon and Le Fort (1983). Código de símbolos: cruz lila: muestras de El Berrocal; círculos naranjas: muestras de las fases iniciales de construcción del acueducto (círculos sólidos y huecos: muestras alteradas e inalteradas, respectivamente); círculos grises: muestras de fases de reconstrucción (círculos sólidos y huecos: muestras alteradas e inalteradas, respectivamente). Los campos definidos en el gráfico indican: (I) campo de Moscovita; (II) campo de predominio de Biotita; (III) campo de Biotita; (IV) campo de Hornblenda y Biotita; (V) campo de Clinopiroxeno, Hornblenda y Biotita.

REFERENCIAS

Debon, F. and Le Fort, P. (1983): A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh Earth Sciences*, 73: 135-149.

Geocisa (1994): *Acueducto de Segovia. Estudio de la piedra*. Memoria y Anexos. 351 p.

Íñigo Íñigo, A.C., García Talegón, J., Rives Arnau, V., Molina Ballesteros, E. y Vicente Tavera, S. (2008): *Estudio sobre la caracterización de la piedra y tratamientos a realizar en el tramo elevado del Acueducto de Segovia.* IRNASA-CSIC. 329 p.

Martín de Frutos, L.A. (2008): *Reconocimiento geológico de los afloramientos graníticos en el entorno de Segovia capital. Selección de las canteras de extracción de los sillares del acueducto. Memoria: Plan integral de conservación del acueducto de Segovia*. Ayuntamiento de Segovia. 124 p.

Naturaleza artificial, espacios de canteras históricas en Extremadura

Artificial Nature, quarry landscapes in Extremadura

R. Meseguer Mayoral[1], E. Álvarez Areces[2], J.M. Baltuille Martín[2], J. Fernández Suárez[3] y J. Martínez Martínez[2]

1 Dpto. Facultad de Bellas Artes. Universidad Complutense de Madrid. Pintor Greco, 2. 28040 Madrid. arte.rosellmeseguer@gmail.com
2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rios Rosas, 23. 28003 Madrid. e.alvarez@igme.es; jm.baltuille@igme.es; j.martinez@igme.es
3 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo. j.fernandez@igme.es

Resumen: El proyecto Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico de Extremadura, desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España, ha constituido la base documental del trabajo artístico *Guía de mano (petrográfica)*, presentado en el Museo Vostell Malpartida, Cáceres, dentro del proyecto expositivo *Cáceres Abierto 2019*. En él se refleja el enorme potencial no sólo científico de este tipo de proyectos, sino también como divulgador de las Ciencias de la Tierra, así como el carácter estético de las rocas y materiales que han hecho posible el patrimonio histórico. Como ejemplo, el Museo Vostell Malpartida, ubicado en Los Barruecos (Cáceres), fue un antiguo lavadero de lana, en el que para su construcción se emplearon rocas graníticas de su entorno, de tal forma que el edifico se asienta sobre la propia cantera, identificándose zonas naturales frente a rocas cortadas para el uso arquitectónico, como una metáfora de la naturaleza artificial, extracción de la piedra y desubicación de la misma.

Palabras clave: Rocas, petrografía, canteras históricas, arte, divulgación

Abstract: *The information generated in the project National Inventory of Historic Quarries associated with the Architectural Heritage of Extremadura, developed by Instituto Geologico y Minero de España (Spanish Geological Survey), constitutes the documentary base of the artistic work Guia de mano (petrográfica) presented at the Vostell Malpartida Museum, Caceres, within the exhibition project Caceres Abierto, 2019. It reflects the enormous scientific potential, not only of these types of projects, but also as Earth Sciences disseminator, as well aesthetic nature of the rocks and materials that have made historical heritage possible. As an example, the Vostell Malpartida Museum, located in Los Barruecos (Caceres), was an old wool laundry, granite rocks from its surroundings were used for its construction, so that the building sits on the quarry itself, identifying natural areas in front of cuts rocks for architectural use, as a metaphor for artificial nature, stone extraction and dislocation.*

Keywords: *Rocks, petrography, historical quarries, art, divulgation*

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El proyecto Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico en Extremadura (INCHaPA Extremadura) desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) tuvo por objetivo la localización de las áreas histórico-extractivas de donde se obtuvo el material pétreo que ha hecho posible la construcción del patrimonio histórico de Extremadura, estudiando un total de 492 elementos patrimoniales y localizando más de 440 canteras históricas, 211 de ellas en la provincia de Cáceres.

El estudio de las canteras históricas asociadas al patrimonio construido, es un elemento imprescindible para el mejor conocimiento del patrimonio arquitectónico y monumental, presentando interés desde el punto de vista constructivo (facilitando la rehabilitación con el material original), tecnológico (conocimiento de los útiles y sistemas de explotación), y etnológico y socio-económico (considerando las canteras como polos históricos de desarrollo social-regional).

Así el proyecto Historic Quarries, enmarcado en las ayudas del programa Cultura 2007-2013 de la Unión Europea, señala: *las canteras y el conjunto de técnicas, conocimientos y habilidades involucradas en la extracción de la piedra son consideradas como el punto de partida del patrimonio histórico y artístico de Europa*. Y es que los espacios de canteras históricos están directamente relacionados con la producción, planificación y construcción de los edificios históricos; entendiendo el conjunto edificio-cantera como uno sólo, donde todas las actividades desarrolladas en ellos están directamente relacionadas, por este motivo la importancia del estudio y caracterización de estos espacios para una mejor comprensión de nuestro patrimonio arquitectónico desde su proyección inicial (Fig. 1).

NATURALEZA ARTIFICIAL, DE LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA AL PAISAJE

Los espacios de cantera conforman un paisaje característico e imbricado en el contexto territorial y social, permitiendo conocer el tipo de roca y la formación geológica

beneficiada, lugares de procesamiento y talleres de piedra, sistemas de transporte, finalidad y uso del material, así como los medios humanos, previsión y estructuras vinculadas con el hábitat.



FIGURA 1. Cantera para la extracción de granito, en las proximidades de Plasencia (Cáceres). Proyecto INCHaPA Extremadura. IGME.

Las canteras históricas, en casos excepcionales se han convertido en Bienes de Interés Cultural y en otros casos protegidas bajo diferentes figuras legislativas, unas de carácter local, otras de carácter autonómico, constituyendo estos casos un avance en su preservación (Álvarez Areces *et al.*, 2017) En este contexto se hace necesaria y sería mucho más efectiva la unificación de criterios y una figura de protección específica que garantice su conservación y la finalidad con que fueron creadas, en el caso de precisar material pétreo para futuras intervenciones en el patrimonio (Baltuille Martín *et al.*, 2016). Teniendo en cuenta que existen diversas tipologías de canteras, atendiendo a sus dimensiones (monumentalidad), técnicas extractivas empleadas, singularidad del material pétreo explotado, etc.

La relevancia paisajista de estos espacios extractivos es evidente, se trata de áreas en los que las interferencias de las actividades extractivas han ido modelando el territorio, configurando espacios de especial interés, que a su vez mantienen una directa relación con otros elementos relevantes, como la arquitectura, la cultura o el arte en sí mismo. La interacción de factores naturales y humanos confiere a los espacios de canteras históricas una cierta singularidad que ha de ponerse en evidencia y en conocimiento de la sociedad para su sensibilización y protección. Así mismo, el potencial medioambiental de estas áreas es un valor a considerar y una herramienta para el desarrollo de políticas respetuosas con el medio y estos espacios naturales que presentan una gran vulnerabilidad.

En la actualidad son numerosas las iniciativas científicas que persiguen un mejor conocimiento de los espacios históricos de canteras y del recurso explotado, en este caso la piedra ornamental actual e histórica. Entre ellas están Stone Quarrying landscapes as World Heritage Sites (TICCIH/ ICOMOS - 2014), Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (IGME), Eurolithos, Servicios Geológicos Europeos, etc.

GUÍA DE MANO (PETROGRÁFICA), CÁCERES ABIERTO 2019

El trabajo *Guía de mano (petrográfica)* (Meseguer, 2019) expuesto entre el 25 de abril y el 16 de junio de 2019 en el programa de arte y cultura contemporánea *Cáceres Abierto 2019*, tuvo como objetivo incentivar una necesaria reflexión sobre el uso arquitectónico de la piedra y el valor estético natural del propio material. Así, mediante una serie de trabajos e instalaciones en el espacio expositivo del Museo de Cáceres y en el Museo Vostell Malpartida, los Barruecos (Cáceres), se acercó al público en general, y a partir de los resultados obtenidos en el proyecto Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (IGME), el valor artístico y estético del material pétreo que ha proporcionado la materialidad al numeroso patrimonio arquitectónico cacereño (Fig. 2).



FIGURA 2. Imagen del interior de la Guía de mano (petrográfica) (Meseguer, 2019) presentado en el Programa de arte y cultura contemporánea Cáceres Abierto 2019.

Las rocas que han hecho posible las construcciones históricas, en su mayoría granitos, se expusieron con su aspecto natural tapizadas en su superficie por pátinas naturales de líquenes, otras cortadas, reflejando el contraste entre superficies alteradas y sanas, y también su “alma”, su aspecto microscópico, con numerosas microfotografías de muestras petrográficas, entre otra documentación como mapas y cartografías en detalle, archivos fotográficos, etc.



FIGURA 3. Museo y cantera Vostell, en el que se desarrolló la instalación de rocas empleadas en el patrimonio arquitectónico cacereño, presentado en el Programa de arte y cultura contemporánea Cáceres Abierto 2019.

El proyecto INCHaPA Extremadura, permitió correlacionar las muestras seleccionadas en los edificios con las muestras tomadas en las canteras, unificando aspectos texturales y petrográficos (Álvarez Areces *et al.*, 2018). Como ejemplo, el propio espacio expositivo del Museo Vostell Malpartida, un antiguo lavadero de lanas construido en los Barruecos (Cáceres) empleando para su construcción el material más inmediato, granitos biotíticos moscovíticos con megacristales de feldespatos, que constituyen la totalidad de las fábricas de este edificio histórico reconvertido en museo en 1976 (Fig. 3).



FIGURA 4. Cantera en el entorno del Museo Vostell Malpartida, afloramiento de granito porfídico empleado en la construcción del lavadero, actual museo. Obsérvese las improntas de cuñas para el dimensionamiento del bloque y extracción del mismo mediante corte.

El museo Vostell Malpartida, se dispone sobre el mismo afloramiento granítico con que fue construido, de tal forma que el edifico se asienta sobre la propia cantera, identificándose zonas naturales frente a rocas cortadas para el uso arquitectónico, como una metáfora de la naturaleza artificial, extracción de la piedra y desubicación de la misma (Fig. 4).

En la sala del Molino del propio Museo Vostell y en el Museo de Cáceres se presentaron diferentes muestras rocosas relacionadas con la construcción del patrimonio arquitectónico. Las piezas se han expuesto de forma macro como microscópica, seleccionándose una serie de cortes para evidenciar las diferencias entre superficie fresca y alterada. Todo este conjunto de material, junto con otros relacionados con el proyecto INCHaPA Extremadura, como mapas y cartografías de detalle de los espacios de canteras, archivos fotográficos, láminas delgadas para su estudio petrográfico, etc., formaron parte del proyecto expositivo.



FIGURA 5. Composición a partir de las muestras de cantera de rocas empleadas en el patrimonio arquitectónico cacereño. Museo Vostell Malpartida, Cáceres Abierto 2019.

Por una parte, en el Museo de Cáceres se expusieron cuatro piezas de granitos empleados en el patrimonio arquitectónico extremeño, con diferentes cortes, y mediante una mesa de luz aspectos relacionados con los estudios petrográficos. Simultáneamente, el otro espacio expositivo, el Museo Vostell Malpartida, albergo la mayor parte del proyecto con bloques cortados relacionados con el patrimonio y las canteras locales de Malpartida de Cáceres y los Barruecos (Fig. 5), así como muestras pétreas de canteras de Trujillo, ciudad declarada Conjunto Histórico desde 1962, completo la muestra una recreación de láminas delgadas realizadas con pinturas y emulsiones fotosensibles sobre papel. El conjunto de la información fue editado en un trabajo-guía en formato papel, en que se destaca las diferentes texturas al microscopio óptico y una buena representación de las composiciones pétreas expuestas.

El trabajo *Guía de mano (petrográfica)* pretende poner en valor una de las muchas facetas que los espacios de canteras históricas presentan, independientemente de su interés científico-técnico, histórico, arqueológico, etc. estas áreas extractivas conforman paisajes característicos, en los que el tiempo se ha detenido, y en los que mediante su contemplación podemos retrotraernos a aquel momento en el que la actividad extractiva estaba en pleno desarrollo, a través de la observación detenida de marcas extractivas y formas geométricas con que la mano del hombre tallo la roca, dejándonos el negativo del proyecto arquitectónico para el que fue destinado.

Además, el valor estético de la piedra natural, como materia prima empleada en las construcciones desde los primeros tiempos de la humanidad, alcanza en este proyecto expositivo una gran relevancia; acercando al público en general a las características intrínsecas del material, a su origen y su empleo en las fábricas de la arquitectura local, relacionándolo con los espacios de canteras históricas que en muchos casos son desconocidos o simplemente han caído en el olvido (Fig. 6).



FIGURA 6. Documento de divulgación, Guía de mano (petrográfica). Cáceres Abierto 2019.

CONCLUSIONES

Las investigaciones científicas, como en el caso que nos ocupa el proyecto Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico, liderado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), presentan un gran interés científico-técnico, pero cuando la ciencia se formula con arte, las investigaciones no sólo tienen valor disciplinar, sino que también son capaces de inspirar y acercar a la sociedad a la formación de una cultura científica

Los espacios de canteras históricas en la última década están siendo objeto de numerosos estudios de carácter científico, y un gran número de publicaciones y artículos científicos que tienen un público natural limitado. Iniciativas como esta, intentan en la medida de lo posible dar a conocer las áreas histórico extractivas a la sociedad en general, constituyendo una modesta contribución a la divulgación de las ciencias de la Tierra desde la disciplina artística y al reconocimiento de estos espacios, como lugares a proteger y valorar.

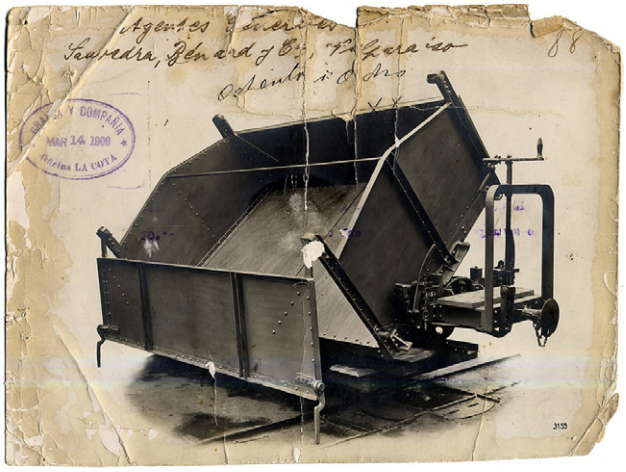


FIGURA 7. Imagen de extracción minera con fines constructivos, Archivo TAMARUGAL (Meseguer, 2013).

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) por su Inventario Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico en Extremadura. Al programa de arte y cultura contemporánea *Cáceres Abierto 2019*, y en concreto al Consorcio Museo Vostell Malpartida y Museo de Cáceres.

REFERENCIAS

Álvarez Areces, E., Fernández Suárez, J., Baltuille Martín, J.M. y Martínez-Martínez, J. (2018): Inventario nacional de canteras históricas asociadas al patrimonio arquitectónico. Provincia de Cáceres. En: A*ctas del Congreso Euro-Americano REHABEND 2018. "Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio*. Cáceres.

Álvarez Areces, E., Utrero Agudo, M.A. y Baltuille Martín, J.M. (2017): *Geología y arqueología. Estratigrafía de la tierra, estratigrafía del patrimonio*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid. 234 p.

Baltuille Martín, J.M., Álvarez Areces, E. and Fernández Suárez, J. (2016): Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). In: *5th International Conference YOuth in COnservation of CUltural Heritage YOCOCU 2016*. Madrid.

Meseguer Mayoral, R. (2019): *Guía de Mano (Petrográfica)*. Cáceres Abierto 2019. Junta de Extremadura, Consorcio Museo Vostell Malpartida, Fundación Helga Alvear y Museo de Cáceres.

Meseguer Mayoral, R. (2013): TAMARUGAL. *Archivos del desierto minero*. Ayudas a la Promoción del Arte Español en el Exterior 2012 Ministerio de Cultura, Educación y Deportes de España. Madrid.

Geomateriales y técnicas de construcción en fortalezas medievales. El caso del castillo de la Estrella (Montiel, España)

Geomaterials and construction techniques in medieval fortifications. The case of the La Estrella Castle (Montiel, Spain)

J. Molero García[1], D. Gallego Valle[2], D. Sanz[3], C. Peña[4], F. Castilla[5], R. Pardo Llama[5] y A. González[5]

1 Dpto. de Historia, Facultad de Letras de Ciudad Real. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Camilo José Cela s/nº. 13071 Ciudad Real. Jesus.Molero@uclm.es.
2 Fundación Castillo de la Estrella. Diputación n, 8. 13326 Montiel (Ciudad Real). davidgallegovalle@gmail.com.
3 Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera, Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla-La Mancha. Camino del Pozuelo s/nº. 16002 Cuenca. david.sanz@uclm.es.
4 Facultad de Bellas Artes. Universidad de Castilla-La Mancha. Edificio Antonio Saura. 16002 Cuenca. cristinapruiz@gmail.com.
5 Dpto. de Ingeniería Civil y de la Edificación, Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla-La Mancha. Camino del Pozuelo s/nº. 16002 Cuenca. FcoJavier.Castilla@uclm.es.

Resumen: Se quiere dar a conocer con este trabajo una investigación de largo recorrido realizada en el Conjunto Arqueológico Castillo de la Estrella de Montiel (Ciudad Real, España). En la misma se ha podido trabajar de forma sistemática sobre la caracterización de los materiales y el proceso constructivo de la fortaleza en sus diversas fases, tanto islámicas como cristianas. Por otro lado, se ha podido avanzar, mediante diversas prospecciones, en la localización de las zonas de extracción de los materiales constructivos usados en el castillo y, algo muy interesante, en el estudio cronológico de diversas canteras al localizarse artefactos arqueológicos en contexto.

Palabras clave: Canteras históricas, proceso constructivo, tapial, morteros históricos.

***Abstract**: The aim of this work is to publicise a long-running investigation carried out in the archaeological site: Castillo de La Estrella de Montiel (Ciudad Real, Spain). In it, it has been possible to work systematically on the characterization of the geo-materials and the construction process of the fortifications in its various phases, both Islamic and Christian. On the other hand, it has been possible to advance, by means of diverse prospections, in the location of the zones of extraction of the constructive materials used in the castle and, something very interesting, in the chronological study of diverse quarries when locating archaeological artefacts in context.*

***Keywords:** Historical quarries, construction process, rammed earth, historical mortars.*

INTRODUCCIÓN

El conjunto arqueológico del castillo de La Estrella se localiza al sudeste de la provincia de Ciudad Real, junto a la población de Montiel que ha crecido al amparo de la fortaleza (Fig. 1). Este yacimiento representa un magnífico ejemplo en la evolución de la edificación defensiva a lo largo de la Edad Media, donde se está desarrollando un trabajo de largo recorrido en el que un equipo multidisciplinar formado por arqueólogos, historiadores, geólogos, conservadores, arquitectos, etc. investiga sobre los materiales constructivos con los que fue realizada esta fortaleza y otras del entorno.

Dentro de las actuaciones llevadas a cabo, se ha podido analizar de forma sistemática la caracterización de los materiales constructivos y la edificación en sus diversas fases, tanto islámicas como cristianas, pudiendo acotarse aparejos y elementos constitutivos propios de cada periodo histórico y que en muchos casos guardan relación con otras obras del entorno. De los mismos se han llevado a cabo un número importante de ensayos de laboratorio, tanto en el caso de los morteros como de otras técnicas, en especial aquellas realizadas en tapial. Pero también se han realizado pruebas de construcción y arqueología experimental, donde se han reproducido estructuras con la composición obtenida de los materiales estudiados (tanto en muros aparejados en piedra como de tapial), pudiendo analizarse los resultados de su puesta en obra y la influencia del paso del tiempo sobre ellos.

Por otro lado, un avance muy significativo ha sido el estudio, mediante diversas prospecciones, de la localización de las zonas de extracción de los materiales constructivos usados y, en muchos casos, su adscripción cronológica, al documentarse en estos espacios artefactos arqueológicos del periodo medieval, especialmente el referente cerámico. Estos puntos de acopio (Fig. 1) se podrían dividir en cuatro categorías que analizaremos brevemente: canteras de piedra, áreas de extracción y transformación de cal y yeso, puntos de provisión de arcilla y cocción de ladrillos y tejas, y, finalmente, sitios de recogida de áridos. Con los resultados obtenidos, se está trabajando en la actualidad en la

elaboración de un sistema de información geográfica que permita comprender la relación de los procesos de obra con el entorno en que se llevaron a cabo.

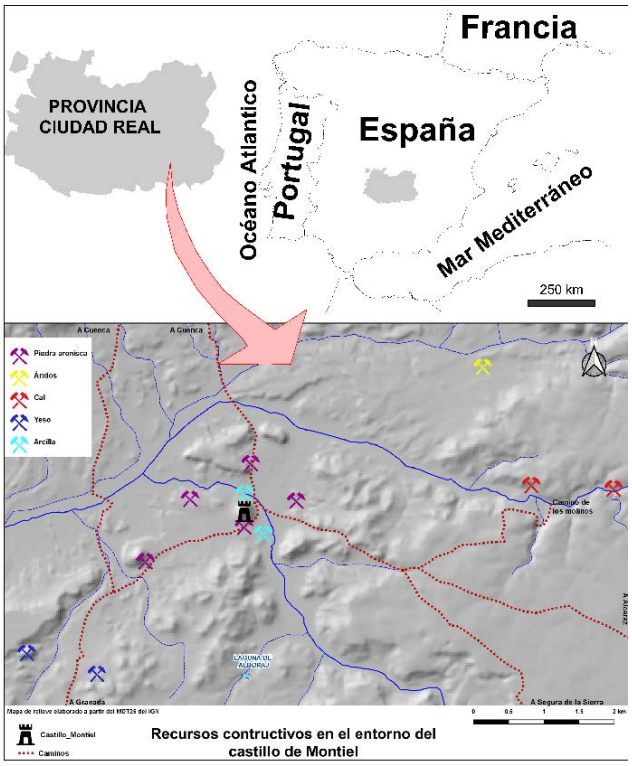


FIGURA 1. Mapa de la localización de la zona de estudio y ubicación de las canteras de obtención de los recursos constructivos (David Sanz y Andrés Ocaña).

ORIGEN DE LOS RECURSOS CONSTRUCTIVOS

Estudios realizados con anterioridad han ido dando a conocer los procesos constructivos de la fortaleza de Montiel (Gallego Valle, 2016; Gallego Valle *et al.*, 2016; Gallego Valle y Molero García, 2017; González y Pardo, 2018). En este sentido, hemos documentado cómo se aprovecharon varias canteras de arenisca, material con el que están levantados la mayor parte de los muros del castillo. Posiblemente, en un primer momento, se sirvieron de los afloramientos pétreos que existían a pie del cerro donde se asienta el castillo, pero estos debían ser ciertamente pobres por el escaso rastro que han dejado. No obstante, las principales zonas de extracción están situadas en un radio de entre 2 y 3 km del castillo, ya que se trata de un espacio con abundancia de este tipo de materiales. Las canteras de mayor tamaño están situadas en el paraje conocido como La Veguilla, aprovechadas hasta el pasado siglo, donde se tiene constancia de su uso desde época romana. Otras zonas de acopio son las del camino de Alcaraz (Fig. 2), donde el registro cerámico de época medieval es muy abundante, y el Altozano, ambas conservando las gradas de retirada del material.

En cuanto la obtención de los aglutinantes (cal y yeso), se ha podido localizar dos áreas especialmente significativas, aunque no descartamos la existencia de otros lugares. La primera, dedicada a la obtención de cal y su cocción, se ubica en el paraje de Las Caleras, muy próximo al nacimiento del río Jabalón, a unos 5 km. al este de Montiel. En este punto se han identificado numerosos puntos de extracción de piedra de cantería, algunos de ellos de gran tamaño, junto a los que se ha documentado la existencia de varias caleras que en la actualidad se encuentran muy arrasadas (Fig. 3). La segunda estaba dedicada al yeso y se localiza en el área de Las Minas, en un amplio espacio a unos 3 km al oeste de Montiel. En esta área, hoy muy transformada, existieron hasta los años cincuenta del pasado siglo XX una gran multitud de hornos para la cocción del material que se extraía de las tierras ubicadas al sur del cerro que forma el Calar de Matillas.



FIGURA. 2. Canteras de arenisca en la Cuesta de Alcaraz.

También se han registrado los espacios donde se recogían las arcillas necesarias para la realización de las ingentes cantidades de ladrillo y teja que se usaron en los distintos periodos de ocupación de la fortaleza. La principal zona de acopio y transformación fue la vega del río Segurilla, especialmente en las Huertas del Traquejo, espacio del que tenemos constancia desde la Edad Media por los Libros de Visita de la Orden de Santiago (Gallego Valle y Molero García, 2017). En estos puntos, hasta fechas no muy lejanas, existieron algunas tejeras que hoy en día están colmatadas. No obstante, durante las prospecciones realizadas, se ha podido documentar gran cantidad de fragmentos de teja y ladrillo que, por su morfología, coinciden con los recuperados en las excavaciones arqueológicas.

Finalmente, en cuanto al árido, en un proceso de estudio aún abierto, se han podido distinguir dos grandes zonas de aprovisionamiento. La primera se localiza en el paraje Arenas, ubicado en una amplia zona a unos 3,5 km al noreste de Montiel, en un área muy próxima al camino que comunicaba la fortaleza con las aldeas medievales de Fuente de La Higuera y Cañamares. La segunda, que hoy en día nos sigue planteando dudas, son los márgenes del río Guadalmena, ubicado a una veintena de kilómetros al sur del castillo, pero con una comunicación directa mediante la vía histórica que llevaba de Montiel hasta Segura de La Sierra.



FIGURA 3. Restos de caleras junto al nacimiento del río Jabalón.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y DE LAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

En el castillo se han podido documentar un amplio abanico de técnicas constructivas que son un fiel reflejo de las distintas etapas históricas por las que ha pasado la fortaleza, desde el siglo IX al XVI. Para la etapa islámica se ha reconocido principalmente la elaboración de tapias hormigonadas (Fig. 4), en especial para las obras de los imperios norteafricanos (ss. XII-XIII), mientras que se usaron aparejos de mampostería y sillarejo, con muros armados, en el periodo Omeya (ss. IX-X). Para la fase cristiana (ss. XIII-XV) existe una estandarización mucho mayor de los sistemas constructivos, ya que todas las obras de envergadura (lienzos y torres) se erigen mediante paramentos aparejados mediante encofrados perdidos (Fig. 5). Estos lienzos están compuestos por dos hojas exteriores de sillarejos trabados con mortero y una hoja interior rellena de mortero con mampuestos y ripios.



FIGURA 4. Vista de las obras en tapial hormigonado en el castillo de Montiel formado por grava, tierra, arcilla y lechada de cal o yeso.

Esta diferenciación en los sistemas constructivos tiene su reflejo en la aplicación y utilización de los morteros históricos (Gordillo, 2005). La caracterización física, química, mineralógica y térmica de más de 68 muestras recogidas en diferentes elementos constructivos de cada una de las épocas (Gallego Valle *et al.*, in press.), ha servido para identificar los tipos de ligantes utilizados para la elaboración de los morteros medievales del castillo de La Estrella. En este sentido se han identificado la existencia de tres tipos de morteros bien diferenciados. En su mayoría los morteros de cal se han localizado en muestras correspondientes a la época cristiana, siendo la relación ligante/árido igual a 1/2 y/o 1/1, con valores de densidad aparente de 1,60 g cm^{-3} y porosidades de hasta el 30%. Las muestras que han sido reconocidas como mortero de yeso o de cal-yeso en esta misma época, se localizaron en muros que durante la conquista cristiana sufrieron una reconstrucción. Para la época islámica más temprana (siglo IX-XI) se ha confirmado el uso de morteros de yeso con relaciones ligante/áridas semejantes a las utilizadas en épocas cristianas, pero con densidades medias de 1,80 g cm^{-3} y porosidades inferiores al 20%. En siglos posteriores (XI-XII) se ha comprobado que en muros donde no hubo intervenciones el mortero es de cal. Por el contrario, para lienzos en los que sí tuvieron lugar reconstrucciones se verificó la utilización de morteros de cal y yeso (siglos XI-XIII) con relaciones ligante/árido de hasta 1/3.



FIGURA 5. Frente sur de la fortaleza, donde se aprecian las obras cristianas en sillarejo de roca arenisca de color ocre unido mediante morteros de cal.

CONCLUSIONES

Con este breve texto se ha querido dar a conocer un proyecto de investigación, de carácter multidisciplinar y todavía en desarrollo, que tiene por objetivo la caracterización histórica de los procesos constructivos en las fortalezas medievales. En este sentido, a pesar de que los estudios están mucho más avanzados en Montiel, se está trabajando en otros recintos militares de similar cronología con el fin de poder crear una base de datos que recoja los resultados obtenidos para poder hacer análisis comparativos.

Por otro lado, como se ha mostrado a lo largo de estas páginas, son imprescindibles los estudios combinados en los castillos y en sus espacios de influencia, con el fin de poder comprender la relación de estos edificios con su entorno y la transformación del paisaje que se pudo producir durante

los procesos constructivos que se dieron en las diversas fases históricas a lo largo de la Edad Media.

AGRADECIMIENTOS

Los proyectos de investigación se han realizado gracias a la colaboración de la Fundación Castillo de La Estrella de Montiel, la Universidad de Castilla-La Mancha y el Ayuntamiento de Montiel, con la financiación de las ayudas a la investigación arqueológica de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

REFERENCIAS

Gallego Valle, D. (2016): La fortificación medieval en el Campo de Montiel (ss. VIII-XVI). Análisis de su secuencia histórica y constructiva. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie III, Historia Medieval*, 29: 337-376.

Gallego Valle, D., Molero García, J.M., Castilla Pascual, F.J., Peña Ruiz, C. y Sanz Martínez, D. (2016): El uso del tapial en las fortificaciones medievales de Castilla-La Mancha: propuesta de estudio y primeros resultados de la investigación. En: *Segundas Jornadas sobre historia, arquitectura y construcción fortificada. Madrid*, 6-7 octubre 2016: 215-234.

Gallego Valle D. y Molero García, J.M. (2017): El proceso constructivo de una fortaleza medieval: el Castillo de la Estrella de Montiel (Ciudad Real). En: *X Congreso Nacional y II Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción Donostia - San Sebastián, 3 – 7 de octubre de 2017*. Actas, 657-668.

Gallego Valle, D., González, A., Pardo Llapa, R., Molero García, J., Peña Ruiz, C., Castilla Pascual, F.J. y Sanz Martínez, D. (2020): Estudios previos de identificación de morteros para la intervención en el patrimonio medieval. Castillo de la Estrella, Montiel. En: *La construcción fortificada medieval: historia, conservación y gestión*: 263-274

González, A. y Pardo, R. (2018): *Estudio metodológico sobre caracterización de morteros del Castillo de la Estrella (Montiel)*. Proyecto Fin de Grado. Ingeniería de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla-La Mancha.

Gordillo, J.F. (2005): Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval. *Arqueometría y arqueología medieval*: 171-192.

Arrojando luz sobre las olvidadas piedras de afilar de la Península Ibérica

Casting on Timeworned European Sharpening-Stones

P.R. Moya-Maleno[1], E. Álvarez Areces, X. Arroyo Rey, A. Daza Perea, M. Fernández Díaz, C. Fernández-Pacheco Sánchez-Gil, M. Galeano Prados, P. Guerra García, B. Jiménez Bermejo, S. López Andrés, V. López-Acevedo Cornejo, R. López Rodríguez, E. Monesma Moliner, C. Moya García, M.C. Navajas Twose, F. Patiño Galán, R. Paulos Bravo, L. Pérez Armiño, J. Torrejón Valdelomar, E. Tziligkaki

1 IP y autor de correspondencia. Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Universidad Complutense de Madrid [Colaborador Honorífico] y Centro de Estudios del Campo de Montiel. cotes.eu@gmail.com

Resumen: El proyecto COTES (Lat: 'piedras de afilar') es una investigación transdisciplinar que pretende poner el foco en los distintos aspectos geológicos, tecnológicos, sociales y económicos de las piedras de afilar como herramientas fundamentales empleadas desde la Prehistoria en el ámbito de la Península Ibérica. Se trata de un recurso natural que ha sido prácticamente ignorado hasta la actualidad en la literatura científica y cuyas características y consecuencias histórico-arqueológicas permiten entender ciertos territorios y su interconexión con el contexto europeo durante distintas etapas de la historia. En esta primera fase COTES se ha realizado una primera aproximación al tema gracias a la convergencia de distintos métodos de análisis geológico y traceológico junto al rastreo de cuantas noticias se pueden obtener de esta actividad en el registro arqueológico, la documentación antigua, los fondos museísticos y la tradición etnográfica. En consecuencia, se presentan los primeros resultados al respecto, así como la potencialidad de esta temática.

Palabras clave: Piedras de afilar, geología, arqueología, historia, etnografía.

Abstract: *The COTES project (Lat: 'whetstones') is a transdisciplinary research that aims to put the focus on the different geological, technological, social and economic aspects of the whetstones as fundamental tools used since the recent Prehistory in the Iberian Peninsula. It is a natural resource that has been practically ignored until now in scientific literature and whose characteristics and historical-archaeological consequences allow us to understand certain territories and their European interconnections during different stages of history. In this first phase, COTES, a first approach to the subject has been made thanks to the convergence of different methods of geological and traceological analysis, together with the tracking of the news obtained from the archaeological record, ancient documentation, museum collections, and ethnographic tradition. Consequently, the first results in this regard are presented, as well as the potential of this issu.*

Keywords: *Whetstones, geology, archaeology, history, ethnography.*

ANTECEDENTES

Oro, esclavos, ingeniería…, pero ¿cómo pudo el Imperio Romano lograr su hegemonía sin sus armas afiladas, sin las hoces dispuestas para cortar el cereal o con las herramientas de casas y talleres melladas?. En un mundo preindustrial habría sido imposible. Esto mismo hemos de preguntarnos para otros imperios y para todas aquellas comunidades europeas que desde la Prehistoria Reciente depositaron en su filo buena parte de su subsistencia y su poder.

Sin embargo, a pesar de ser el filo una cuestión elemental –o quizás por ello–, es muy escasa la atención dedicada por los especialistas a la naturaleza e implicaciones tecnológicas, económicas y políticas de la explotación de las distintas materias primas y canteras a lo largo y ancho de Europa y el Mediterráneo. A diferencia de otros contextos (O'Connor, 1991; Juel, 2011; Allen, 2014; Reniere, 2018; Reniere *et al.*, 2018), en la Península Ibérica las piedras de afilar, sus canteras y consecuencias histórico-arqueológicas son un tema inédito a pesar de que ya en el siglo I d. C. Plinio 'el Viejo' (*N.H.* XXXVI 47, 164) reconociera la importancia de las piedras de *Laminium* (Alhambra, Ciudad Real), como las mejores en su clase y en el occidente del Imperio (Moya-Maleno, 2008). Siglos después una de las grandes fábricas de armas del mundo occidental, la de Toledo, tampoco hubiera podido trabajar si no hubiera sido por este recurso natural y el establecimiento de circuitos de abastecimiento constantes (Fig. 1).

FINALIDAD DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es tanto determinar los lugares concretos de las canteras fuente como implementar todas las líneas de trabajo posibles que de este tema derivan: caracterización físico-químicas, traceología, sistemas y técnicas de explotación y las repercusiones medioambientales, políticas, económicas e incluso ideológicas del control de dichas materias primas a distintas escalas territoriales. Asimismo, poner en valor un vestigio colectivo de las culturas materiales europeas e implementarlo como herramienta de

desarrollo en las zonas implicadas, áreas hoy día deprimidas económica y demográficamente.

Para ello, el proyecto COTES cuenta a día de hoy con una veintena de especialistas de diversas áreas, los cuales abarcan la gran mayoría de campos y tecnologías necesarias para el análisis del fenómeno de las piedras de afilar: Geología, Arqueología y Arqueometría, Levantamientos, Documentación 3D, Historia Militar, Etnografía, Museografía, Archivística, recreacionismo, armas blancas, gestión de proyectos, etc.

PRIMEROS RESULTADOS

Los primeros datos han sido reveladores y propicios para una segunda fase de estudio. Gracias al punto de partida sólido de las cronologías romanas y del contexto lamintano, hemos profundizado en el conocimiento de sus canteras, la caracterización de sus areniscas o en su historia social y económica (Fig. 2). También, a poco que nos hemos introducido en el tema, han comenzado a aflorar nuevos puntos de interés en canteras a un lado y otro de la Meseta, como son las de Cabra del Santo Cristo (Jaén), Villafranca de los Caballeros (Toledo) o en áreas cercanas a Medinaceli (Soria).

Los resultados se han plasmado en diferentes formatos como un documental, una exposición itinerante, conferencias y un Seminario Internacional en la Universidad Complutense. En él también pudieron contrastarse la información registrada con fenómenos europeos semejantes en la Galia Romana o en Creta que serán publicados en breve.

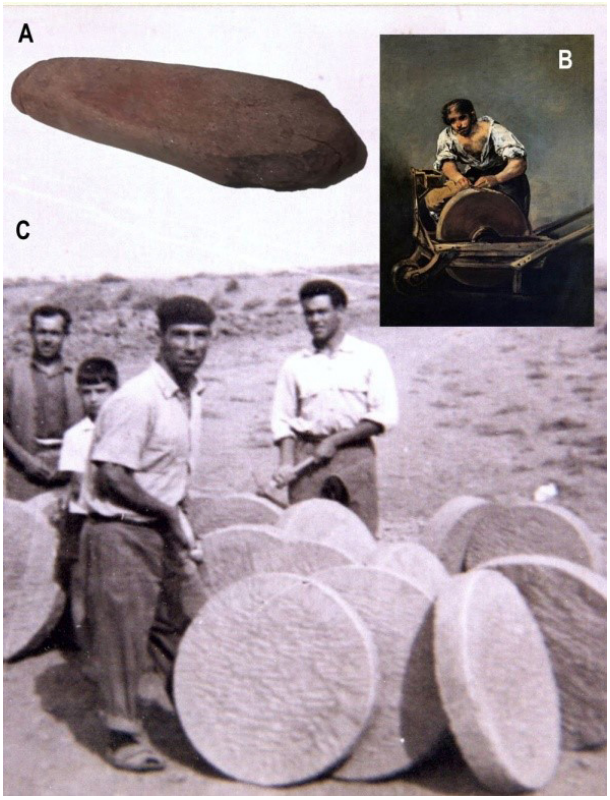


FIGURA 1. Fuentes y ámbitos de estudio relacionados con las piedras de afilar: Geología, Arqueología, Historia, Arte, Etnografía, etc. A) Afiladera vettona de la Mesa de Miranda (Chamartín de la Sierra, Ávila); B) El afilador (Goya, 1808-1812); C) Cuadrilla de F. Velasco en Villafranca de los Caballeros (Toledo), mitad del siglo XX.

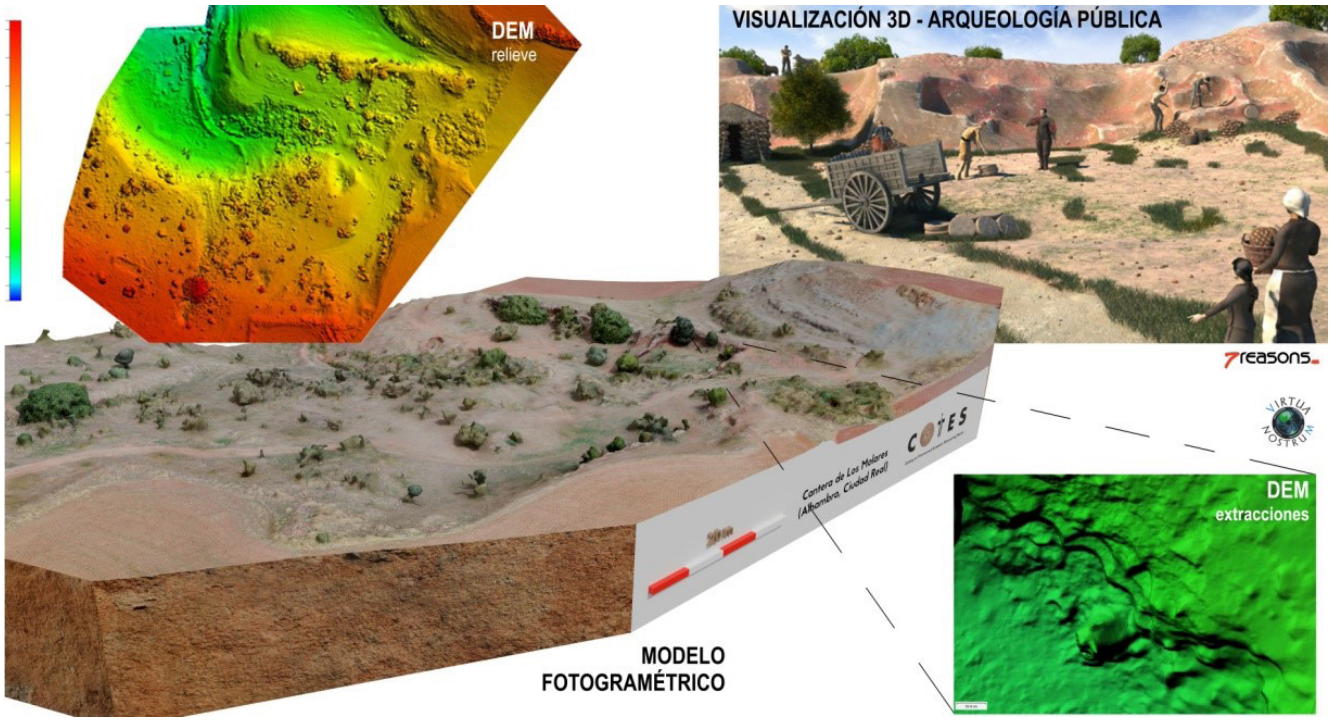


FIGURA 2. Modelos fotogramétricos y Arqueología Virtual para canteras de piedras de afilar, ejemplificado en Los Molares de Alhambra (Ciudad Real, España): óptimos resultados como sistema de documentación, análisis y divulgación.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha desarrollado gracias a la ayuda de informantes e instituciones, especialmente la subvención competitiva del Ministerio de Defensa de España, proyecto "Al filo de la Defensa: Trascendencia y explotación de las piedras afiladeras peninsulares en los ejércitos hispánicos" (Nº ref. 116-00008), SEGENPOL-Cultura de Defensa 2019.

REFERENCIAS

Allen, J.R.L. (2014): W*hetstones from Roman Silchester (Calleva Atrebatum), North Hampshire. Character, manufacture, provenance and use. 'Putting an edge on it'*. Archaeopress, Oxford, 132 p.

Juel Hansen, S.C. (2011): The Icelandic Whetstone Material - An Overview of Recent Research, *Archaeologia Islandica*, 9: 65-76.

Moya-Maleno, P.R. (2008): Ager y afiladeras. Dos hitos en el estudio del municipio laminitano (Alhambra, Ciudad Real). En *El territorio de las ciudades romanas* (J. Mangas y M.A. Novillo, eds.). Sísifo, Madrid, 557-588.

O'Connor, L. (1991): Irish Iron Age and Early Christian Whetstones. *The Journal of the Royal Society of the Antiquaries of Ireland*, 121: 45-76.

Reniere, S. (2018): Gallo-Roman whetstone building deposits. The cultural biography of the domestic sphere in northern Gaul. *Journal of Anthropological Archaeology*, 51: 67-76.

Reniere, S., Thiébaux, A., Dreesen, R., Goemaere, E. and De Clercq, W. (2018): Cross-Channel Connectivity: Wealden Whetstone Imports From Roman Britain to the Continent. *Oxford Journal of Archaeology*, 37 (3): 313-337.

La protección de las canteras históricas de Granada y su puesta en valor como garantía de conservación del patrimonio arquitectónico

The protection of the historic quarries of Granada and their enhancement as a guarantee of conservation of the architectural heritage

R. Navarro[1], J. Fernández-Suárez[2], J. Martínez-Martínez[3], E. Álvarez Areces[3] y J.M. Baltuille[3]

1 G.I.R. CHARROCK, Universidad de Salamanca, Plaza de los Caídos s/n 37.008 Salamanca. rafanavarro74@gmail.com
2 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005 Oviedo.
3 Ud. de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Calle Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

Resumen: En la construcción de los edificios históricos de la ciudad de Granada se combinaron materiales como travertinos, calcarenitas, calizas, conglomerados, mármoles e incluso serpentinita. Canteras como las situadas en Sierra Elvira (caliza Bronceado Gris), Mª Luisa (calcarenita de Santa Pudia), la Cantera del Rey (travertino) o el Barranco de San Juan (serpentinitas Verde Granada) tienen una gran importancia debido a que son la fuente original del material que se usó en una gran parte del patrimonio de la provincia, e incluso fuera de ella. Además, son importantes otras explotaciones mineras que se emplearon en la construcción de otros monumentos o restos históricos dispersos por la provincia, como en teatro romano de Guadix, el Castillo de La Calahorra o la Medina Elvira de Atarfe. Disponer del material original de construcción para la realización de futuras intervenciones es clave para garantizar su conservación. Sin embargo, son muy pocos los casos en los que estas canteras tienen algún tipo de protección, y si lo tienen, es de forma indirecta. La protección de estas explotaciones mineras históricas debería ser tenida en cuenta por las autoridades competentes con el fin de poner en valor un patrimonio geológico directamente relacionado con el patrimonio histórico.

Palabras clave: Granada, calcarenita de Santa Pudia, travertino de Alfacar, caliza de Sierra Elvira, serpentinita.

Abstract: *In the construction of the main historical buildings in the city of Granada, materials such as travertines, calcarenites, limestone, conglomerates, marbles and even serpentinite have been used. Quarries such as placed in Sierra Elvira (limestone Bronceado Gris), Mª Luisa (calcarenite from Santa Pudia), Cantera del Rey (travertine) or Barranco de San Juan (serpentinites Verde Granada) have great importance because they are the original source of the material that was used in the heritage of the province, and even outside it. In addition, there are other quarries which material were used in the construction of other monuments or historical remains throughout the province, such as the Roman theater in Guadix, the Castle of La Calahorra, or the Medina Elvira in Atarfe. Having the original construction material for future interventions is key to guaranteeing its conservation. However, there are very few cases in which these quarries have some type of protection, and if they do, it is indirectly. The protection of these historical quarries should be taken into account by the authorities in order to value a geological heritage directly related to historical heritage.*

Keywords: *Granada, calcarenite from Santa Pudia, travertine of Alfacar, limestone from Sierra Elvira, serpentinite.*

INTRODUCCIÓN

Granada es conocida internacionalmente por albergar uno de los monumentos medievales más emblemáticos del mundo árabe, como es la Alhambra. Sin embargo, acoge otros muchos edificios con gran interés desde el punto de vista arquitectónico tales como el Palacio de Carlos V, la Catedral y la Capilla Real, la Real Chancillería o el monasterio de La Cartuja, así como gran cantidad de iglesias y edificios emblemáticos. Todos ellos se construyeron a partir del siglo XV, empleando tres litotipos principales conocidos como "travertino de Alfacar", "calcarenita de Santa Pudia" y "caliza de Sierra Elvira". Junto a estos, que forman el cuerpo principal de los edificios, se usaron otros para proferirles una mayor riqueza estética. Algunos de ellos son el conglomerado de El Turro, el mármol de Lanjarón o la serpentinita de Sierra Nevada. Este último material destaca además por su uso ornamental en gran cantidad de edificios históricos por todo el territorio nacional (Navarro *et al.*, 2015). Estos materiales, debido a la importancia que tienen, han sido estudiados y caracterizados por numerosos autores, haciendo especial hincapié en las características petrográficas, físico-mecánicas y problemas de alteración (Luque *et al.*, 2008; Molina *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2015; 2021; Sebastian-Pardo *et al.*, 2008; Urosevic *et al.*, 2011, entre muchos otros).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES LITOTIPOS Y CANTERAS

"Caliza de Sierra Elvira": es una caliza de crinoides que se comercializa en la actualidad como "Bronceado Gris Sierra Elvira". Geológicamente pertenece al Subbético Medio

(Zonas Externas de las Cordillera Bética), datada como Lías. Está compuesta casi en un 100% por calcita, aunque es posible observar dolomita o incluso otros, como glauconita, cuarzo, óxidos e hidróxidos de Fe y otros rellenos en estilolitos (Sebastian-Pardo *et al.*, 2008). Esta piedra se ha utilizado como placas y suelos o columnas en toda la ciudad de Granada, tanto en construcciones históricas como actuales, principalmente en construcciones a partir del siglo XV, aunque también fue empleada en la antigüedad en ciudades como la Medina Elvira (Atarfe, Granada), entre los siglos VIII y X (González Escudero, 2008).

Con respecto a las áreas extractivas, debido a su intensa explotación a lo largo de los siglos y que se prolonga hasta hoy, no hay apenas vestigios de las canteras históricas (Fig. 1a). Tan sólo se conoce, en el paraje conocido como "Los Caballitos del Rey", restos de canteras que abastecieron a Medina Elvira (González Escudero, 2008). Esta es la única zona que goza de protección, ya que está dentro del B.I.C. Medina Elvira desde 2004.

"Calcarenita de San Pudia": calcarenita bioclástica con grandes fragmentos de bioclastos, así como pequeños clastos de cuarzo, esquisto, etc., con matriz carbonatada. Geológicamente pertenece al Tortoniense Inferior de la Cuenca de Granada. Existen dos variedades diferenciadas. La primera extraída en la cantera de "Las Parideras" con un color más amarillento, de fábrica más heterogénea, más clastos y un tamaño de poro mayor, y la segunda de la cantera de "La Escribana" (Fig. 1b), que es más blanca, más uniforme y con menor tamaño de poro y clastos (Urosevic *et al.*, 2011). Esta roca ha sido utilizada para la mayoría de sillares y bloques de casi todos los edificios históricos de la ciudad, especialmente la Catedral, el Palacio de Carlos V y la Real Cancillería. También hay detalles escultóricos como escudos, pináculos, etc.

Con respecto a las canteras, aunque actualmente están paralizadas, han estado en explotación en los últimos 30 años por parte de la empresa Áridos Los Linos, S.L., en las Concesiones Derivadas "Mª Luisa" y "Los Linos-1". No obstante, han conservado parte de los frentes de explotación antiguos. Estas canteras no tienen ningún tipo de protección.

"Travertino de Alfacar": se trata de un travertino del Cuaternario formado a partir de materiales del borde nororiental

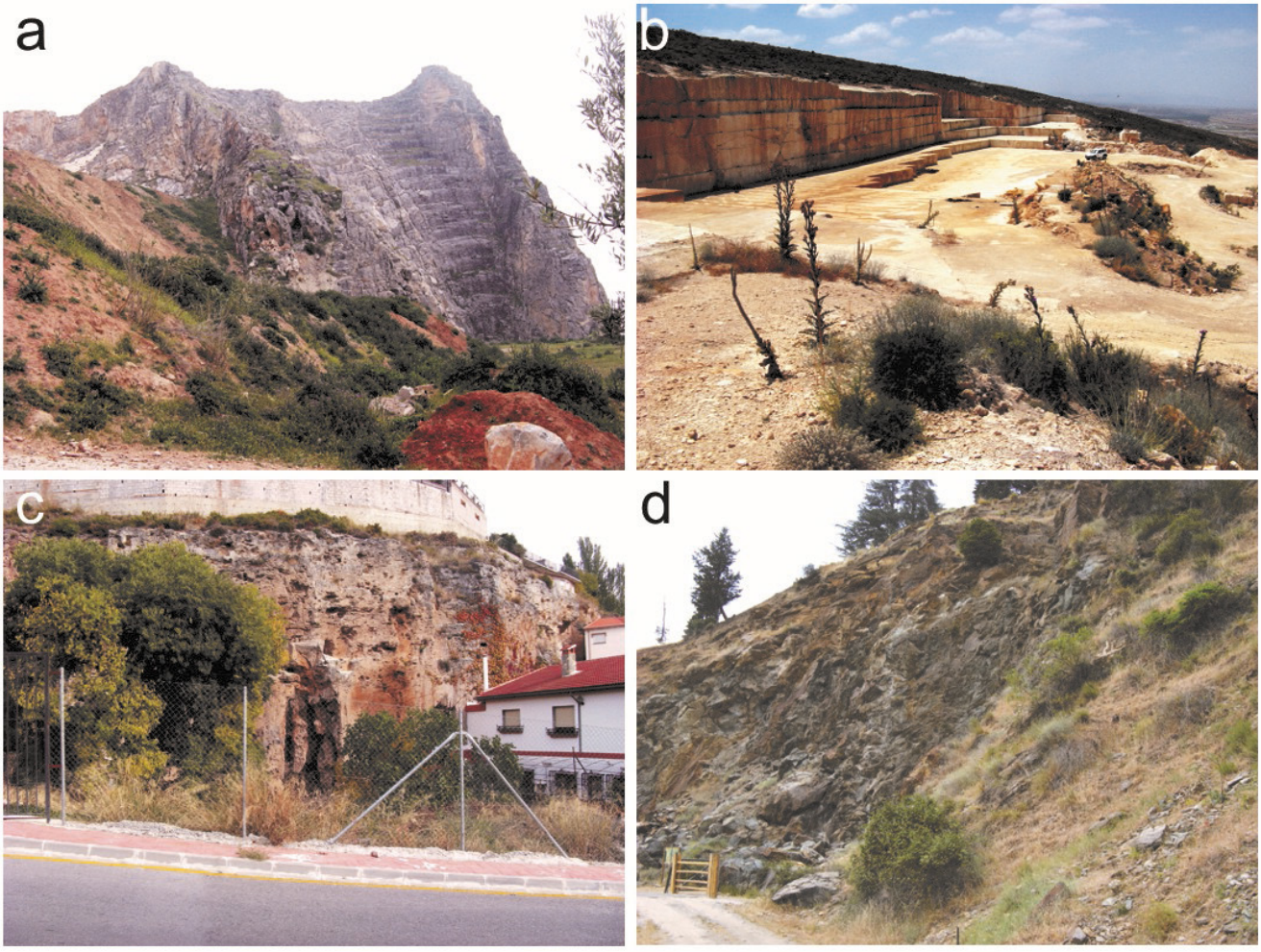


FIGURA 1. Vista general de algunas de las canteras descritas: a: cantera abandonada de caliza cerca del paraje "Los Caballitos del Rey", en Sierra Elvira; b: aspecto actual de la cantera "Las Parideras"; c: casa construida en el frente de una cantera de travertino de Alfacar; d: cantera de serpentinita "Barranco de San Juan".

de la Depresión de Granada. Está compuesto por calcita, con pequeños fragmentos de dolomita, cuarzo y feldespato (Urosevic *et al.*, 2011). Es un material muy poroso, con orificios de un centímetro en los que se observan, frecuentemente, restos vegetales calcificados. Este material se utilizó en la fabricación de sillares en la mayoría de los monumentos de la ciudad.

Con respecto a las canteras de las que se extrajo, la más importante de ellas se conoce como "Cantera del Rey", y están localizadas en Alfacar (Granada). El crecimiento urbano de la zona ha provocado que actualmente se encuentren integradas dentro del pueblo, en el barrio llamado "Las Canteras", habiendo incluso edificaciones junto a los frentes de extracción (Fig. 1c). En la actualidad no disponen de ningún tipo de protección, corriendo un serio riesgo de desaparición debido a la presión urbanística.

"Serpentinita de Sierra Nevada": Se trata de una serpentinita que pertenece al Complejo Nevado-Filábride (Zonas Internas de las Cordilleras Béticas). Está compuesta por minerales del grupo de la serpentina, junto con los que aparecen magnetita, carbonatos o pirita, entre otros (Navarro *et al.*, 2021). Este material, conocido como "Verde Granada", se ha usado como elemento decorativo en gran cantidad de edificios significativos desde el s. XVI, destacando en Granada, el edificio de la Real Chancilleria, El Palacio de Carlos V o la Catedral. Además, se usó en otras construcciones históricas singulares como el Monasterio de El Escorial o el Palacio Real, ambas en Madrid (Navarro *et al.*, 2015).

Se extrajo de varias canteras localizadas en Sierra Nevada, siendo las más conocidas las que se denominan "Barranco de San Juan", (Fig. 1d), localizada en Güejar Sierra y "San Jerónimo", en Monachil. Estas canteras estuvieron en explotación hasta los años 70 del siglo pasado (Navarro *et al.*, 2015). Actualmente se encuentran protegidas al estar dentro de los límites del Parque Natural de Sierra Nevada. Tan sólo la primera de ellas tiene un breve cartel interpretativo acerca del uso histórico del material, estando la segunda de ellas prácticamente cubierta debido a la restauración efectuada.

Conglomerado de El Turro: Se trata de un conglomerado Plio-Cuaternario, compacto, de cantos poligénicos y de diámetro medio variable entre 2 y 12 cm, cuya naturaleza es dominantemente metamórfica (mármoles y esquistos). La importancia de este material radica en que fue usado para la realización de las columnas del Palacio de Carlos V en la Alhambra (s. XVI).

La cantera original quedó destruida tras la construcción del canal del Río Cacin, en 1965. Tan solo quedan un gran peñón llamado "Piedra del niño El Turro" en la entrada de la localidad de El Turro, en donde han colocado unos carteles interpretativos de la roca, el modo de transporte y de su importancia en la construcción del Palacio de Carlos V.

Otras canteras: otras áreas extractivas históricas de interés, son las canteras de yeso de la zona de Las Gabias y La Malahá, de donde se extrajo el material para la elaboración de las yeserías de la Alhambra. Son pequeñas canteras muy dispersas, siendo realmente difícil precisar cuáles de ellas se utilizaron exactamente, debido a una falta de estudios detallados. Algunas están siendo explotadas en la actualidad para la obtención de yeso para la construcción. Otras mucho menos conocidas, como la cantera romana del Cortijo del Canal (Orfila-Pons *et al.*, 1996), utilizada para la obtención de travertinos para construir la Villa Romana del Cortijo del Canal, entre los s. I y IV. También se puede destacar la cantera del Alto de las Molicias, en la Peza, de donde se extrajeron calcarenitas bioclásticas para la construcción de parte del Teatro Romano de Guadix (s. I), o las canteras de calizas micríticas ubicadas al pie de Castillo de la Calahorra (Guardia *et al.*, 2013) empleadas para la construcción del mismo, en el s. XVI. Solo estas últimas están protegidas al estar dentro del entorno del BIC del Castillo de La Calahorra (Granada).

Mención aparte merece el mármol de Lanjarón, que fue usado en lugares emblemáticos, como el Monasterio de La Cartuja de Granada, y cuya cantera original no se conoce actualmente, y que según cita Samuel Edward Cook en 1830: "*El mármol de Lanjarón es uno de los más bellos del mundo. Es un depósito acuoso de blanco puro que envuelve mármol rojo y otras sustancias, que dan variedades de formas y colores de la más exquisita belleza. Algunas de las variedades recuerdan el ágata a una escala más grande*" (Lopez-Burgos del Barrio, 2002).

CONCLUSIONES

Como se ha puesto de manifiesto, la ciudad de Granada presenta un rico patrimonio compuesto por muy distintos materiales extraídos, en su mayor parte, de canteras localizadas en su provincia. Algunas de ellas, como la de serpentinita del Barranco de San Juan, han servido para la decoración de grandes edificios por todo el país, destacando el Palacio Real de Madrid. El problema que presentan, la mayor parte de ellas, y que es extensible a prácticamente todo el territorio nacional, es la ausencia de una figura de protección que impida su destrucción. Bien por el avance de explotaciones mineras actuales, como es el caso de la "caliza de Sierra Elvira" o la "calcarenita de Santa Pudia", o por la presión urbanística, como es el caso del "travertino de Alfacar", se corre el riesgo de no poder disponer de material adecuado en el futuro para la restauración de los elementos construidos con estos materiales. Además, la adecuada puesta en valor de los restos de las canteras, mediante la interpretación del uso histórico, métodos de extracción y transporte, etc, y su incursión en rutas de senderismo locales, puede añadir un valor desde el punto de vista cultural a los municipios donde se ubican.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado a través del G.I.R. CHARROCK de la Universidad de Salamanca y por el Instituto Geológico y Minero de España, a través de la red CONSTRUROCK.

BIBLIOGRAFÍA

González-Escudero, A. (2008): Las técnicas constructivas de Madinat Ilbira. *Arqueología Medieval*,104 40. http://www.arqueologiamedieval.com/articulos/104/las-tecnicas-constructivas-de-madinat-ilbira. Acceso 05/06/2020.

Guardia, J. J., Varas, M.J. y Suarez, F.J. (2013): Castle-palace of La Calahorra, Granada: influence of climatic and architectural factors in differential deterioration of their stone factories. *Materiales de Construcción*, 63 (312): 597-612. https://doi.org/10.3989/mc.2013.04112.

López-Burgos del Barrio, M.A. (2002): Los mármoles, la minería en España y la Geología de Granada en la obra de E. Cook, un viajero inglés de 1830. *Cuadernos Geográficos*, 32: 229-248. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v32i0.1939

Luque, A., Cultrone, G., Sebastián-Pardo, E. y Cazalla, O. (2008): Effectiveness of stone treatments in enhancing the durability of bioclastic calcarenite (Granada, Spain). *Materiales de Construcción*, 58 (292): 115-128. https://doi.org/10.3989/mc.2008.41607.

Molina, E., Cultrone, G., Sebastián-Pardo, E., Alonso, F.J., Carrizo, L., Gisbert, J. y Buj, O. (2011): The pore system of sedimentary rocks as a key factor in the durability of building materials. *Engineering Geology*, 118: 110-121. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.01.008.

Navarro, R., Pereira, D., Fernández de Arévalo, E., Sebastián-Pardo, E. y Rodríguez-Navarro, C. (2021): Weathering of serpentinite stone due to in situ generation of calcium and magnesium sulfates. *Construction and Building Materials*, 280: 122402. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122402.

Navarro, R., Pereira, D., Rodríguez-Navarro, C. y Sebastian-Pardo, E. (2015). The Sierra Nevada serpentinites: the serpentinites most used in Spanish heritage buildings En: *Global Heritage Stone: Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones* (D. Pereira, B. Marker, S. Kramar, B. Cooper y B. Schouenborg, eds.). Geological Society Special Publications, 407, 101-108. London.

Orfila-Pons, M., Castillo-Rueda, M. A. y Casado-Millám, P. J. (1996): La cantera romana del Cortijo del Canal (Albolote, Granada): composición, explotación y uso en la construcción. En: *Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.* Comunicaciones, 1: 1-6.

Sebastián-Pardo, E.M., Cultrone, G., Garibaldi, V., Rodríguez-Navarro, C., de la Torre, M.J. y Valverde, I. (2008): La Caliza de Sierra Elvira: comportamiento petrofísico de una piedra significativa del Patrimonio Arquitectónico Andaluz. *Materiales de Construcción*, 58 (289-290): 51-63. https://doi.org/10.3989/mc.2008.v58.i289-290.75.

Urosevic, M., Sebastián-Pardo, E.M., Ruiz-Agudo, E. y Cardell, C. (2011): Physical properties of carbonate rocks used as a modern and historic construction material in Eastern Andalusia, Spain. *Materiales de Construcción,* 61 (301): 93-114. https://doi.org/10.3989/mc.2011.v61.i301.

Análisis arqueométrico de tres esculturas romanas de la villa de Salar (Granada, España)

Archaeometric analysis of three Roman sculptures from the villa of Salar (Granada, Spain)

E. Ontiveros Ortega[1], J. Beltrán Fortes[2], M.L. Loza Azuaga[1], J.M. Román Punzón[3] y M. I. Fernández García[3]

1. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH). Av. de los Descubrimientos, s/nº. 41092 Sevilla. esther.ontiveros@juntadeandalucia.es; marial.loza@juntadeandalucia.es
2. Universidad de Sevilla. María de Padilla, s/nº. 41004 Sevilla. jbeltran@us.es
3. Universidad de Granada. Campus de la Cartuja. Prof. Clavera, s/nº. 18011 Granada. romanp@ugr.es; mifernan@ugr.es

Resumen: Este trabajo muestra el estudio arqueométrico realizado sobre tres esculturas romanas localizadas en la *villa* romana de Salar (Granada, España). Se trata de dos esculturas de ninfas y otra de Venus elaboradas en mármoles blancos, cuyas muestras se han estudiado desde el punto de vista petrográfico, mineralógico y geoquímico y se han comparado con mármoles locales, como Almadén de la Plata, y foráneos como Pentélico, Paros y Naxos, con objeto de identificar su procedencia. Los datos indican que en la elaboración de una de las estatuas de Ninfa y en la de Venus se ha empleado mármol Pentélico, y en la segunda escultura de Ninfa, quizás Almadén de la Plata. Este estudio es de interés ya que hay pocos estudios arqueométricos realizados sobre piezas arqueológicas en esta área de la *Baetica* romana y en consecuencia se conoce poco sobre las áreas de explotación y circuito comercial de mármoles en esta área de la Hispania meridional.

Palabras clave: Esculturas romanas, piedra ornamental, análisis petrográfico, análisis mineralógico análisis químico.

Abstract: *This paper shows the archaeometric study carried out on three Roman sculptures located in the Roman villa of Salar (Granada, Spain). These are two Nymphe sculptures and a Venus made of white marble. The different samples have been studied from a petrographic, mineralogical and geochemical point of view and have been compared with local marbles such as Almaden de la Plata, and foreign ones such as Pentelic, Paros and Naxos, in order to identify their origin. The data indicate that in the elaboration of two statues (one Nymphe and Venus) Pentelic marble has been used, and in the second sculpture of Nymphe is used a local marble, perhaps, from Almaden de la Plata This study is of interest since there are few archaeometric studies conducted on archaeological pieces in this area of Roman Baetica and consequently little is known about the areas of supply and commercial circuit of marbles in the Eastern sector of the South of Hispania.*

Keywords: *Roman sculptures. Ornamental Stone, petrographic analysis, mineralogical analysis, chemical analysis.*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo identificar la procedencia de los mármoles blancos usados para la elaboración de tres esculturas romanas: una Ninfa con Venera, una Ninfa Púdica y una Venus tipo Capitolino, encontradas en la *villa* romana de Salar (Granada). La ocupación de esta *villa* está situada entre principios del siglo I d.C. y primera mitad del siglo VI d.C., con una importante reforma en época severiana, a comienzos del siglo III d.C. (Román Punzón *et al.*, 2018). Lo excavado presenta un gran peristilo ajardinado presidido por el *triclinium* y este a su vez por un ninfeo, que alimenta un estrecho estanque que rodea por tres lados el triclinio; en el extremo contrario del peristilo se ha descubierto un ambulacro decorado con un mosaico de cacería y al que se abren otras estancias, asimismo pavimentadas con mosaicos, de la *pars urbana* de la *villa*

Las dos primeras esculturas aparecieron en el interior del ninfeo que se asocia al *triclinium*, y debieron de decorar ese espacio acuático, a lo que apunta asimismo el que sean representaciones de ninfas. Una de ellas corresponde a una Ninfa con Venera; aparece de pie con una concha entre sus manos, que tiene sus antecedentes en época helenística, pero que guarda relación iconográfica con representaciones de Afrodita, según un tipo escultórico del que derivan los prototipos en los que se inspiraron sus creadores en los siglos IV-III a.C.; en concreto sigue el modelo de la Venus Landolina, procedente de Siracusa y que abre el manto dejando ver las piernas, como se observa en este caso. La segunda escultura de ninfa reproduce otro modelo bien conocido de representaciones de ninfa, que se inspira en el modelo de la Afrodita *Pontia Euploia*, en estrecha conexión con el tipo de ninfa Venus marina. La primera pieza puede datarse en los primeros decenios del siglo III d.C., en época severiana, en un taller de la Bética, mientras que la segunda sería de elaboración anterior, en época antoniniana avanzada, durante la segunda mitad del siglo II d.C., pero debió tratarse de una pieza de importación (Beltrán Fortes *et al.*, in press.).

Finalmente, en las excavaciones de 2018 salió a la luz la escultura de una ninfa, reaprovechada en una fase tardoantigua de la villa; originalmente pudo formar parte de la decoración de una segunda fuente que se sitúa en uno de los extremos cortos del peristilo, junto al ambulacro antes citado. La estatua, de mediano tamaño, reproduce el tipo de la Venus Capitolina, que sigue modelos praxitélicos, con un trabajo del mármol de gran calidad, lo que denota que se trata de una pieza de importación, elaborada en un taller extrahispano.

MÉTODOS

Las muestras se han estudiado desde el punto de vista petrográfico, mineralógico y geoquímico y los datos se han contrastado con otros mármoles de origen local como Almadén de la Plata y foráneos como Pentélico, Paros y Naxos localizados en la Base de Datos "Arqueodata" elaborada en el Laboratorio de Geología del IAPH en colaboración con el Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla. Estos análisis son de interés ya que hay pocos estudios arqueométricos realizados sobre piezas arqueológicas y se conoce poco sobre las áreas de aprovisionamiento y circuitos comerciales de marmora en esta área del Sur de Hispania.

Se han analizado un total de 3 muestras, cuya descripción se indica en la Tabla I. De visu se han identificado dos variedades de mármol: un mármol de aspecto fino (VS-2 y VS-3), probablemente de origen foráneo, y un mármol de aspecto más grueso (VS-1) probablemente local.

Las técnicas utilizadas para la caracterización de las muestras pétreas han sido la microscopia óptica de polarización (equipo Leica DMLP, con captura digital de imagen Leica DFC 280), difracción de rayos X (equipo difractómetro D8I-90, método polvo) y fluorescencia de rayos X, (método minitrazas equipo Panalitical, modelo Axios) para poca cantidad de muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopia óptica de luz transmitida

La descripción petrográfica de los dos litotipos marmóreos se indica a continuación (ver Tabla II):

Tipo 1 (VS-1). Mármol calcítico de tamaño de grano heterogéneo y textura heteroblástica con un MGS > 2mm y variaciones que van de 0.5 a 2mm. Los contactos de los blastos son rectos y suturados con un desarrollo de maclas discontinuas y finas o rectas y gruesas. Se observan inclusiones de menas metálicas y granos de cuarzo de forma esporádica.

Tipo 2 (VS-2 y VS-3): Mármol calcítico de textura heteroblástica granoblástica poligonal en mosaico con desarrollo importante de puntos tiples. Su MGS está torno a 1mm y variaciones que van de 0.5 a 1mm. Los contactos entre granos van de curvos a semicurvos con importante desarrollo de maclas rectas y muy gruesas. Se observan inclusiones de apatito, pirita y micas.

Muestras	Esculturas analizadas	Descripción
VS-1 GE Ninfa con Venera. Ninfeo		Mármol blanco de grano heterogéneo de tamaño de grano de medio a grueso con un intenso veteado rosáceo
VS-2 GE Ninfa Púdica. Ninfeo		Mármol Blanco de aspecto homogéneo y tamaño de grano de medio a fino
VS-3 GE Venus Capitolina Pasillo junto al Peristilo		Mármol Blanco de aspecto homogéneo y tamaño de grano de medio a fino.

TABLA I. Descripción visual de los mármoles analizados y piezas escultóricas

La muestra VS-1 (Ninfa con Venera) en base a su tamaño de grano y presencia de apatito se puede correlacionar en principio con el mármol foráneo de Naxos. Sin embargo, texturas similares se han observado en mármoles locales como Almadén de la Plata (Sevilla) (Ontiveros Ortega *et al.*, 2012) o incluso variedades calcíticas del Sector Sierra de Mijas (Málaga) (Beltrán Fortes *et al.*, 2018).

Las otras dos esculturas, la Ninfa Púdica (VS-2) y la Venus Capitolina (VS-3) corresponden a un mármol de textura más fina que está en el rango de mármol Pentélico o variedad más fina de Paros. Por otra parte, la presencia de apatito y pirita como minerales accesorios apoya estos dos posibles orígenes. No obstante, al observar que el tamaño predominante está en el rango < 1mm, permite correlacionarlo mejor con el mármol Pentélico. Apoyan esta hipótesis también la ausencia de circón y serpentina junto a anfíboles, característica del mármol de Paros y, por otra parte, la ausencia de micas de flogopita, también característico del mármol Pentélico (Capedri *et al.*, 2004), aspectos que también se han observado en este tipo de mármol.

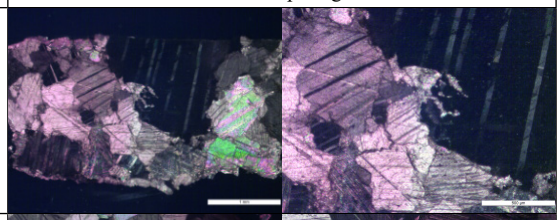
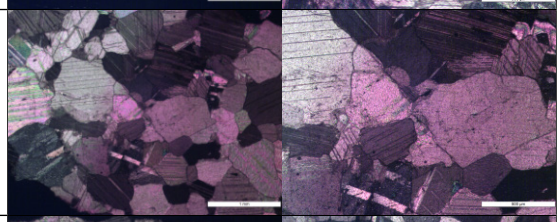
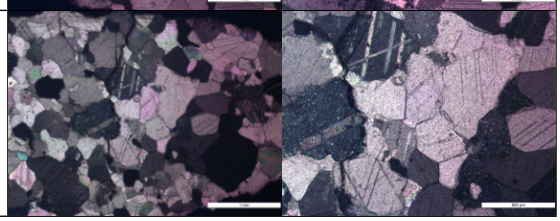
Tipo	Observación petrográfica
VS1	
VS2	
VS3	

TABLA II Observación petrográficas de las distintas muestras de mármoles analizadas.

Difracción de rayos X

Los datos de composición mineralógica obtenidos por difracción de rayos X indican que los mármoles son calcíticos, todas las muestras contienen cuarzo como componentes minoritarios y en la muestra VS-1 se detecta además feldespatos.

Fluorescencia de rayos X

La composición química de elementos químicos mayoritarios (Fig. 1) confirma la pureza de estas dos variedades de mármol, el contenido en impurezas no supera el 3%. Se destacan valores similares en MgO y Fe_2O_3, Na_2O y K_2O y mayores en contenidos SiO_2 y Al_2O_3 y TiO_2 que presenta el mármol VS-1. Esto se atribuye en gran parte a las pátinas de alteración que presenta esta escultura.

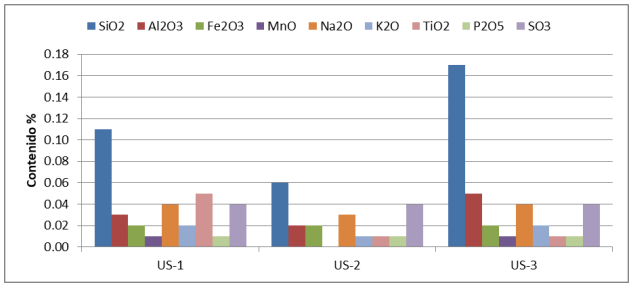


FIGURA 1. Composición química elementos mayoritarios de las muestras analizadas.

El estudio comparativo de los dos tipos de mármol hallados en las esculturas, con muestras de Naxos y Paros se muestra en la Fig. 2. El Tipo 1 presenta mayor contenido en MgO y menor contenido en Fe_2O_3, Na_2O y K_2O, por lo que se descarta su posible origen foráneo.

El mármol Tipo 1 se compara con mármoles de las canteras de Almadén de la Plata (Sevilla) y de Mijas (Málaga). Concretamente con la variedad blanca de grano grueso (cantera Los Covachos), para el primer caso, y con mármoles calcíticos del Sector Alhaurín de la Torre (cantera Fuente del Sol, Málaga) (Beltrán Fortes *et al.*, 2018), para el segundo caso.

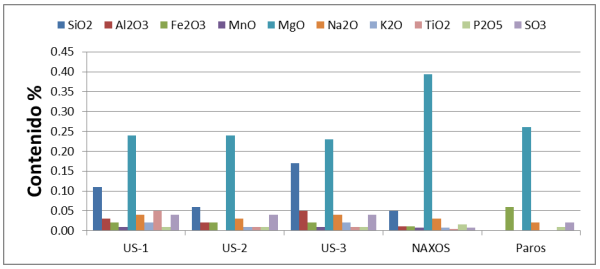


FIGURA 2. Estudio comparativo de composición química de elementos mayoritarios entre muestras de mármol de Naxos y Paros con las piezas arqueológicas.

La composición de elementos mayoritarios de estas canteras muestra altos contenidos en SiO_2, Al_2O_3, MgO y K_2O, por lo que no se ajustan al mármol Tipo 1 Además, no presenta micas, como ocurre con los mármoles de Alhaurín de la Torre o importantes contenidos en cuarzo, como ocurre con los mármoles de Almadén de la Plata (Fig. 3). Es de destacar los contenidos similares en Mg_2O y presencia en Ba y Cr con las variedades de Almadén de la Plata por lo que desde el punto de vista químico el mármol Tipo 1 es más similar a Almadén de la Plata, sobre todo en el contenido en Ba, Nd y Sr (Fig. 4). Se descarta la posibilidad de que se trate de mármol procedente de Alhaurín de la Torre debido a los altos contenidos en Sr que presenta este mármol. Los valores en $SíO_2$ discrepan significativamente, lo que se puede deber al tamaño de la muestra arqueológica analizada, que difícilmente pueden reflejar valores medios.

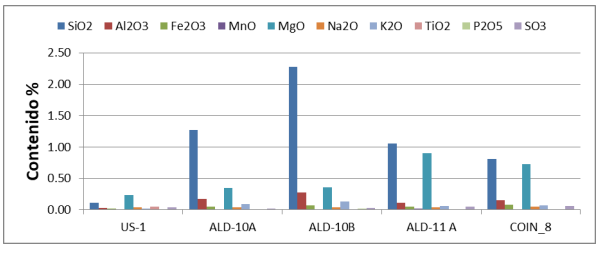


FIGURA 3. Componentes químicos mayoritarios en piezas arqueológicas frente a canteras de Almadén de la Plata (Sevilla) y Alhaurín el Grande (Málaga).

Para el Tipo 2 se descarta que su procedencia sea Paros, al tratarse en este último caso de un mármol más puro y con mayor contenido en P_2O_3. Por otra parte, este tipo presenta bajos contenidos en elementos traza, coincidente con el mármol Pentélico (Fig. 5).

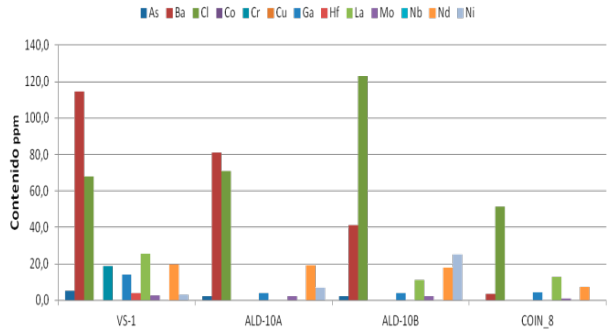


FIGURA 4. Comparativa de la composición química elementos traza del mármol Tipo 1 con mármol de las canteras de Almadén de la Plata y Alhaurín de la Torre.

Las costras o concreciones del mármol, formadas durante el enterramiento, puede alterar la composición química de mármol; lo que explica que un mismo tipo de mármol pueda presentar variaciones significativas en su composición química. Destacamos en este sentido el mayor contenido en Cl que puede estar relacionado con las condiciones locales de enterramiento de las piezas y formación de concreciones ricas en minerales arcillosos.

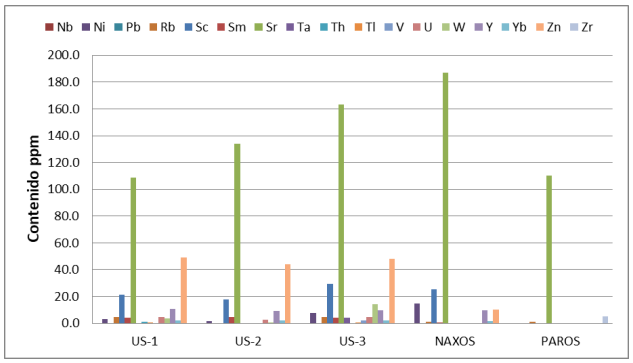


FIGURA 5. Comparativa de la composición química elementos traza del mármol Tipo 1 con mármol de las canteras Naxos y Paros.

CONCLUSIONES

El estudio arqueométrico realizado sobre estas esculturas romanas ha permitido atribuir un posible origen foráneo a las esculturas de Ninfa Púdica y Venus Capitolina. Las características petrográficas junto con la composición mineralógica y geoquímica han permitido confirmar que muy probablemente se trate de mármol tipo Pentélico.

A la Ninfa con Venera se le atribuye un origen local, como más probable de Almadén de la Plata con base en su contenido en MgO, por lo que se descarta su procedencia de las canteras de Málaga, que por su proximidad se creían *a priori* como más probables. No obstante, debe reconocerse que los altos contenidos en Ba que presenta difieren significativamente de los de los mármoles de Almadén de la Plata.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto: *Marmora. Innovaciones en el Estudio Arqueológico y Arqueométrico del Uso de los Marmora en la Baetica: Arquitectura, Escultura, Epigrafía*. Plan Nacional de I+D+i, del Ministerio de Economía y Competitividad de España, con Fondos FEDER; ref. HAR2013-42078-P.

Proyecto: C*olonia Aelia Augusta Italica. Arqueología del Sector NE de la Vetus Urbs de Itálica en el marco del proceso de romanización en el Guadalquivir Inferior*. Plan Nacional de I+D+i, del Ministerio de Economía y Competitividad de España, con Fondos FEDER; ref. HAR2017-89004-P.

Grupo de Investigación HUM 402, del Plan Andaluz de Investigación.

REFERENCIAS

Beltrán Fortes, J., Loza Azuaga, M.L. y Ontiveros Ortega, E. (2018): Marmora en Cartima (Cártama, Málaga). En: *Marmora Baetica. Usos de materiales pétreos en la Bética romana. Estudios arqueológicos y análisis arqueométricos*. Ed. Universidad de Sevilla, Sevilla, 75-112.

Capedri, S., Venturelli, G. and Photiades A. (2004): Accessory minerals and $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ of marbles from the Mediterranean area. *Journal of Cultural Heritage*, 5: 27–47

Beltrán Fortes, J., Loza Azuaga, Mª.L., Fernández García, Mª.I., Román Punzón, J.M., Moreno Alcaide, M., Ruiz Montes, P. y Ramos Noguera, J. (in press.): La villa romana de Salar (Granada): nuevo descubrimiento escultórico. *IX Reunión Internacional sobre Esculturas Romanas en Hispania*. Yecla, Murcia, 2019.

Ontiveros Ortega, E., Beltrán Fortes, J., Taylor, R. and Rodríguez Gutiérrez, O. (2012): Petrography and Elemental Geochemistry of the Roman Quarries of los Castillejos and los Covachos (Almadén de la Plata, Seville, Spain). Outcrops and Semi-Elaborated Products. En: *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. IX Asmosia Conference.* ICAC, Tarragona, 407-418.

Román Punzón, J.M., Moreno Alcaide, M., Ruiz Montes, P. y Ramos Noguera, J. (2018): La importancia de la investigación, conservación y puesta en valor del patrimonio histórico local. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 28: 233-257.

Primeros avances en la investigación sobre las canteras de marmora en la Sierra de Córdoba, Sector Ossa-Morena (España)

First advances in research on marmora quarries in the Chain of Cordoba, Sector Ossa-Morena (Spain)

E. Ontiveros Ortega[1], J. Beltrán Fortes[2], A. Monterroso Checa[3], M.L. Loza Azuaga[1], M. Gasparini[3] y A. Ventura[4]

1 Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Av. de los Descubrimientos, s/nº. 41092 Sevilla. esther.ontiveros@juntadeandalucia.es; marial.loza@juntadeandalucia.es

2 Departamento de Prehistoria y Arqueología - Facultad de Geografía e Historia - Universidad de Sevilla. María Padilla, s/nº. 41004 Sevilla. jbeltran@us.es

3 Patricia. Unidad de Investigación, Innovación y Competitividad para el Medio Patrimonial- Grupo Hum 882. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edificio Charles Darwin. N- IV, km 396, 14014 Córdoba. amonterroso@uco.es

4 Área de Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Córdoba. Plaza del Cardenal Salazar, 3. 14003 Córdoba. aa1vevia@uco.es

Resumen: El uso del *marmor* en *Colonia Patricia Corduba*, actual Córdoba, se ha constatado ampliamente en el ámbito de la investigación arqueológica con unas manifestaciones muy tempranas, en las que se ha comprobado el uso de ciertos *marmora* de origen local en consonancia con la riqueza geológica de la sierra de Córdoba, facilitado asimismo por la proximidad de las explotaciones a la ciudad. Así, entre fines del siglo I a.C. y los inicios de la era debieron existir una serie de explotaciones que suministraron estos materiales lapídeos, que serán empleados también en otras áreas de la provincia romana *Baetica*. No obstante, son escasos los trabajos realizados sobre las canteras de la Sª Córdoba y ausentes los llevados a cabo con fines arqueométricos. Aunque este sector geológico ha despertado interés ya desde principios del siglo pasado, destacando la presencia de un número importante de canteras antiguas, su estudio desde el punto de vista arqueométrico no se ha abordado con la profundidad necesaria. En este trabajo se exponen los primeros avances sobre la localización de estas canteras, así como algunas variedades pétreas usadas como piedra ornamental en época romana en proceso de estudio.

Palabras clave: Marmora, piedra ornamental, geoarqueología, canteras romanas, Baetica.

Abstract: *The use of marmor in Colonia Patricia Corduba, currently Córdoba, has been widely verified in the field of archaeological research with very early manifestations, in which the use of certain marmora of local origin has been proven in line with the geological resources of the chain of Córdoba, and its proximity to the city. Thus, between the end of the 1st century B.C. and the beginning of the era there must have been a series of quarries that supplied these lapid materials, which will also be used in other areas of the Baetica Roman province. However, there are few works carried out on the quarries of chain of Córdoba and absent those carried out for archaeometric purposes. Although this geological sector has aroused interest since the beginning of the last century, highlighting the presence of a significant number of ancient quarries, its study from an archaeometric point of view has not been approached with the necessary depth. In this paper the first advances on the location of these quarries are exposed as well as some stone varieties used as ornamental stone in Roman times under study.*

Keywords: *Marmora, ornamental stone, geoarchaeology, Roman quarries, Baetica.*

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestran los primeros avances de la investigación sobre la explotación de canteras de época romana en la Sª de Córdoba (España). La explotación de rocas ornamentales en este Sector de Ossa-Morena se realizaba desde antiguo, fue en época romana cuando esta actividad adquiere gran protagonismo, en esto pudo contribuir el emplazamiento de la de Colonia Patricia (actual Córdoba) próxima a este nivel montañoso.

Este trabajo se va a centrar especialmente en los materiales extraídos de las canteras de Rodadero de Lobos (Cortijo Piquín), que corresponde a una variedad de color rojo violáceo (Fig.1), y las canteras del Arroyo de los Pedroches, que corresponde a una variedad caliza gris con unas características venas blancas, denominada piedra de *Mina*. Hay constancia de que en el periodo tardo-republicano y augusteo se comenzó a utilizar estas dos variedades, que exhibe tres variedades visuales: violácea, bandeados rojo verde blanco y gris (Márquez, 1995; Ventura Villanueva, 2009). En época augusteo se introduce el mármol blanco, tendencia que se consolida en época imperial, quedando estas tipologías coloreadas delegadas a funciones secundarias (Márquez, 1995). Hay constancia también del uso de esta variedad pétrea violácea y tricolor en época tardoagustea, julioclaudia y tiberiana. Es frecuente observarla en

inscripciones gladiatorias y Hermas-retrato de Córdoba, de mediados s. I d.C. (Ventura Villanueva, 2009). A mediados del s. III d.C. se abandona su explotación (pedestal ecuestre de L. Antonius Granius Erasinus, (Ventura, 2003). Se retoma la explotación con Abd-al-Rahman III en 930-950 para construcción Madinat al-Zahra.

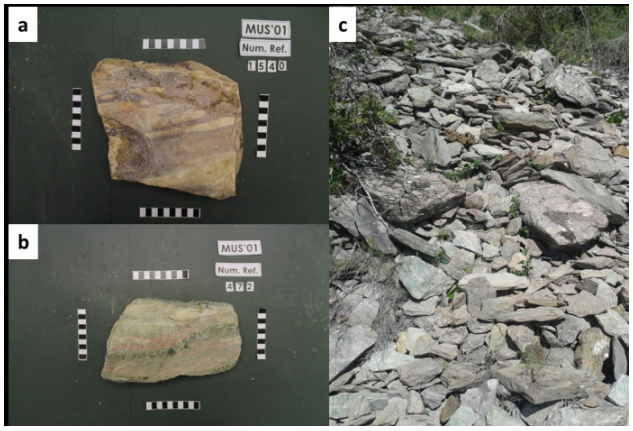


FIGURA 1. a-b) Fragmentos de pavimentos usados en el Teatro Romano de Córdoba. c) Canchal de cantera Rodadero de Lobos.

Junto a la piedra de Mina se usa otra variedad roja con arqueociatos observadas en el Teatro Romano de Córdoba e Itálica, según últimas investigaciones en curso. Pero en este Sector de la *Baetica romana* también se han identificado otras variedades de interés correlacionadas desde el punto de vista geológico. Una caliza estromatolítica y un mármol blanco de tamaño grano heterogéneo que en unas variedades se hace muy grueso (Fig. 2) que muy probablemente se han extraído de canteras próximas. Tenemos constancia de la presencia de pequeñas canteras localizadas en Peñaflor (Sevilla), donde se explotaba estas dos variedades de piedra ornamental dentro de una misma cantera. Es muy probable que existan otros núcleos de explotación más importantes en este sector de la Sierra de Córdoba, sobre lo que se está investigando en este momento.

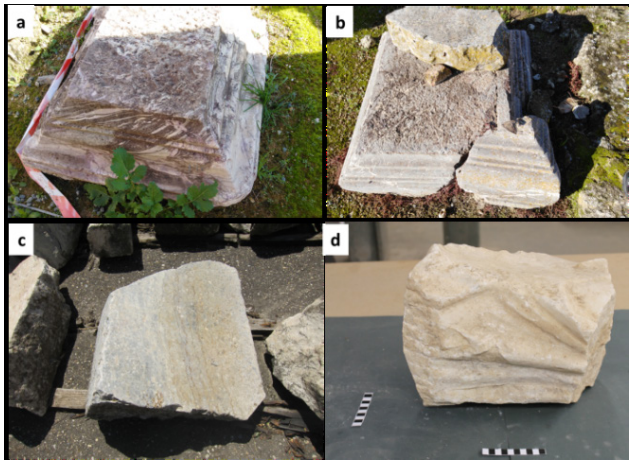


FIGURA 2. a) Caliza con arqueociatos, Teatro Itálica. b) Piedra de Mina, Teatro de Itálica. c) Caliza estromatolítica similar a Alconera. Teatro romano de Córdoba. d) Escultura Teatro romano Córdoba. Mármol de grano grueso.

EMPLAZAMIENTO GEOLÓGICO DE LAS CANTERAS

Los materiales objeto de este estudio que afloran en la Sª de Córdoba, corresponden a afloramientos de la *Formación Pedroche* del Cámbrico Inferior (Ovetiense inferior) (Liñán y Dabrio 1974; Fernández-Remolar, 1999), localizados en el Dominio Córdoba-Alanís (Delgado-Quesada *et al.*, 1977) dentro del dominio Central de la Zona de Ossa-Morena (Fig. 3).

Este dominio tectónico, que se extiende desde Olivenza-Zafra hasta Hornachuelos, está constituido por una potente sucesión de rocas carbonatadas con varios horizontes de trilobites y arqueociatos, que han sido objeto de estudio desde el siglo XIX, destacamos (Hernández-Pacheco, 1926; Liñán y Dabrio, 1974; Perejón, 1984; Moreno-Eiris, 1988), y más recientemente, (Fernández-Remolar, 2001; Perejón *et al.*, 2008).

Esta formación geológica se correlaciona con la *Formación Alconera*, constituida por distintos niveles estratigráficos de calizas con niveles de algas, estromatolitos con arqueociatos, oolíticas que pueden aparecer dolomitizadas, intercaladas con niveles de areniscas y lutitas (Moreno-Eiris, 1988).

El tramo o miembro inferior de la Formación Pedroches, lo constituye un paquete de calizas calcimicrobianas con arqueociatos, calizas oolíticas y oncolíticas, y sobre este nivel un tramo superior constituido por una alternancia de material carbonatado y terrígeno (arcosas y lutitas) sin arqueociatos (Liñán y Dabrio, 1974).

En nuestra zona de estudio, Sª de Córdoba, se observa una secuencia sedimentaria que incluye un nivel inferior constituido por unas areniscas moradas de grano medio y conglomerados (arcosas) ricas en óxidos de Fe, compuesto por fragmentos de cuarcitas y rocas volcánicas que hacia techo se van haciendo más carbonatado. Sobre él se emplazan un potente paquete de calizas de composición dolomítica y calcítica alternando con areniscas, margas y pizarras y ocasionalmente niveles de riolitas (Ramírez Copeiro del Villar *et al.*, 1973).

En este último nivel se diferencia de base a techo los siguientes niveles estratigráficos:

– Dolomías cristalinas

– Biomicritas

– Arcosas carbonatadas y margas

– Pizarras y arcosas arcillosas

Estos niveles carbonatados hacia la base se hacen tableados, en general los bancos son cristalinos y hacia el oeste pasan a mármoles, debido a su contacto con un granito que aflora en la localidad de Santa María de Trassierra.

El análisis geológico de esta zona permite identificar en un primer momento las variedades pétreas explotadas en época antigua:

– La piedra de Mina, localizada en contacto con el nivel dolomítico base de la formación de la formación carbonatada.

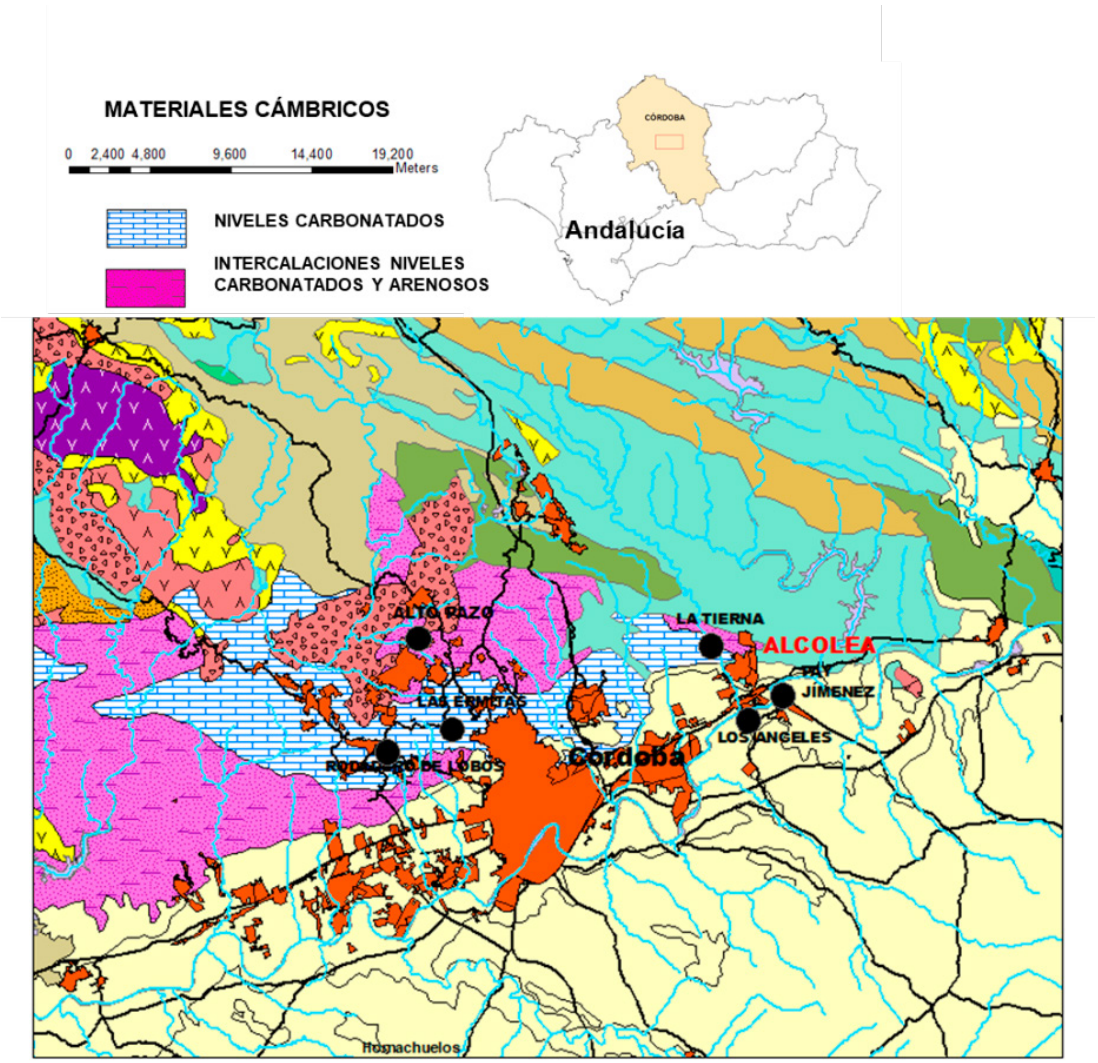


FIGURA 3. Emplazamiento geológico de la zona de estudio y localización de canteras.

– Encima se sitúa un nivel de arcosas carbonatadas y margas, que corresponde a las variedades tricolor rojo, verde, blanco sucio. La unidad detrítica está constituida por granos angulosos y subangulosos de cuarzo, feldespatos micas fracción pesada (turmalina, circón, apatito y mena de hierro) y escasos fragmentos líticos. Su tamaño varía desde fino con cemento margoso y carbonatado recristalizado con una marcada pizarrosidad.

– Finalmente, la caliza con arqueociatos de coloración roja y blanca, que se presenta como intercalaciones con la serie anterior.

En la Fig. 3 también se muestras las canteras localizadas hasta el momento en la Sierra de Córdoba, en proceso de estudio. Este trabajo se va a central en dos sectores: Rodadero de Lobos y Arroyo de los Pedroches.

PRIMEROS DATOS ARQUEOMÉTRICOS SOBRE ESTAS CANTERAS.

En este trabajo se muestran el análisis petrográfico de los materiales pétreos extraídos de canchal de las canteras de Rodadero de Lobos y de los frentes de las canteras Arroyo de los Pedroches. Además, se muestran datos de otras canteras pertenecientes a la misma formación geológica localizada en Peñaflor, Sª Norte de Sevilla. Este material no corresponde a la piedra de Peñaflor, término con el que se conoce una variedad de mármol policromado que es frecuente encontrarlo en yacimientos arqueológicos en la Baetica romana junto a la variedad piedra de Mina, por ejemplo, en el Teatro Romano de Itálica o Córdoba. Estos primeros estudios son importantes para poder establecer unos parámetros básicos de referencia de materiales geológicos que permitan seguir avanzando en la investigación, ya que hay pocos datos que hagan referencia a la explotación de estas canteras en este sector de la *Baetica* romana.

El aspecto petrográfico que presentan la piedra de Mina y la de Rodadero de Lobos se muestra en la Fig. 4.

La piedra de Mina (Fig.4a-b) corresponde a una caliza muy compacta y de textura variable. Presenta una matriz micrítica y superficies estirolíticas enriquecidas en oxi-hidróxidos de Fe y blastos de calcita maclados y muy deformados. En general estos materiales presentan un aspecto abigarrado debido al alto contenidos en oxi-hidróxido y son frecuentes inclusiones o venas finas rellenas de calcita recristalizada. Corresponde a una biomicrita con abundantes fantasmas de fósiles difícil de identificar.

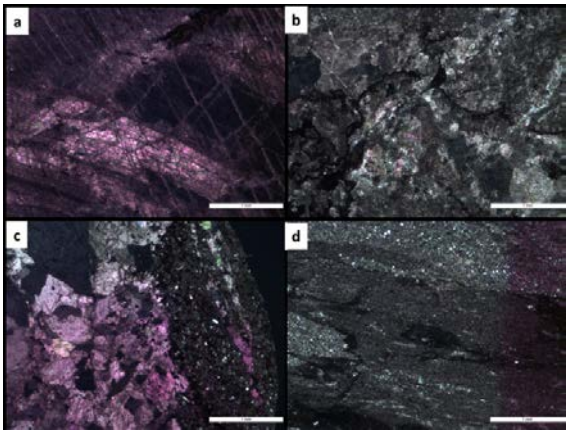


FIGURA. 4. Aspecto petrográfico que presenta a) la piedra de Mina. b) Piedra de Rodadero de Lobos.

En la Fig. 4c-d se observa el aspecto petrográfico que presenta la piedra de Rodero de Lobos. Se trata de una arcosa con matriz carbonatada arcillosa en proceso de recristalización, con abundante contenido en granos de cuarzo y feldespatos. Este material aparece en contacto con nódulos carbonatados de tamaño de grano muy grueso (Fig. 5a).

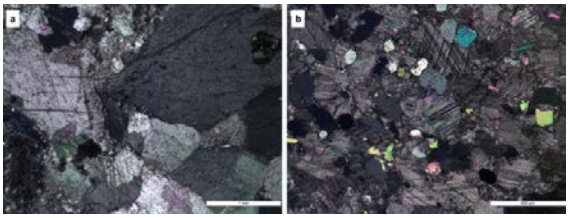


FIGURA 5. Aspecto petrográfico que presenta a) variedad gruesa localizada en Rodaderos. b) Mármol localizado en la cantera de Peñaflor.

La Fig. 5b muestra el aspecto petrográfico que presenta la piedra localizada en las canteras de Peñaflor analizadas, se trata de unos mármoles calcíticos de textura heteroblástica y tamaño de grano medio, MGS en torno a 1mm. Es característico en este mármol el contenido importante de blastos de cuarzo y pirita y presencia de micas que se hacen más abundantes en las variedades de color gris.

CONCLUSIONES

Este estudio ha puesto de manifiesto que algunas variedades pétreas observadas en Itálica y Corduba, proceden de la explotación de canteras del Sector de la Sª de Córdoba, área de donde proceden muy probablemente un número importante de litotipos pétreos de los que por el momento no se conoce su procedencia.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto: Marmora. Innovaciones en el Estudio Arqueológico y Arqueométrico del Uso de los Marmora en la Baetica: Arquitectura, Escultura, Epigrafía. HAR2013-42078-P.

Proyecto: ArqTrArq. Arqueología, teatros romanos y arquitectura II. HAR2013-41818-P.

Proyecto Colonia Aelia Augusta Itálica. Arqueología del Sector Ne de la Vetus Urbs de Itálica en el Marco del Proceso de Romanización en el Guadalquivir Inferior (HAR2017-89004-P).

REFERENCIAS

Delgado-Quesada,M., Liñan,E., Pascual, E. Y Pérez Lorente,F. (1977) : Criterios para la diferenciación de dominios de Sierra Morena Central. 4 Reunión de Geología del W Peninsular: Salamanca. Studia Geol.

Fernández-Remolar, D.C. (1999): Las calizas fosforíticas del Ovetiense Inferior de la Sierra de Córdoba, España. Boletín de la Real Sociedad Española de *Historia Natural (Sección Geológica),* 95 (1-4): 15-45.

Hernández-Pacheco, E. (1926): La Sierra Morena y la Llanura Bética (Síntesis geológica). En: *XIV Congreso Geológico Internacional, Instituto Geológico y Minero de España*. Madrid.

Liñán, E. y Dabrio J.C. (1974): Litoestratigrafía del tramo inferior de la Formación de Pedroche (Cámbrico inferior, Córdoba). *Acta Geológica Hispánica*, 9-1: 21-28.

Moreno-Eiris, E. (1988): Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. *Publicaciones Especiales del Boletín Geológico y Minero*, 8: 127 p.

Márquez, C. (1995): Modelos romanos en la arquitectura monumental de Colonia Patricia Corduba. *Archivo español de arqueología*. 71-177: 113-138.

Perejón, A (1984): Bioestratigrafía de los arqueociatos en España. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 9: 213-265

Perejón, A., Moreno-Eiris, E. y Menéndez, S. (2008): Los arqueociatos del Cámbrico Inferior de Navalcastaño (Sierra Morena, Córdoba, España): Sistemática y bioestratigrafía. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 102 (1-4): 93-119.

Ramírez Copeiro del Villar, J., Castelló Montori, R., Armengot de Pedro, J., Moreno de Castro, E., del Pan Arana, T., Martínez Díaz, C., Argüelles, Álvarez y de las Heras, A. (1973): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 923 (Córdoba)*. IGME, Madrid.

Ventura. Á. (2003): Los edificios administrativos de la Córdoba romana, problemas de localización e identificación. *Romula*, 2: 183-196.

Ventura Villanueva, Á. (2009): Las élites de Colonia Patricia, año 5 a. C. En: *Espacios, usos y formas de la epigrafía Hispana en épocas Antigua y Tardoantigua: homenaje al Dr. Armin U. Stylow*. Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC. 375-395.

La puesta en valor del vínculo existente entre el mármol de Macael y el Patrimonio Histórico-Artístico Español

The enhancement of the link between Macael marble and Spanish Historic and Artistic Heritage

F. Orduña Beuzón

Área de Turismo, Ayuntamiento de Macael. Avda. de Ronda, 33. 04867 Macael (Almería). franciscoorduna@macaelturismo.com

Resumen: Por su belleza, perdurabilidad y facilidad de tallado el mármol de Macael ha sido utilizado en muchas de las obras que componen el Patrimonio histórico artístico español a lo largo de toda la historia, algunas de ellas marcas emblemáticas a nivel mundial, que atraen anualmente a enormes flujos de turistas. En ellas, la belleza del mármol de Macael contribuye de forma determinante al valor artístico de estas obras.

El Área de Turismo del Ayuntamiento de Macael (Almería) está llevando a cabo desde el 2013 un proyecto para poner en valor este vínculo existente entre el mármol de Macael y el Patrimonio histórico artístico de España, con gran apoyo de la industria representada por la Asociación de Empresarios del Mármol de Andalucía. Se trata, a groso modo de llevar Macael a esos sitios y traer esos sitios a Macael, a través de acciones encaminadas a dar a conocer este vínculo, que requieren, en muchos casos, llegar a acuerdos con las instituciones encargadas de gestionar esos elementos patrimoniales.

Este desarrollo turístico alrededor del mármol, además de los consabidos beneficios en forma de ingresos por turista e imagen del municipio, supone para la propia industria, una potente herramienta de posicionamiento de la marca, y de promoción de sus productos, al asociar una experiencia satisfactoria, la turística, a la imagen del producto, y contribuir a la generación de valor añadido, dotando de significado propio y único a la piedra de Macael.

Palabras clave: Patrimonio, arte, mármol, Macael, turismo.

Abstract: *Because of its beauty, durability and ease of carving, the marble of Macael has been used in many monuments of the Spanish artistic historical heritage throughout history, some of them emblematic brands worldwide, which annually attract huge tourist flows. In them, the beauty of the marble of Macael contributes decisively to the artistic value of these monuments.*

The Tourism Area of the City Council of Macael (Almeria) has been carrying out since 2013 a project to value this link between the marble of Macael and the Spanish historical artistic heritage, with great support from the industry represented by Business Association of Marble in Andalusia. It is, roughly, to take Macael to those sites and bring those sites to Macael, through actions aimed at making this link known, which require, in many cases, to reach agreements with the institutions responsible for managing these assets.

This tourist development around marble, in addition to the usual benefits in the form of income per tourist and image of the municipality, represents for the industry itself, a powerful tool for positioning the brand, and promoting its products, by associating a satisfactory experience, the tourist, to the image of the product, and contribute to the generation of added value, giving Macael stone its own and unique meaning.

Keywords: *Heritage, art, marble, Macael, tourism.*

INTRODUCCIÓN

Macael es un municipio almeriense localizado en la ladera norte de la Sierra de los Filabres, en el Valle del Río Almanzora (Fig. 1). El mármol blanco que se localiza en su subsuelo y que toma su nombre, aunque se extiende también por otros términos municipales de la zona, constituye una de las rocas ornamentales históricas más importantes de España.

Por su belleza, perdurabilidad y facilidad de tallado ha sido utilizado desde tiempos remotos (Navarro *et al.*, 2017). A falta de análisis más exhaustivos, los primeros vestigios de esta utilización los encontramos en pequeñas figurillas, llamadas ídolos cruciformes, tallados en el calcolítico-final del neolítico, que se exponen en el Museo Arqueológico Nacional. Más tarde, en época romana, desde finales del siglo I hasta siglo III d.C., fue utilizado principalmente en lápidas conmemorativas, aras, estatuas, y columnas, como la lápida de *Voconia Avita* localizada en Tíjola, la estatua de Buen Pastor encontrada en Gádor, o la columna severiana localizada en Itálica (Cisneros Cunchillos, 1992).



FIGURA 1. Localización de los municipios con canteras de mármol blanco de la provincia de Almería.

Aunque sin duda la época de mayor esplendor, en cuanto a la utilización del mármol de Macael, se produce bajo la dominación musulmana con presencia en el Palacio de Medina Azahara, el Palacio de la Alhambra o la Alcazaba de Almería, como algunos ejemplos (Pastor Medina, 1990). En el siglo XVI, tras el fin de la reconquista, se produce otro repunte en la demanda, y es utilizado en con gran profusión, tanto en obras religiosas como en edificaciones civiles. Ejemplo de ello son el Patio de Honor del Castillo de Vélez Blanco, hoy día expuesto en el Museo Metropolitano de Nueva York, la Catedral de Almería, el Palacio de Carlos V, la Catedral de Granada o el Monasterio de San Lorenzo del Escorial. Este interés por el mármol de Macael como material constructivo y decorativo tendrá continuidad en los siglos XVII y XVIII, con obras paradigmáticas como el Palacio Real de Madrid, el de la Granja de San Ildefonso en Segovia o el Monasterio de la Cartuja en Granada.

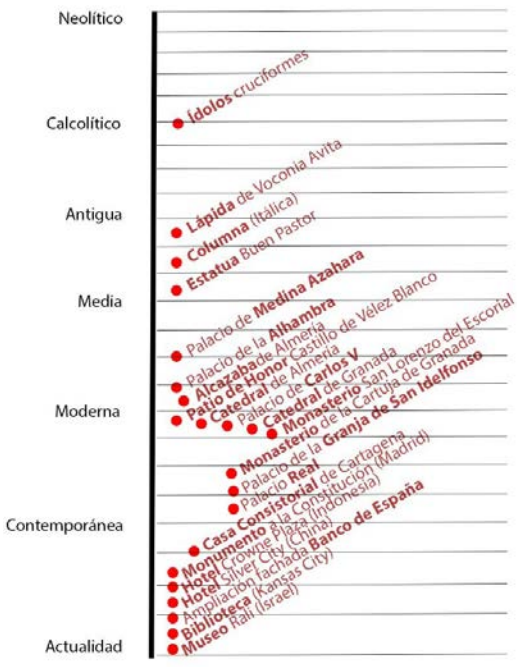


FIGURA 2. Cronología de ejemplos en los que se ha utilizado Mármol de Macael.

Desde finales del siglo XIX-principios del siglo XX el uso del mármol de Macael, hasta entonces reservado a la élite aristocrática o eclesiástica, se democratiza, aumentando considerablemente la demanda gracias a los ensanches de grandes ciudades. Ejemplos de su utilización en esta época lo tenemos en la Casa Consistorial de Cartagena, elegido por el portal de viajes TripAdvisor como uno de los 20 edificios más espectaculares de España. A finales del siglo XX, Macael se convierte en un clúster de empresas dedicadas a la piedra que sigue utilizando su mármol blanco en edificios y monumentos repartidos por todo el mundo, como la ampliación de la fachada del Banco de España o el monumento a la Constitución en Madrid, el Hotel Crowne Plaza en Indonesia, la Biblioteca Central de Kansas, el Museo Ralli de Israel, o el Hotel Silver City en China (Fig. 2).

INTERÉS DEL PROYECTO Y ACCIONES PLANTEADAS

Como hemos repasado en la introducción, el mármol blanco de Macael está presente en muchas de las obras que componen el Patrimonio histórico artístico español, algunas de ellas, ejemplos emblemáticos a nivel mundial, que atraen anualmente a enormes flujos de turistas (Fig. 3).

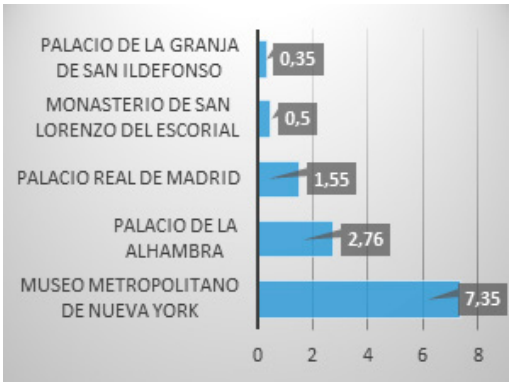


FIGURA 3. Visitas en millones de personas.

Poner en valor este vínculo supone aprovechar la oportunidad de llegar a miles de personas al constituir estas obras grandes altavoces con enorme repercusión a escala mundial, y reforzar el posicionamiento de la marca Mármol de Macael como piedra histórica, exclusiva y única (Molina Franco *et al.*, 2019).

En la mayoría de casos el mármol de Macael ha sido escogido para realzar la belleza de elementos ornamentales con un rol principal dentro de estas edificaciones. La belleza del mármol de Macael contribuye de forma determinante al valor artístico de estas obras. Y esto ha ocurrido a lo largo de todas las épocas con independencia de modas.

Las canteras de Macael se pueden considerar el origen de estas obras de arte. La belleza nos acompaña a través de todo el proceso, de la extracción a la exposición. Los frentes de mármol en la montaña, los bloques ya extraídos, las piezas ya talladas, las columnas, escaleras, fuentes, solerías

o esculturas ya instaladas. Todo desprende belleza, su blancura inmaculada, la luz que refleja sus cristales, su textura. El proceso constituye un viaje de como las rocas se convierten en obras maestras cuyas guías son los canteros y escultores que tallan este preciado material.

El patrimonio histórico artístico es también testigo de un relato humano que comparte con las canteras históricas. El esfuerzo y sacrificio de los canteros, las antiguas técnicas de extracción, el transporte de los bloques hasta su destino, su talla. Para comprenderlo en toda su complejidad es necesario acudir a todos los escenarios del proceso, desde la cantera hasta el monumento. Toda esta herencia forma parte también de estos monumentos enriqueciéndolos y extendiendo el plano histórico y artístico al técnico y al etnológico.

El Ayuntamiento de Macael está inmerso desde el 2013 en este proyecto de puesta en valor, cuyas etapas se han ido trazando en dos planes estratégicos de desarrollo turístico alrededor del mármol de Macael: 2014-2016 y 2019-2023.

Las acciones desarrolladas tienen un gran apoyo de la industria representada por la Asociación de Empresarios del Mármol de Andalucía. Y sus propias acciones como la presentación de la Marca Macael en el Museo Metropolitano de Nueva York contribuyen al objetivo final, compartido por las dos instituciones.

Se trata, a grosso modo, de llevar Macael a esos sitios y traer esos sitios a Macael. Dando a conocer este vínculo, mediante el mensaje que los guías turísticos transmiten a los visitantes, tanto en las Canteras de Macael como en los distintos elementos patrimoniales donde el mármol de Macael está presente. Para favorecerlo, está prevista la organización de pequeños talleres formativos, dirigidos a estos guías, en los que se profundice en la Cultura del Mármol de Macael (historia, presencia, tradiciones, la cantería, oficios ligados, aspectos geológicos, la industria de la piedra actual). De igual manera, a través de la mención de éste vínculo en las etiquetas o carteles informativos, ya instalados, o mediante la instalación de ellos, tanto en la localización de las canteras concretas de donde se extrajo el material utilizado en un determinado monumento, como en la de los elementos elaborados en mármol de Macael en estos monumentos. Así como en el Centro de Interpretación del Mármol de Macael, donde próximamente habrá la posibilidad de sentir un video 4D en el que a través de imágenes CGI[1] y una cabina inmersiva se pueda ir en primera persona a las distintas épocas donde el mármol de Macael era utilizado en célebres monumentos y conocer los procesos desarrollados desde su extracción hasta su construcción. También mediante otros soportes y vías de comunicación como publicaciones, internet, redes sociales, y medios de comunicación. Celebrando distintos tipos de actos como seminarios, simposios, presentaciones, etc., tanto en Macael como en dichos monumentos como escenarios, en los que se ponga en relieve este vínculo.

Reproduciendo en Macael detalles o elementos que representen la presencia del Mármol de Macael en el Patrimonio histórico artístico, como la réplica de la Fuente de los Leones instalada en el 2015. Y fomentando el diseño y la comercialización de paquetes turísticos que oferten la visita conjunta de algunos de estos monumentos junto a las canteras de donde se extrajo la piedra utilizada, realizando de este modo, el citado viaje a cómo las piedras se convierten en obras maestras, de la extracción a la exposición.

Todas estas acciones requieren llegar a acuerdos con las instituciones encargadas de gestionar esos elementos patrimoniales, labor que actualmente está llevando a cabo el Ayuntamiento de Macael.

1 Imágenes Generadas por Computadora

CONCLUSIONES

El arte es una de las principales motivaciones generadoras de flujos turísticos. La vinculación de Macael con el arte a través de la puesta en valor de la utilización del mármol extraído de sus canteras en el Patrimonio Histórico Artístico de España, a lo largo de toda la historia, supone una oportunidad para convertir Macael en destino turístico cultural y así diversificar su economía, hasta ahora basada exclusivamente en la industria de la piedra[2].

Este desarrollo turístico supondría, además, para la propia industria, una potente herramienta de posicionamiento de la marca, y de promoción de sus productos, al asociar una experiencia satisfactoria, la turística, a la imagen del producto, y contribuir a la generación de valor añadido, dotando de significado propio y único a la piedra de Macael.

Belleza y tradición, los dos ejes sobre los que gira el desarrollo turístico de Macael. La belleza de su mármol blanco, y la tradición representada por sus canteros.

REFERENCIAS

Cisneros Cunchillos, M. (1992): La explotación de los mármoles almerienses en la época romana. *Roc Maquina*, 6: 44-47.

Molina Franco, A., Aznar Sánchez, J.Á., Caparrós Mirón, J.L., Cara Barrionuevo, L., Colmenero Rama, J., de Paz López, C., Fernández Bolea, E., García Sánchez, Mª.I., González Alcantud, J.A., León González, M., Liria Herrerías, C.Mª., Martín Robles, J.M., Molina Martínez, A.A., Navarro López, E.Mª. O'kean Alonso, J.Mª., Orduña Beuzón, F.J., Pawlowski Pointier, N., Pérez Entrena, I., Posadas Chinchilla, J., Ramos Carrillo, J.J., Ramos Sánchez, R., Ruiz García, A., Tijeras García, V., Alfonso Rodríguez, S. y Pérez Santander, G. (2019): *Guías de Almería, Mármol: Territorio, Cultura y Arte*. Instituto de Estudios Almerienses. 208 p.

Navarro, R., Cruz, A., Arriaga, L. y Baltuille, J.M. (2017): Caracterización de los principales tipos de mármol extraídos en l comarca de Macael (Almería, sureste de España) y su importancia a lo largo de la historia. *Boletín Geológico y Minero,* 128 (2): 345-361.

Pastor Medina, G. (1990): *Macael morisco y cristiano*. Instituto de Estudios Almerienses. 119 p.

2 Constituye uno de los tres principales pilares económicos de la provincia de Almería, siendo además el segundo productor de piedra natural a nivel nacional.

Investigación del subsuelo mediante sondeos mecánicos y sondas geofísicas aplicada a la caracterización de roca ornamental

Research of the subsoil by wells and geophysical probes for characterization of ornamental rock

M. Reyes, A. Espín, A. Gil y A. García

Ud. Tecnológica Geológico-Minera. Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales. Ctra. de Murcia s/n. 30430 Cehegín (Murcia).
monica.reyes@ctmarmol.es; antonio.espin@ctmarmol.es; antonio.gil@ctmarmol.es;antonio.garcia@ctmarmol.es.

Resumen: La perforación de sondeos es una de las técnicas de investigación en yacimientos de roca ornamental más importante, en muchos casos los sondeos localizan y definen el valor económico de la zona investigada. Es importante que la calidad de los datos obtenidos sea muy alta, porque sobre estos se basarán interpretaciones que implican inversiones mayores.

La testificación geofísica de sondeos es un método de prospección mediante la introducción de sondas equipadas con diferentes elementos y sensores. En el Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM), contamos con sondas de tipo: televiewer óptico de alta resolución, sondas gamma ray y gamma espectral. La sonda de televiewer óptico nos permite obtener gran información litológica y estructural con la identificación detallada de las diferentes discontinuidades "in situ" presentes en el macizo rocoso, características muy importantes para el conocimiento de los yacimientos mineros. La sonda de gamma natural nos va a permitir determinar la existencia de niveles arcillosos, importante para la cuantificación de nódulos y estilolitos presentes en los materiales.

Con el uso de estas tecnologías junto con un buen estudio geológico, otras técnicas geofísicas y ensayos físico-mecánicos podremos llegar al conocimiento de las características del depósito mineral, con el fin de mejorar la exploración y hacer sostenible la posterior explotación del yacimiento.

Palabras clave: Sondeos mecánicos, cantera, subsuelo, sondas geofísicas, roca ornamental.

Abstract: *Borehole drilling is one of the most important research techniques in deposits of ornamental rock, in many cases the surveys locate and define the economic value of the investigated area. It is important that the quality of the data obtained is very high, because future interpretations involving greater investments.*

Geophysical drilling is a prospecting method by introducing probes equipped with different elements and sensors. In the Marble, Stone and Materials Technology Center (CTM), we have probes of high resolution optical televiewer, gamma and gamma spectral probes. The optical televiewer probe allows us to obtain lithological and structural information with the detailed identification of the different discontinuities "in situ" present in the rock mass, very important characteristics for the knowledge of the mining deposits. The natural gamma probe will allow us to determine the existence of clayey levels, important for the quantification of nodules and stylolites present in the materials.

With the use of these technologies and with a good geological study, other geophysical techniques and physical-mechanical tests, we will be able to get the characteristics of the mineral deposit, in order to improve exploration and make the subsequent exploitation of the deposit sustainable.

Keywords: *Mechanical drills, quarry, subsoil, geophysical probes, ornamental rock.*

INTRODUCCIÓN

El proceso de exploración minera, en concreto para la roca ornamental, abarca un gran número de fases para su investigación. Es necesario conocer las características geológicas de la zona objetivo, el uso de métodos geofísicos, prospecciones y ensayos de muestras, son algunas de las técnicas empleadas, las cuales pueden ser complementarias entre sí (Cantos, 1973).

En concreto, la perforación de sondeos es una de las técnicas que define el valor económico de la zona investigada, posiblemente sea de las más importantes y una de las más caras (Marjoribanks, 2010). En cualquier campaña de exploración es imprescindible que la calidad de los datos sea alta porque sobre estos, se basarán posteriores inversiones.

El CTM cuenta con un equipo de testificación geofísica mediante la introducción de sondas instrumentadas con diferentes elementos y sensores. El dispositivo cuenta con

sonda tipo televiewer óptico, gamma natural y espectral, cabrestante, polea, adquisidor de datos y batería (Fig. 1).

Con un buen estudio geológico de la zona, junto con el uso de diferentes técnicas geofísicas y ensayos de muestras, podremos llegar al conocimiento en detalle de las características del depósito mineral, para finalmente mejorar la exploración del yacimiento investigado.



FIGURA 1. Testificación geofísica de sondeos, equipo del CTM.

MARCO GEOLÓGICO

La cantera investigada (Fig. 2) se emplaza en el borde septentrional del dominio Prebético externo (Vera, 2004). Afloran sedimentos mesozoicos, terciarios y cuaternarios. El mesozoico está representado por depósitos calcáreos del Jurásico terminal, por un Cretácico inferior calcáreo y detrítico y un Cretácico superior, generalmente dolomítico, parcialmente karstificado hacia techo y que termina en un tramo calcáreo. Se agrupan en esta unidad unos afloramientos alineados paralelamente a un accidente tectónico con dirección NE-SO y debido al cual el grado de fracturación en estos afloramientos es elevado (Lendínez *et al.* 1981).



FIGURA 2. Lugar de estudio, cantera de roca ornamental.

La estructura tectónica se define por un sistema imbricado de cabalgamientos formados a partir de diferentes pulsos tectónicos de esfuerzos compresivos con dirección NE-SO y que propician la existencia de espesores anómalos en los diferentes paquetes litológicos. En cuanto a la información estratigráfica obtenida, esta se compone de muro a techo de:

– Un paquete de material explotable, definido por dolomías brechoides, de color marrón oscuro, morfología tabular y contacto neto a muro y gradual a techo.

– Un paquete de material estéril, constituido por calizas micríticas de tipo mudstone, morfología tabular y en contacto gradual con las dolomías brechoides a muro.

DATOS Y RESULTADOS

En la zona investigada se realizó una campaña de sondeos, las perforaciones efectuadas fueron mecánicas con recuperación de testigo (Fig. 3). Estos sondeos se efectuaron mediante un equipo a rotación de avance hidráulico con corona de diamante y un diámetro de perforación entre 101 y 86 mm, con maniobras que permitían conseguir el máximo porcentaje de extracción de testigo continuo y la menor perturbación de sus características naturales.

Al finalizar la perforación, se procede a la testificación geológica, se realiza una completa descripción de la estructura, color, litología, estado de alteración y un estudio de las discontinuidades. La identificación y descripción de las fracturas exige prudencia para identificar las que son de origen geológico respecto a las inducidas (Pando *et al.*, 2012).



FIGURA 3. Emplazamiento de sondeo mecánico con recuperación de testigo.

Se efectúa también la selección y toma de muestras, teniendo en cuenta que necesitamos caracterizar todos los materiales y tener una visión general de todo el yacimiento.

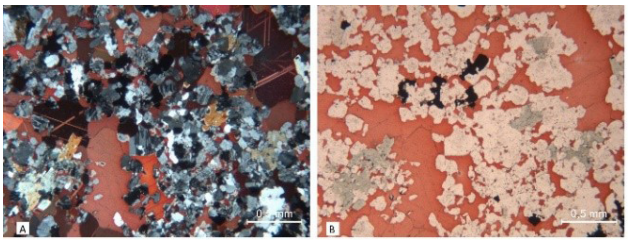


FIGURA 4. Detalle de lámina delgada. a) Con polarizadores cruzados. b) Con polarizadores paralelos.

De las muestras obtenidas se realizaron ensayos de laboratorio con el método para piedra natural, entre ellos, exámenes petrográficos de láminas delgadas con tinción al 50% de rojo alizarina (Fig. 4). El material de interés se define como una dolomía brechoide, de color marrón oscuro, con textura cristalina, presenta algunas venas de espesor

variable rellenas de esparita y en algunos casos alteradas. Los fragmentos dolomíticos presentan un tamaño variable, compuestos por cristales doloesparíticos formando un mosaico hipidiotópico.

De los testigos extraídos en los sondeos también se obtienen probetas para efectuar ensayos de resistencia a la compresión (Fig. 5). La resistencia a la compresión se realiza para determinar el esfuerzo máximo que puede soportar el material bajo una carga.



FIGURA 5. Ensayo de compresión en las muestras de los testigos extraídos en los sondeos.

Con el objetivo de testear las materiales in situ, y entre otras cosas asegurar la distinción inequívoca de las fracturas de origen geológico respecto a las inducidas, se realizó la testificación en pozo mediante la sonda de televiewer óptico. De cada sondeo se ha obtenido la imagen continua de las paredes y se han podido identificar los distintos materiales, bandeados, fracturación y cambios de color (Fig. 6).

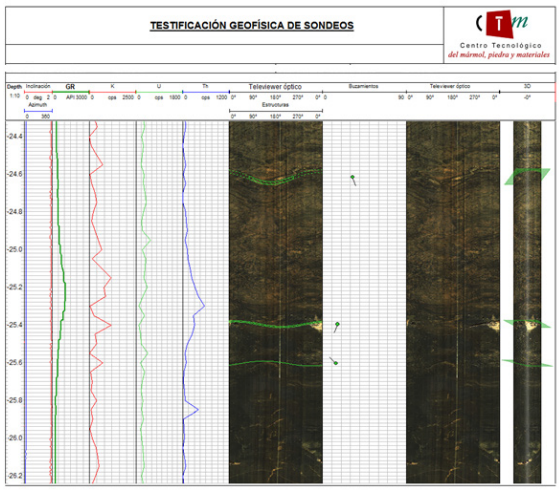


FIGURA 6. Testificación con la sonda televiewer óptico y detalle de las discontinuidades.

La sonda de televiewer óptico incorpora una cámara y un prisma con el que genera la imagen orientada, continua y de 360º de la pared del sondeo. Esta imagen está en todo momento orientada respecto al norte magnético mediante un sistema compuesto de tres acelerómetros y tres magnetómetros.

Nos permite obtener gran información litológica y estructural con la identificación detallada de las diferentes discontinuidades “in situ” presentes en el macizo rocoso, características muy importantes para el conocimiento de los yacimientos mineros. La sonda nos permite adquirir registros geofísicos de orientación de estructuras, determinación de características físicas de las discontinuidades (espesor, tipo de relleno, abertura).Y nos proporciona imágenes en los colores naturales que tenga la roca, la que presentan los testigos, para esto se necesita introducir la sonda en un pozo vacío y limpio (Vais, 2011).

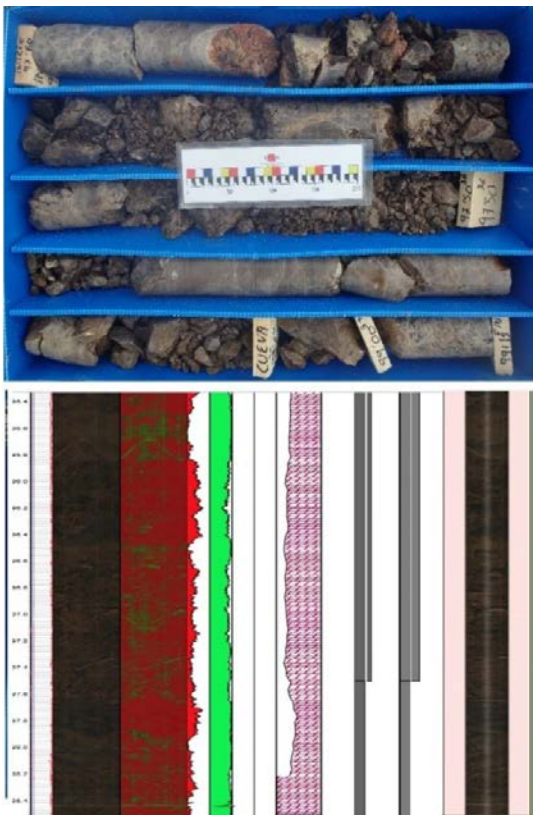


FIGURA 7. Comparativa de tramo fracturado en la caja de testigo y la imagen adquirida con la sonda televiewer.

Es importante destacar que durante la perforación el testigo sufre a veces degradación y poca o nula recuperación, esto es bastante habitual (Gorbachev, 1995). El uso de sondas nos permite obtener un registro continuo de estas zonas y podemos analizar el proceso que ha llevado a la pérdida o rotura del testigo. En la Fig. 7 se muestra, en la imagen superior, una caja de testigos con un tramo muy fracturado y poca recuperación (entre 95,80 m y 97,50 m) y, en la imagen inferior, se observan los resultados obtenidos con la sonda televiewer en ese mismo tramo.

Con la información obtenida de los colores naturales que presenta la roca, se realiza una clasificación RGB (Fig. 8) para cada sondeo, dividiéndose en cuatro tipos de material: “oscuro, medio, claro y estéril”. Siendo en nuestro caso “oscuro” el que más interés presenta en la cantera. Con los resultados conseguidos, se correlacionan geológicamente sondeos cercanos a partir de la variación de parámetros físicos.

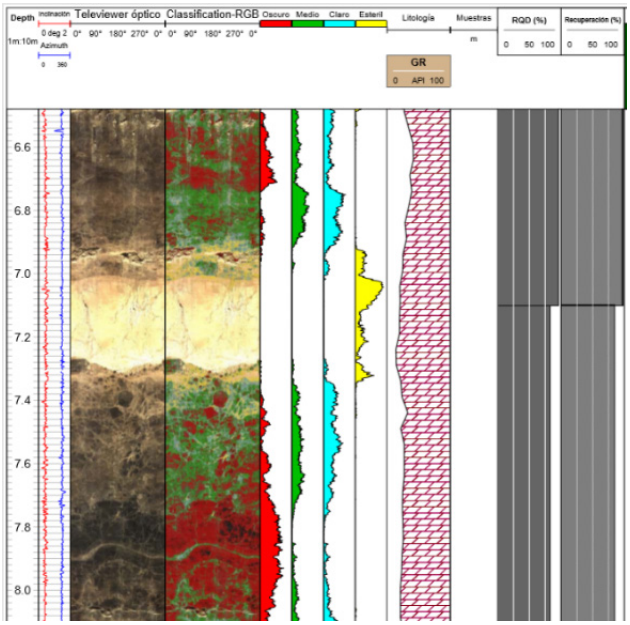


FIGURA 8. Testificación geofísica con la sonda televiewer óptico y gamma natural, clasificación RGB.

La sonda de gamma natural nos va a permitir determinar la existencia de niveles arcillosos, importante para la cuantificación de nódulos y estilolitos presentes en los materiales.

Los registros de rayos gamma miden el número de rayos gamma naturales emitidos por las rocas que rodean la sonda de medida (Schlumberger, 1989). Esto es a menudo proporcional a la cantidad de arcilla en las rocas, pero hay otras causas de la radiación gamma (Eaton, 2003).

Con el registro de gamma espectral, los tres principales contribuyentes de rayos gamma, (potasio, torio y uranio), dan rayos gamma de diferentes niveles de energía, pudiéndose separar el flujo total en los tres componentes. La relación de torio-potasio y otras combinaciones de curvas se pueden utilizar para la identificación del total de arcilla mineral.

CONCLUSIONES

Para la investigación del yacimiento se han combinado técnicas geofísicas de investigación del subsuelo y ensayos de laboratorio, consiguiendo información detallada tanto de la geometría como de las características composicionales. Se ha podido obtener información litológica, estratigráfica y estructural.

Los sondeos con recuperación de testigo han permitido identificar los litotectos en profundidad y es importante complementar con más geofísica para minimizar las zonas de incertidumbre.

Cuantas más técnicas geofísicas se combinen, mejores serán los resultados, ya que en muchos casos son complementarias entre sí.

Los testigos obtenidos mediante la perforación proporcionan información muy valiosa. El manejo de estos debe de realizarse con cuidado y de manera sistemática para no generar una información errónea. Si la cantidad de metros obtenida es abundante, se necesita una buena infraestructura para almacenarlos y poder consultarlos cuando fuera preciso. Teniendo esto en cuenta, la información digitalizada que se obtiene de las sondas geofísicas es más útil si cabe, ya que se puede guardar toda la información en un archivo digital haciendo mucho más fácil, fiable y rápida su consulta.

Con la información de las sondas geofísicas se pueden testear los materiales “in situ” (Herron, 2011), y entre otras cosas asegurar la distinción inequívoca de las discontinuidades de origen geológico respecto a las inducidas, siendo esta información muy importante ya que el valor de recuperación en bloque se ve afectado por el número de fracturas de origen natural que presenta el material.

Finalmente, el estudio realizado en esta cantera sirvió para caracterizar la zona de explotación en detalle, con todos los datos resultado de la aplicación de las diversas técnicas de investigación, la empresa tiene un conocimiento del yacimiento muy concreto, llegando a ser una “minería a la carta” que le permite explotar la cantera en función de la demanda de los distintos mercados y de pedidos concretos.

AGRADECIMIENTOS

Parte de esta investigación se ha realizado gracias la empresa Mármoles Bolmax, S.L. Les agradecemos la confianza depositada y su disposición facilitada para el buen desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

Cantos, J. (1973): *Tratado de geofísica aplicada*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas, Madrid, 535 p.

Eaton, D.W. (2003): *Hardrock seismic exploration*. Society of Exploration Geophysicists. USA.

Gorbachev, Y. (1995): *Well Logging: fundamentals of methods*. Department of Geological Sciences Moscow Statg University, Russia, 360 p.

Herron, D. (2011): *Seismic Interpretation*. Society of Exploration Geophysicists. USA.

Lendínez González, A., Tena-Dávila Ruiz, M., Bascones Alvira, L., *et al.*, (1981): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 819*. IGME. Madrid.

Marjoribanks, R. (2010): *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining.* 2ª Ed. Springer.

Pando, L.A., López, C. y Arias, D. (2012): *Manual de testificación geotécnica de sondeos.* Universidad de Oviedo.82 p.

Schlumberger (1989): Log Interpretation Principles/Applications. Schlumberger Wireline & Testing. Texas.

Vais,J.P. (2011): Geophysical Well Logging Principles and Practices.

Vera, J.A. (2004): *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890.

Las canteras históricas de la Sierra de Carrascoy (Murcia). Estudio preliminar del área extractiva de Mayayo

The Historical quarries of the Sierra de Carrascoy (Murcia). Preliminary study of the Mayayo extraction area

B. Soler Huertas[1], J. A. Antolinos Marín[1], A. Espín de Gea[2] y G. Romero Sánchez[3]

1 Grupo de Investigación: Arqueología histórica y patrimonio en el Mediterráneo Occidental. Universidad de Murcia / Grupo de Investigación: Arqueometria i Produccions Artístiques Institut Catalá d´Arqueologia Clássica. Campus de la Merced. 30071 Murcia. bsoler@um.es: antolino@um.es.

2 Ud. Tecnológica Geológico-Minera. Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales. Políg. Ind. El Matadero, Ctra. de Murcia s/nº. 30430 Cehegín (Murcia). antonio.espin@ctmarmol.es

3 Servicio de Patrimonio Histórico. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia / Grupo de Investigación: Geología. Universidad de Murcia. Casa Díaz-Cassou, Sta. Teresa, 21. 30005 Murcia. gregorio.romero2@carm.es.

Resumen: En las estribaciones de la sierra de Carrascoy, colindado con las pedanías de El Palmar y Sangonera la Verde, se localiza un conjunto de canteras inactivas tradicionalmente conocidas como las de Mayayo. Vinculadas por las fuentes documentales con la fábrica de la Catedral de Murcia desde finales del siglo XV, sus frentes de explotación abastecieron de material constructivo a algunos de los principales proyectos edilicios emprendidos en esta ciudad hasta bien entrado el siglo XX. La historiografía incide en la potencia de los bancos de caliza bioclástica existentes en la zona, en los que se beneficiaron diferentes variedades en función de su coloración, calidad y grado de compactación. Sin embrago, los estudios relativos a la caracterización geológica e histórico-arqueológica de la cantera son prácticamente inexistentes, observando importantes vacíos documentales concernientes tanto a la naturaleza geológica y extensión de los niveles beneficiados, como a la periodización de sus ciclos productivos. Ante este panorama, decidimos afrontar un estudio preliminar de los frentes con el fin de evaluar la entidad de las labores extractivas, entre otras evidencias relacionadas con la explotación, transformación y transporte de sus producciones, cuyos resultados abordaremos en el marco de esta presentación.

Palabras clave: Cantera, técnicas de explotación, caliza bioclástica, patrimonio cultural y natural

Abstract: *In the foothills of the Sierra de Carrascoy, adjacent to the districts of El Palmar and Sangonera la Verde, there is a group of inactive mining fronts traditionally known as the Mayayo quarries. Linked to the factory of the Cathedral of Murcia since the late 15th century, its fronts have supplied construction material to some of the major building projects undertaken in this city until well into the 20th century. The historiography informs about the existence of bioclastic limestone banks in the area, in which different varieties were benefited according to their colouring, quality and degree of compaction. However, there are no studies regarding the quarry, the geological nature and extension of the benefited levels, or the periodization of their productive cycles. In this context, we decided to undertake a first approach to the quarry in order to evaluate the entity of the extractive work, among other evidences related to the exploitation, transformation and transport of its productions, whose results we will deal with in this presentation.*

Keywords: *Quarry, mining techniques, bioclastic limestone, Cultural and Natural heritage.*

INTRODUCCIÓN

La alineación montañosa formada por las Sierras de Carrascoy, El Puerto y El Valle, frontera natural e histórica entre el Bajo Valle del Guadalentín y el Campo de Cartagena, ha constituido desde fechas relativamente tempranas una de las principales fuentes de aprovisionamiento de materiales constructivos empleados profusamente en diverso tipo de construcciones de la ciudad de Murcia, así como en sus pedanías y municipios aledaños. La presencia de litologías potencialmente beneficiables –calcarenitas, areniscas, dolomías, conglomerados y yesos–, propició la apertura de canteras de pequeñas y medianas dimensiones que han dejado su huella tanto en la topografía como en la toponimia de la zona (Roldán García *et al.*, 2008: 144). Las fuentes documentales consultadas hacen referencia a la calidad y potencia de algunos de los afloramientos beneficiados, cuyos materiales encontramos plenamente integrados en el paisaje urbano, como parte inherente de sus principales hitos arquitectónicos (Fig. 1).

Con todo, los estudios relativos a la caracterización de estos focos extractivos son prácticamente inexistentes, observando importantes vacíos documentales concernientes a su naturaleza geológica, extensión y periodización de sus ciclos productivos; para algunas de ellas, todavía se desconoce su ubicación.



FIGURA 1. Catedral de Murcia. Fachada externa de la capilla de los Junterones y Puerta de los Apóstoles (foto autores).

Dentro de este contexto, cabría referir un conjunto de canteras abandonadas conocidas tradicionalmente como las de Mayayo que, desde finales del siglo XV, suministraron importantes volúmenes de "piedra franca" a la Fábrica de la Catedral. La historiografía incide en la explotación intensiva de los bancos de caliza bioclástica existentes en la zona, en los que se beneficiaron diferentes variedades en función de su coloración, calidad y grado de compactación: la denominada variedad "pajiza", de color amarillento, empleada como relleno en la construcción de paramentos y la "piedra franca" utilizada en la labra de sillares finamente tallados, elementos arquitectónicos como capiteles, cornisas y obra escultórica (Vera Botí, 1993; Hernández Albaladejo, 1991; Calvo *et al.* 2005: 52-53). Su empleo ha sido corroborado mediante análisis arqueométricos en la fachada exterior de la Capilla de los Junterones, la Puerta de los Apóstoles (Martínez García, 1993) y la Torre (Vera Botí, 2003), a las que se suma la construcción del Imafronte, donde según los libros de cuentas, los costes derivados de su empleo alcanzaron la mitad exacta del presupuesto destinado al suministro de materiales para la obra (Hernández Albaladejo, 1991: 213).

La continuidad de las labores extractivas hasta mediados del pasado siglo, ha dejado su impronta en diversas construcciones de carácter civil, como el Puente de los Peligros (de la Peña Velasco, 2001), las fuentes de la Glorieta o las obras de encauzamiento del río Segura a su paso por la ciudad. Tampoco faltan ejemplos en las pedanías adyacentes a los frentes de explotación, poblaciones que han conservado un importante patrimonio documental e inmaterial vinculado con el oficio de la cantería.

Dada la importancia de las referencias históricas relacionadas con la piedra de Mayayo, decidimos afrontar un estudio preliminar de la cantera con el fin de evaluar la entidad de las labores extractivas y documentar posibles evidencias relacionadas con la explotación, transformación y transporte de sus materiales.

ÁREA DE ESTUDIO

Las canteras se localizan en la falda septentrional de la Sierra de Carrascoy, en el paraje conocido desde el siglo XVIII como cerro Mayayo, comprendido dentro de los terrenos rústicos de la finca homónima actualmente emplazada entre las pedanías del El Palmar y Sangonera la Verde. El trabajo de campo realizado sobre el terreno ha permitido delimitar un área de explotación asociada a los bancos de caliza bioclástica del Tortoniense que afloran en el flanco meridional del Sinclinal de Sangonera (Arana *et al.*, 1989; Roldán García *et al.*, 2003: 144; Calvo *et al.* 2005: 53), extendiéndose hacia el sur por el Cerro de Las Canteras y el Cabezo de Los Carlos hasta alcanzar la Rambla del Pocico, y hacia el noreste en dirección a la Rambla del Cigarrón (Fig. 2). Se trata en la mayoría de los casos de parcelas privadas que, no obstante, se encuentran afectadas por el PORN del Parque Regional Carrascoy y El Valle, circunstancia que ha favorecido la conservación, prácticamente inalterada, de la mayoría de los frentes y de algunas de las infraestructuras asociadas (Consejería de Medioambiente 2005: 44-45). La zona cuenta además con otros niveles de protección motivados por la presencia de yacimientos arqueológicos –asentamientos de Cerro Mayayo y Los Pedregales– y Lugares de Interés Geológico –Paleosuelos de Carrascoy, Rambla del Pocico, Cueva del Mayayo– (Arana *et al.*, 1989: 186; Arana *et al.*, 2009: 15). Por otro lado, ha conservado toda una serie de infraestructuras relacionadas con el aprovechamiento de las aguas pluviales y escorrentías procedentes de la sierra, destinadas al abastecimiento humano y agrario (Albaladejo-García y Gómez, 2016), incrementando la pluralidad de valores patrimoniales existentes en el entorno.

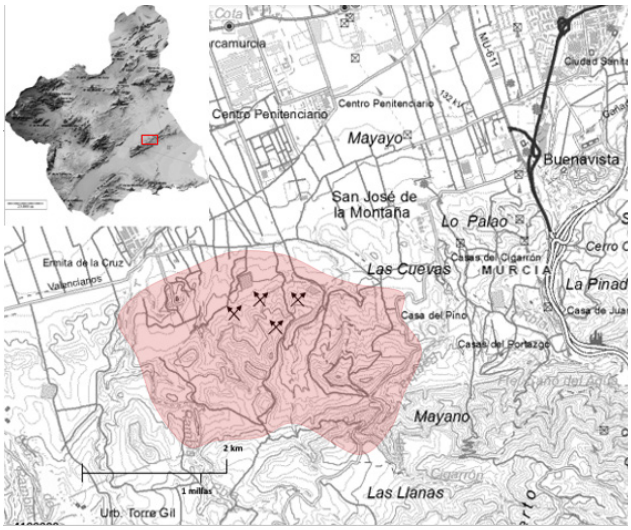


FIGURA 2. Situación geográfica del área extractiva de Mayayo, en la sierra Carrascoy. Murcia.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los análisis prospectivos desarrollados sobre el terreno han permitido delimitar un área de explotación dispersa de unos 3 km², integrada por distintos sectores extractivos de dimensiones variables y ciclo productivo intermitente,

en los que se alternan labores en extensión y en profundidad en función de la calidad y la potencia de las vetas de beneficiadas (Tabla I y Fig. 3). Esto ha determinado una sectorización de la actividad extractiva de las canteras, con grandes explotaciones en profundidad en la cumbre y ladera de los cerros de Mayayo y de Las Canteras, con otras de menor entidad que aparecen dispersas dentro de la zona delimitada (ramblizos, barrancos, crestas), como las documentadas en la rambla del Cigarrón o en la vía denominada por los lugareños como “Calzada Romana”. Algunos de estos frentes se han convertido además en soporte de diversas manifestaciones artísticas contemporáneas, espontáneas y anónimas, documentando la presencia de bustos y relieves de diversa índole concentrados mayoritariamente en el recorrido de las referidas ramblas.

Localización	Estrategias explotación	Dimensiones	Alt. frente (m)
Cerro Mayayo	extensión / profundidad	medias	15 / 2
Las Canteras	profundidad	medias	12 / 5
Cerro de los Carlos	profundidad	medias	12 / 2
Camino Mayayo	extensión	frentes aislados	4 / 0,50
Rambla del Cigarrón	extensión	frentes aislados	3 / 0,80

TABLA I. Características de los diferentes sectores extractivos documentados.



FIGURA 3. Cerro Mayayo. Sector 5. Foco beneficiado mediante bancadas horizontales en extensión.

Por el momento, carecemos de evidencias arqueológicas que permitan establecer el inicio de las labores extractivas en la zona, más allá de las derivadas de las fuentes documentales ya aducidas y las establecidas tras el análisis de las técnicas de explotación documentadas, las cuales parecen corroborar el solapamiento de distintas fases o ciclos productivos, cuya cronología en algunos puntos podría retrotraerse a época romana. Así se deduce de aquellos sectores donde imperan los procesos de extracción tradicional mediante bancadas horizontales y el empleo de ranuras y cuñas como sistema de arranque de los bloques (Figs. 3 y 4). El grado de erosión y la acumulación de líquenes sobre la superficie rocosa de algunos focos podrían respaldar la antigüedad de las labores documentadas.



FIGURA 4. Cerro Mayayo. Sector 1. Evidencias de explotación tradicional, mediante el uso de cuñas para el arranque de los bloques.

En cualquier caso, prevalece el empleo de medios mecánicos que, aunque limitados, favorecieron el desarrollo de focos de mayores dimensiones excavados por lo general en profundidad, cuyos frentes verticales no suelen superar los 15 m de altura (Figs. 5 y 6).



FIGURA 5. Cerro Mayayo. Sector 1. Frentes de explotación con acumulación de estériles en la base.



FIGURA 6. Las Canteras. Sector 2. Frentes de explotación parcialmente amortizados para la construcción de un embalse de riego.

En relación con esta última fase, cabría referir la localización de diversos espacios relacionados con el procesado y almacenaje de bloques y manufacturas en distintos estadios de elaboración, además de un complejo entramado de rampas, canales y vías asociadas con el movimiento de productos y estériles extractivos sin paralelos conocidos dentro del contexto regional (Fig. 7).



FIGURA 7. Camino Mayayo. Rampa relacionada con la salida del material desde los sectores 3 y 5.

Cabría referir además el hallazgo de signos incisos y grafitos sobre la superficie de algunos de estos frentes, particularidad que comparte con las denominadas Canteras romanas de Cartagena y los frentes de la Solana de la Pedrera en Jumilla. Todavía en proceso de estudio, la presencia de estas marcas y grafitos podría contribuir a una correcta datación de los frentes, entre otras cuestiones relacionadas con el funcionamiento interno de las canteras.

Todos estos atributos ratifican el interés científico del área extractiva de Mayayo, donde el desarrollo de nuevas investigaciones permitirá avanzar en cuestiones de sumo interés relacionadas con el modelo de gestión y la organización del trabajo en la cantera en función de las distintas fases productivas identificadas. Tampoco podemos obviar el conjunto de valores patrimoniales -naturales y culturales, materiales e inmateriales, muebles e inmuebles- y perceptivos que aglutina y que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de valorar su recuperación como Paisaje Cultural y Minero, englobado dentro de una realidad mucho más amplia y compleja que afecta por igual a otras interesantes áreas extractivas circunscritas dentro del Parque Regional de la Sierra de Carrascoy y El valle.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación *Canteras históricas del sureste peninsular*, financiado por el Plan Propio de Investigación la Universidad de Murcia. Agradecemosa Dña. Antonia Amores, responsable del Centro Cultural de El Palmar y a D. Gabriel Nicolás, coordinador de los talleres culturales de El Palmar y Sangonera la Verde, su inestimable ayuda durante el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

Albaladejo-García J.A. y Gómez J.M. (2016): Recursos propios de agua en el piedemonte septentrional de la Sierra del Puerto. Base de desarrollo local de pedanías como las de El Palmar y Sangonera la Verde (Murcia). En: *XV Coloquio Ibérico de Geografía. Retos y Tendencias de la Geografía Ibérica*, Murcia, 894-902.

Arana, R., Rodríguez, T., Mancheño, M.A., Ortiz, R., Fernández, M.T. y del Ramo, A. (1999): *El Patrimonio geológico de la Región de Murcia*. Fundación Séneca, Murcia.

Arana, R., Guillén, F., Mancheño, M., Manteca, J.I., del Ramo, A., Rodríguez, T., Santisteban, C. y Romero, G. (2009): *Actualización del inventario de lugares de interés geológico en la Región de Murcia*. Consejería de Agricultura y Agua (Inédito).

Calvo, J., Alonso, M.A., Rabasa, E. y López, A. (2005): *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia.

Consejería de Medioambiente (2005): *Plan de ordenación de recursos naturales. Parque Regional Carrascoy y El Valle*. CARM, Murcia.

de la Peña Velasco, C. (2001): *El puente Viejo de Murcia*. Universidad de Murcia.

Hernández Albaladejo, E. (1991). *La fachada de la Catedral de Murcia*. Murcia.

Martínez García, Mª.L. (1993): Iglesia Catedral de Santa María. En, *Memorias de Patrimonio 1986-1991. Intervenciones en el Patrimonio Histórico de la Región de Murcia. Inmuebles, Muebles y Etnografía*. Murcia, 15-23.

Roldán García, F.J., Fernández Gianotti, J., Salazar, A., Leyva Cabello, F., Sanz de Galdeano y Eguiza, C., García Tortosa, F.J., Silva Barroso, P.G., Bardají Azcárate, T., Goy Goy, J.L., Zazo Cardeña, C., Gómez Pugnaire, M.T., López Sánchez-Vicario, V.A., Fernández Soler, J.M., Ruiz Montes, M., Aragón Rueda, R., Hornero Díaz, J., Granados, L.F. y Martín Pérez, J.A. (2008): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 934 (Murcia)*. IGME, Madrid.

Vera Botí, A. (1993): *La Torre de la Catedral de Murcia. De la teoría a los resultados*. Murcia.

Vera Botí, A. (1997): La piedra caliza de la catedral de Murcia. Loggia, *Arquitectura y restauración*, 1: 81-86.

Pétreos naturales en la Catedral de Santa María de Cuenca (España): Evaluación de procedencia y estado de conservación

Natural stone in the Cathedral of Santa María de Cuenca (Spain): Evaluation of origin and conservation status

E. Torrero[1], D. Sanz[2], V. Navarro[3], M. Ruiz[1] y J. Martínez-Martínez[4]

1 Dpto. Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla la Mancha. Camino del Pozuelo s/nº. 16002 Cuenca. enrique.torrero@uclm.es; miguel.ruiz@uclm.es
2 Dpto. Ingeniería Geológica y Minera. Escuela Politécnica de Cuenca. Universidad de Castilla la Mancha. Camino del Pozuelo s/nº. 16002 Cuenca. david.sanz@uclm.es
3 ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla la Mancha. Edifº. Politécnica. Avda. Camilo José Cela, s/nº. 13071 Ciudad Real. vicente.navarro@uclm.es
4 Unidad de Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España. Rio Rosas, 23. 28003 Madrid. javier.martinez@igme.es

Resumen: La Catedral de Santa María de Cuenca es el edificio más destacado del casco histórico de la ciudad. El material pétreo del que está construida está sufriendo un deterioro que requiere de estudios integrales que tengan en cuenta tanto la procedencia de la piedra de construcción histórica, como su estado de conservación.

En la catedral se reconocen, en términos generales, tres litotipos diferentes. Las dolomías grises, una caliza micrítica blanca y la conocida como "piedra de Novelda" (biocalcarenita crema de grano fino).

Las principales fuentes de materiales pétreos utilizados en la construcción de la Catedral provienen de las hoces de río Huécar (cantera de Molinos de Papel) y Júcar, la cantera de Arcos de la Cantera y la zona conocida como fuente del Portland.

En cuanto a la roca ornamental utilizada, cabe destacar las dolomías brechoides de aspecto marmóreo de las canteras de Buenache de la Sierra (Cuenca) y Las Majadas (Cuenca), calizas marmóreas rojizas de la cantera de La Cierva (Cuenca), serpentinita de las sierras de Granada y el mármol blanco de Carrara (Italia).

Se han elaborado mapas litológicos de las fachadas indicando la procedencia de cada uno de los pétreos estudiados y también las patologías que presentan cada una de las fachadas.

Palabras clave: patrimonio arquitectónico, piedra construcción, canteras, patologías, deterioro.

Abstract:

The Cathedral of Santa María de Cuenca is the most outstanding building in the old city. The stone material used in this monument suffers intense deterioration that requires comprehensive studies taking into account both the origin of the stone of historical construction and its conservation status. In general terms, three different lithologies are recognized in the cathedral. A grey dolostones, a white micritic limestone and the foreign material known as "Novelda stone" (biocalcarenite fine-grained cream).

The main sources of the materials used in the construction of the Cathedral come from the valleys of both Huécar and Júcar rivers (cantera de Molinos de Papel), as well as from Arcos de la Cantera quarry and the area known as the Portland fountain.

For the ornamental rock used, it is worth noting the use of a brecciated dolostones with marble appearance from the quarries of Buenache de la Sierra (Cuenca) and Las Majadas (Cuenca), a reddish marble limestone of the quarry of La Cierva (Cuenca), a serpentinite from Granada and, finally, a white marble from Carrara (Italy). Lithological maps of the façades have been prepared indicating the origin of each of the studied stones and also the decay forms observed in each one.

Keywords: *architectural heritage, building stone, quarries, decay forms, deterioration.*

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cuenca (España) está situada en la zona central de la Península Ibérica (Fig. 1). Fue declarada en 1996 Ciudad Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. El edificio más destacado en su casco histórico es la Catedral de Santa María de Cuenca. El material pétreo del que está construida (Tabla I) está sufriendo un deterioro que requiere de estudios integrales de caracterización petrofísica de la piedra original (canteras históricas) y la caracterización y estudios de patologías de los pétreos utilizados en su construcción.

PROCEDENCIA DEL MATERIAL PÉTREO

El material pétreo más utilizado en la Catedral de Cuenca es el que proviene de una cantera situada a unos 10 km de la ciudad de Cuenca, en la localidad de Arcos de la Cantera (Fig. 1) (Bermejo, 1977; Rokiski y Troitiño, 1995; Palomo, 2002; Torrero *et al.*, 2014). Se trata de una cantera catedralicia de pequeña extensión que explota calizas blancas de origen lacustre estratificadas en capas decimétricas que alternan con margas de tonos blancos y grises de hasta cinco metros de potencia. La edad de estos materiales estaría circunscrita entre el piso Aragoniense y el Vallesiense. Esto se correspondería con el Neógeno, hace unos once millones de años. Debido a sus características petrofísicas es utilizada tanto en sillares como en elementos ornamentales. Se han identificado dos litotipos que se diferencian por sus propiedades físico-mecánicas.

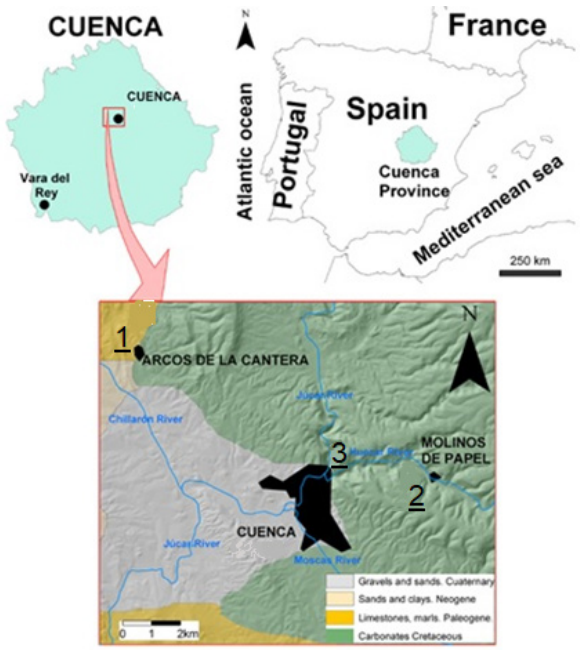


FIGURA 1. Mapa geológico simplificado y localización de las principales canteras de materiales pétreos utilizados en la catedral de Santa María de Cuenca. 1. Calizas de Arcos de la Cantera. 2. Calizas y Dolomías de Molinos de Papel. 3. Dolomías de las canteras en las hoces de los ríos Júcar y Huécar. Tomado de (Torrero *et al.*, 2014).

Otro tipo de pétreo ampliamente utilizado en la construcción de la catedral es la piedra conocida como del "Tormo" perteneciente a la Fm. Dolomías tableadas de la Ciudad Encantada (Cretácico Superior). Esta piedra está formada por calizas y dolomías en tonos pardos, menos porosa y más dura (y por tanto difícil de labrar) que los litotipos anteriores. Estas propiedades hacen que este tipo de piedra fuera utilizada en elementos constructivos resistentes como losados, sillares estructurales y mampuestos entre otros. De las canteras de la hoz del Huécar y Júcar provienen los mampuestos y sillarejos.

El claustro de la catedral fue construido con la piedra conocida localmente como del "Portland" debido a su carácter calizo margoso, utilizada posteriormente para la fabricación de cemento. Las canteras de procedencia de este material fueron investigadas anteriormente por Fort *et al.* (1998) y probablemente se encontraban en lo que hoy es el auditorio municipal de Cuenca.

La actual fachada oeste (Fig. 2) de la catedral de Cuenca, construida por Vicente Lampérez en 1910, está realizada con la "piedra de Novelda" (biocalcarenita crema de grano fino). Esta piedra ha sido ampliamente utilizada en el patrimonio arquitectónico español. Su uso se extendió a las zonas centrales de la península debido a la construcción del ferrocarril entre Madrid y el levante. Debido a su facilidad de labra ha sido utilizada tanto para sillería como para ornamento. Las escaleras de acceso a la catedral están realizadas con un material pétreo de mayores prestaciones mecánicas, adaptadas a los esfuerzos de flexotracción a los que están sometidos los escalones. Este material pétreo procede de la localidad próxima de Torrubia.

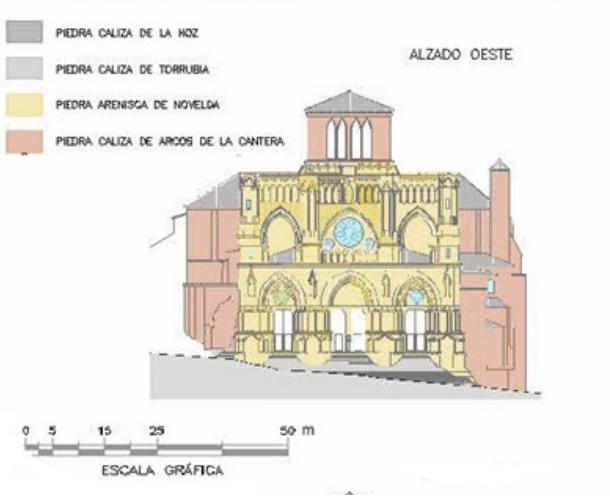


FIGURA 2. Mapa litológico de la fachada oeste. Alzados de Álvarez-Builla *et al.* (2008). Adaptado de Canosa y Coronado (2013).

En cuanto a la roca ornamental utilizada en la catedral, cabe destacar las dolomías brechoides con aspecto de mármol de las canteras de Buenache (Cuenca) y Las Majadas (Cuenca), calizas marmóreas rojizas de la cantera de La

Cierva (Cuenca), Serpentinita de las sierras de Granada y el mármol blanco de Carrara (Italia). (Torrero, 2015).

NOMBRE Y PROCEDENCIA	TIPO	UBICACIÓN EN LA CATEDRAL
Carrara, Italia.	Mármol blanco	Altorrelieves. Capilla Mayor
Buenache, Cuenca.	Dolomías rojizas	Capilla del Sagrario
Granada, España	Serpentinita	Altar Mayor de la Catedral
La Cierva, Cuenca	Dolomías	Altar Mayor y San Julián
Torrubia, Cuenca	Calizas y dolomías	Escalones de acceso a la Catedral
Novelda, Alicante	Biocalcarenitas.	Fachada oeste de la Catedral
Júcar y Huécar, Cuenca	Calizas, dolomías y tobas	Trasera de la Catedral y Palacio Episcopal.
Húecar, Cuenca	Margocalizas grises	Claustro.
Júcar y Huécar, Cuenca	Dolomías y calizas	Parte trasera de la Catedral y solado.
Arcos de la Cantera, Cuenca	Calizas lacustres	80 % Catedral. Sillares y ornamentos

TABLA I. Inventario pétreo utilizado en la Catedral de Cuenca. Fuentes diversas de información y elaboración propia.

ESTADO DE CONSERVACIÓN

El material pétreo se deteriora al estar expuesto a los agentes atmosféricos y la contaminación. Las características petrográficas y físicas influyen de una manera determinante en el proceso de deterioro. En el caso de las rocas carbonatadas, la solubilidad es alta y la presencia de sales solubles es un indicio de alteración y baja durabilidad. También la porosidad del material pétreo va a marcar la durabilidad del mismo. El volumen de poros abiertos y el tamaño y distribución de los mismos, van a ser fundamentales para el comportamiento del pétreo frente al deterioro.

Las patologías más comunes encontradas en las fachadas de la Catedral de Cuenca son (terminología según ICOMOS, 2011):

Fachada oeste: La fachada está construida con un tipo de piedra conocida como "piedra de Novelda" (biocalcarenita crema de grano fino). Se construyó a principios del siglo XX y las patologías que nos encontramos son pátinas biológicas y negras, erosión superficial, disgregaciones principalmente en cornisas y vandalismo. La patología más grave que presenta esta fachada es disgregación y erosión del pétreo en cornisas y aleros como consecuencia principalmente de humedades, radiación solar y temperaturas extremas.

Fachada norte: Esta fachada está construida con piedra procedente de la cantera de Arcos de la Cantera y las patologías más frecuentes son el desprendimiento de material, manchas de humedad (escorrentías), alveolización, pérdidas de volumen (faltantes), depósito (acumulación) de excrementos de ave y pátinas biológicas. El principal problema que tiene esta fachada es su orientación Norte y como consecuencia temperaturas bajas y humedades.

Fachada sur: La mayoría de la piedra de esta fachada también proviene de la cantera de Arcos de la Cantera. Las patologías que podemos observar son manchas de humedad (escorrentías), pátinas biológicas, picado, disgregaciones en cornisas y aleros, erosionado, alveolización y pátinas negras. Al igual que en la fachada Norte, aquí también se producen manchas negras de humedad como consecuencia del agua que discurre por las bajantes que acaban en contacto directo con la piedra produciendo escorrentías y humedades. Estas humedades favorecen el crecimiento de musgos formando pátinas biológicas que se inician en las juntas y que pueden producir al final disgregaciones.

Fachada este: Esta fachada está construida en su mayor parte por calizas, dolomías y tobas procedentes de canteras situadas en las hoces de los ríos Júcar y Huécar. Las patologías que observamos se corresponden con daños estructurales, pátinas biológicas, deslaminaciones, picado y pátinas negras. La alveolización también es una patología que se manifiesta en esta fachada en distintas zonas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Politécnica de Cuenca de la Universidad de Castilla la Mancha, la financiación y el apoyo recibido para la presentación de este trabajo en el Congreso Geológico de España.

REFERENCIAS

Álvarez-Builla, M., Ibáñez, J., Martínez, J. M. y García, M. A. (2008): La Catedral de Cuenca.: Restauración y rehabilitación de los espacios anejos a la girola. En: *III Bienal de Restauración Monumental. Sobre la des-Restauración 2006*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Actas, 633-640.

Bermejo, J. (1977): *La catedral de Cuenca*. Caja de Ahorros Provincial de Cuenca.

Canosa, M. y Coronado, A.M. (2013): *Estudio metodológico sobre degradación, conservación y puesta en obra de pétreos naturales como material de construcción en la Catedral de Santa María de Cuenca.* Proyecto fin de grado. Escuela Politécnica de Cuenca.

Fort, R., López de Azcona, M.C. y Mingarro, F. (1998): Sustitución de Elementos Arquitectónicos en el Claustro de la Catedral de Cuenca (España): Selección de Materiales Pétreos. *Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio arquitectónico y Edificación. La Habana. Cuba*. Centro internacional para la conservación del patrimonio. 177-179.

ICOMOS (2011): Illustrated glossary on Stone deterioration patterns – Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. Versión Inglés-Español. Irmh-ext,fr/icomos/conslut/index.htm.

Palomo, G. (2002): *La Catedral de Cuenca en el contexto de las grandes canterías catedralicias castellanas en la Baja Edad Media.* Diputación de Cuenca.

Rokiski, M.L. y Troitiño, M.Á. (1995): Arquitecturas de Cuenca. *Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.*

Torrero, E., (2015): *Caracterización, Degradación y Conservación de Pétreos Naturales en la Catedral de Santa María de Cuenca.* Tesis doctoral. Universidad Castilla la Mancha. Escuela Politécnica de Cuenca, 410 p.

Torrero, E., Canosa, M., Coronado, A., Sanz, D. and Navarro, V. (2014): Pathologies and physical characterization of the Stone elements of the Cathedral of Santa María of Cuenca (Spain). En: *International Conference on preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings* (R. Amoéda, S. Lira and C. Pinheiro, eds.). Portugal. Proceedings, 1013-1019.

El vínculo entre naturaleza y arquitectura en el jardín del palacio de los Enríquez de Baza (Granada)

The link between nature and architecture in the garden of the Enriquez Palace of Baza (Granada)

L. Valdivia Catena y G. Cultrone

Dpto. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Fuente Nueva, s/nº. 18002 Granada. cultrone@ugr.es.

Resumen: El Palacio de los Enríquez pervive desde hace seis siglos en la localidad de Baza (Granada) ante el desamparo de una posible restauración que no acaba de llegar. Es por ello que esta joya del Renacimiento español precisa de la realización de estudios previos y propuestas de intervención que permitan devolverle su imagen original y garantizar su conservación. Este estudio está encaminado a convertirse en parte de esos estudios previos, centrándose exclusivamente en la zona del jardín, ya que es el elemento que envuelve el palacio y en el que discurre un caz de agua, protagonista del palacio y causante de los principales problemas de conservación. Las líneas generales de este estudio se mueven en tres direcciones principales: identificación de materiales mediante técnicas analíticas como la difracción de rayos X, determinación de los deterioros empleando sistemas como la termografía infrarroja y, por último, elaboración de una propuesta de intervención enfocada a resolver los deterioros analizados. De esta forma, se pretende lograr un documento que siente las bases de la problemática a la que se enfrenta el palacio de los Enríquez, creando así un precedente que reivindique la importancia de este monumento y la necesidad de actuación ante el patrimonio en peligro de desaparición.

Palabras clave: Jardín, humedad, mineralogía, termografía infrarroja.

Abstract: *The Enriquez´s Palace has survived for six centuries in the town of Baza (Granada) before the helplessness of a possible restoration that has not arrived. This Spanish Renaissance jewel requires the realization of previous studies and intervention proposals that allow it to recover the original image and guarantee its conservation. This study is aimed to be part of those previous studies, focusing exclusively on the garden area, since it is the element that surrounds the palace and with a millrace like the protagonist of the palace that causes the main problems of conservation. The general lines of this study move in three main directions: the identification of materials through analytical techniques such as X-ray diffraction, the determination of the decay forms using infrared thermography and, finally, the elaboration of an intervention proposal focused on solving the analysed deteriorations. In this way, this study represents a document that lays the foundations of the problem facing the Enriquez´s Palace, creating a model that claims the importance of this monument and the need to intervene on heritage that is in danger of disappearance.*

Keywords: *Garden, humidity, mineralogy, infrared thermography.*

INTRODUCCIÓN

El palacio de los Enríquez de Baza (Granada) es un monumento renacentista del siglo XVI que se enfrenta a un gran problema de conservación ocasionado por la propia naturaleza del inmueble, pues está rodeado de un amplio jardín que alberga un caz de agua que atraviesa el palacio. A nivel histórico-artístico, este jardín convierte a este edificio en la primera villa de recreo al estilo italiano construida en España; sin embargo, la geología del terreno no garantiza las mejores prestaciones para que este jardín perdure con el paso del tiempo.

El jardín del palacio es una gran superficie de terreno con orientación Este que ocupa la parte trasera del edificio. La parte central de dicho jardín, encuadrada entre los cenadores, corresponde a la zona de ocio y alberga el caz y el estanque.

La existencia de un caz de agua en este jardín se hacía necesaria por varios motivos: en primer lugar, la escasez de precipitaciones debió fomentar el desarrollo de un buen sistema hidráulico que recogiese el agua de los nacimientos para trasladarla a la ciudad (Reche Cruz, 2001); en segundo lugar, la necesidad de crear un sistema de riego bien canalizado para abastecer el estanque y garantizar la subsistencia de las especies vegetales (Fig. 1).

DATOS Y RESULTADOS

Los análisis en este estudio se orientan en dos direcciones: por un lado, aquellos que determinan la naturaleza de los materiales; por otro, los que establecen los daños existentes en el edificio.

Se han tomado un total de cinco muestras (Tabla I), cuatro a lo largo del caz y una del estanque, para observarlas con una lupa binocular Wild Heerbrugg. Posteriormente, se ha determinado la mineralogía mediante difracción de rayos X empleando un difractómetro PANalytical X´Pert PRO

con radiación CuKα, voltaje 45 kV, intensidad de corriente 40 mA, intervalo de exploración 3 a 60º 2θ y velocidad de goniómetro 0.1 2θ s^{-1}.



FIGURA 1. El caz a su paso por el cenador norte.

Los resultados proporcionados por difracción de rayos X indican que J1 se compone de calcita, dolomita y cuarzo. La calcita constituye muy probablemente el aglomerante del mortero, mientras que dolomita y cuarzo son los componentes del árido. Los conglomerados J2 y J3 están compuestos por calcita, dolomita y cuarzo. La mineralogía del ladrillo J4 sugiere que ha sido cocido a baja temperatura debido a la presencia de filosilicatos como moscovita y paragonita y a la calcita, fase mineral que desaparece por encima de 750 Cº. Por último, J5 correspondería a una roca de naturaleza calcítica con importante contenido en dolomita y cierto aporte de componentes terrígenos como cuarzo y moscovita (Tabla I).

Muestra	Ubicación	Descripción según la lupa binocular
J1	Capa inferior del caz	Mortero de matriz pulverulenta con árido de diferente tamaño
J2	Capa superior del caz	Conglomerado de aspecto compacto con árido de diversa forma, tamaño y color
J3	Muro del caz	Conglomerado de aspecto compacto con árido de diversa forma, tamaño y color
J4	Ladrillo del caz	Ladrillo de aspecto pulverulento con granos de pequeño tamaño
J5	Muro del estanque	Roca de porosidad elevada y aspecto compacto

TABLA I. Descripción de las muestras tras su observación con lupa binocular.

La segunda parte de los análisis se ha enfocado al estudio de las alteraciones del edificio, asociadas al papel que ejerce el agua como agente de deterioro. Es inevitable que el agua ejerza una importante influencia en el edificio, especialmente en aquellas zonas colindantes con el jardín. Es por ello, que la humedad generada está ocasionando todo tipo de problemas en el inmueble, alcanzando los cimientos del edificio y ascendiendo por capilaridad. El problema de muchos edificios históricos es que se encuentran rehundidos en el suelo y no están impermeabilizados (García Morales *et al.*, 1995).

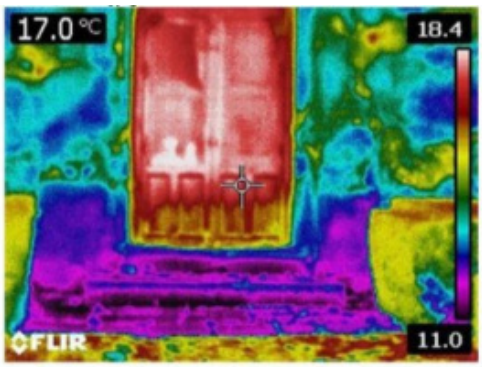


FIGURA 2. Imagen termográfica de la pared exterior.

La presencia de humedad se ha analizado con termografía infrarroja utilizando una cámara termográfica Flir T440 (Fig. 2). Las imágenes muestran un patrón generalizado en todas las estancias: las franjas de colores fríos como azul y morado se encuentran en las zonas del muro en contacto con el pavimento, así como en las esquinas de las estancias; mientras que, a medida que avanzan hacia arriba, van tornándose más cálidos los colores.

Tipo de deterioro	Ubicación
Depósitos: eflorescencias y subflorescencias	En todas las estancias, salvo el pabellón norte
Disgregación	Muros internos del edificio
Desprendimiento	Muros internos del edificio y pabellón norte
Deformación	Pavimentos y muros externos del edificio
Falta de material	Pabellón sur
Biodeterioro	Muros internos y externos del edificio

TABLA II. Clasificación de deterioros identificados en el edificio.

Las gamas de colores fríos se corresponden con aquellas zonas que presentan mayor humedad. Por ello, estas imágenes están evidenciando la existencia de humedad presente en el terreno que asciende al edificio por capilaridad, concentrándose especialmente en las juntas de unión de los muros, y ascendiendo aproximadamente hasta la mitad del paramento.

Evidentemente la humedad no afecta a todos los materiales por igual, circunstancia que origina que en las salas del palacio sea posible encontrar toda una variedad de deterioros asociados a este fenómeno. Este hecho se debe a factores de diversa índole como, por ejemplo, la orientación de las estancias del edificio, la proximidad del caz a las inmediaciones o la composición de los materiales con los que se ha construido el edificio. En la Tabla II se resumen los deterioros existentes y su distribución en las diferentes estancias del palacio.

DISCUSIÓN

En el caso del caz, está construido con sillares de un conglomerado rojizo que abunda en la comarca y que se ha empleado en otras del edificio como, por ejemplo, los pilares del pabellón sur. Posiblemente como parte de obras de reparación posteriores, y con la finalidad de alargar la vida útil del caz, se ha aplicado una capa de mortero de cal sobre el conglomerado. El ladrillo se ha empleado para conectar los laterales del caz, a modo de pasillo, y se encuentran muy deteriorados debido a la mala cocción llevada a cabo. Por último, el muro del estanque está conformado por una roca de difícil identificación debido a que es un elemento muy alterado y se encuentra parcialmente destruido.

Por otra parte, las termografías ponen de manifiesto una necesidad de intervención urgente para frenar el impacto del agua en el edificio, pues corroboran la existencia de un flujo permanente de agua que pasa del terreno al edificio, produciendo en ese tránsito el deterioro de los materiales.



FIGURA 3. Ejemplo de impermeabilización de un caz en Lodosa con el sistema de poliuretano y PVC mencionado (imagen tomada de http://pralingenieria.es).

En relación con los problemas observados en el estudio del edificio se ha elaborado una propuesta de intervención cuyo objetivo principal es la paralización de la entrada de la humedad en el edificio. Esta propuesta debe ir precedida de un estudio hidrogeológico para llevar a cabo el control piezométrico de acuíferos y niveles freáticos existentes en el terreno (Losada Aranguren y Esbert Alemany, 2002), así como de una excavación arqueológica para sacar a la luz la estructura primigenia del jardín.

Una vez realizados los estudios previos del terreno, la intervención para frenar la humedad podría agruparse en dos pasos: la impermeabilización del caz, por ejemplo, creando un sistema de poliuretano y bandas de PVC para que el agua quede aislada en el propio caz; y el drenaje del terreno evacuando el agua procedente del riego para impedir que contacte con los cimientos, garantizando así el mantenimiento del jardín con su función original (Fig. 3). Sin embargo, aún no estaría completa la propuesta de intervención pues faltaría el último paso: devolver al edificio una imagen lo más próxima posible a la original. Para ello sería necesario una intervención directa tanto en la fachada como en las salas colindantes con el jardín mediante un proyecto de restauración que tenga en cuenta tanto la naturaleza de los materiales como la problemática de la humedad a la que éstos tienen que hacer frente.

CONCLUSIONES

Este estudio ha permitido resaltar el valor patrimonial de elementos, que generalmente, son infravalorados como, en este caso, el jardín. Sin embargo, el jardín del palacio de los Enríquez se convierte en el elemento clave en torno al cual gira el palacio y la propia conservación del mismo. Por conveniente que cualquier proyecto de intervención en el edificio comience por el jardín. Por ello este estudio ha comenzado con una caracterización de los materiales, que resulta fundamental para conocer la naturaleza de los mismos, pues determinará la evolución de las estructuras arquitectónicas. Así mismo, este primer estudio de materiales será la base para conocer los deterioros existentes en el edificio.

La conclusión que se puede extraer del estudio es que tanto la geología del terreno como la propia composición de los materiales van a ser determinantes en la evolución del edificio, por lo que debe existir una base de conocimiento focalizada en estos aspectos.

Una vez se haya asentado esa base, se podrán realizar propuestas de intervención como la mencionada en este artículo. Si bien se trata de una propuesta de gran envergadura, es la única que permite garantizar una restauración efectiva de las estancias dañadas sin necesidad de eliminar elementos primordiales del jardín como son el caz y el estanque. De esta manera, se podría asegurar la correcta relación entre el jardín y el edificio a largo plazo, sin desvirtuar la imagen original de dicho jardín.

REFERENCIAS

García Morales, S., Palomo Sánchez, A. y Lasheras Merino, F. (1995): *Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos.* Tesis Doctoral, ETS de Arquitectura. Madrid. 333 p.

Losada Aranguren J.M. y Esbert Alemany, R.M. (2002): Criterios de intervención en materiales pétreos. *Bienes culturales*, 2: 1-34.

Reche Cruz, A. (2001): Características climáticas de la comarca de Baza: problemas ambientales. *Péndulo. Papeles de Bastitania*, 2: 7-17.

¿Existe una representación desigual de geocientíficas según la especialidad geológica?

Is there an unequal representation of female geoscientists according to the geological specialty?

L. M. Parro, P. Herrero-Barbero, A. Herrero-Gil, J.L. Sánchez-Roldán

Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. lmparro@ucm.es

Palabras clave: mujeres, geología, geodinámica, carrera investigadora

Resumen

Dada la baja representación femenina en los puestos de profesor titular y catedrático en el área de Geodinámica Interna de la Universidad Complutense de Madrid, nos proponemos ahondar en las causas de esta percepción y en la desigualdad que pueda existir en esta área de conocimiento. El objetivo principal es encontrar las posibles causas que llevan a esta situación y para ello analizamos los porcentajes de representación femenina de las disciplinas asociadas a Geodinámica Interna respecto a otras áreas de conocimiento de las Ciencias Geológicas, y lo comparamos con los datos de diferentes centros universitarios y de investigación del Estado español en donde exista esta especialidad geológica. También se analizan los datos del número de egresados y egresadas en las titulaciones de la Facultad de Geología, observando si la desigualdad se produce ya en las etapas primarias durante los estudios de grado y postgrado, o si por el contrario se acentúa en las etapas posteriores durante la carrera científica, como sucede en otras especialidades científicas (David, 2017). Efectivamente, se ha observado que existe una clara desigualdad generalizada en las áreas de geología desde la etapa postdoctoral, y que va aumentando desde la figura de Contratado Doctor hasta la de Catedrático de Universidad, llegando a ser alarmante la escasa la representación de mujeres en el área de Geodinámica Interna.

Abstract

The low female representation in the positions of Senior Lecturer and Professor in the Internal Geodynamics area of the Complutense University of Madrid lead us to explore the causes of this perception and the inequality that may exist in this area of knowledge. The main objective is to find the possible causes that produce this situation. Therefore, we analyze the percentages of female representation in the disciplines associated with Internal Geodynamics with respect to other areas of knowledge in the Geological Sciences, and we compare them with the data from different universities and research centers in Spain where this geological specialty exists. We also analyze the data of the number of students from the Faculty of Geology, in order to observe if the inequality already occurs in primary stages, during the undergraduate and graduate studies, or if, on the contrary, it is accentuated in later stages during the development of the scientific career, as it happens in other scientific specialties (David, 2017). Indeed, it has been observed that there is a clear generalized inequality in the areas of geology from the postdoctoral stage, which increases from the position of Lecturer/Assistant Professor to Professor, with an alarmingly low representation of women in the area of Internal Geodynamics.

Referencias

David, M. E. (2017) En: *The Changing Role of Women in Higher Education* (H. Eggins). Springer International Publishing, 227-242.



X CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

SIMPOSIOS

Exploración geofísica de los volcanes submarinos del Estrecho de Bransfield (Antártida)

Geophysical exploration of submarine volcanoes in the Bransfield Strait, Antarctica

J. Almendros[1], W. Wilcock[2], D. Soule[3], T. Teixidó[1], L. Vizcaíno[1], O. Ardanaz[1], J. L. Granja-Bruña[4], D. Martín-Jiménez[5], R. Dziak[6], R. Abella[7], E. Carmona[1], F. Carrión[1], M. Schmidt-Aursch[8], W. Geissler[8], B. Heit[9], X. Yuan[9]

1 Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada. vikingo@ugr.es, tteixido@ugr.es, luis_vizcaino@hotmail.com,
2 University of Washington, USA. wilcock@uw.edu
3 Queens College, City University of New York, USA. dax.soule@qc.cuny.edu
4 Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Universidad Complutense de Madrid. jlgranja@ucm.es
5 Tragsatec, Madrid. diegolas878@hotmail.com
6 Pacific Marine Environment Laboratory, NOAA, USA. robert.p.dziak@noaa.gov
7 Grupo de Volcanología, Instituto Geográfico Nacional, Madrid. rabella@fomento.es
8 Alfred Wegener Institute, Bremenhaven, Germany. mechita.schmidt-aursch@awi.de, wolfram.geissler@awi.de
9 GFZ Potsdam, Germany. heit@gfz-potsdam.de, yuan@gfz-potsdam.de

Palabras clave: Estrecho del Bransfield, volcanes submarinos, geofísica marina, red anfibia.

Resumen

El Estrecho de Bransfield es un rift extensional situado entre la Península Antártica y las islas Shetland del Sur. Hay varios casos de vulcanismo subaéreo (p. ej. la isla Decepción, últimas erupciones en 1967-1970), así como evidencias de vulcanismo submarino. En el marco del proyecto BRAVOSEIS (Almendros *et al.*, 2020), se realizaron un conjunto de perfiles de geofísica marina para explorar la estructura superficial de la corteza en el entorno del rift. Los trabajos se desarrollaron durante dos campañas en 2019 y 2020. Los métodos aplicados incluyen ecosonda multihaz, perfilador de sedimentos, medidas de gravedad y magnetismo, y sísmica multicanal. Exploramos distintas áreas de la Cuenca Central del Bransfield, con un particular interés en dos edificios volcánicos: Orca y Jorobado. Además, instalamos una red sísmica anfibia compuesta por 15 sismómetros en tierra, 24 OBS, y 6 hidrófonos. Esta extensa base de datos puede ayudar a elucidar entre las distintas teorías sobre el origen del Bransfield, determinar la localización y la extensión de las zonas de acumulación de magma asociadas a las estructuras volcánicas submarinas, e investigar los procesos internos que ocurren en los volcanes submarinos del Estrecho de Bransfield.

Abstract

The Bransfield Strait is an extensional rift located between the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands. There are several instances of subaerial volcanism (e.g. Deception Island, last eruptions in 1967-1970) as well as evidences of submarine volcanism. In the framework of the BRAVOSEIS project (Almendros et al., 2020) we carried out a set of marine geophysics profiles to image the shallow crust across selected volcanic edifices and rift structures. The experiments were performed during two cruises in 2019 and 2020. We used marine geophysics methods including multibeam echosounder, sediment profiler, gravity and magnetic measurements, and multichannel seismics. We explored different areas of the Central Bransfield Basin, with a particular focus on two volcanic edifices: Orca and Humpback. Additionally we deployed a nested, amphibious seismic network comprising 15 seismometers deployed on land, 24 OBSs, and 6 hydrophone moorings. This extensive dataset may help elucidate among different theories on the origin of the Bransfield rift; image the location and extent of magma accumulation zones related to submarine volcanic structures; and assess the internal processes that occur in the submarine volcanoes of the Bransfield area.

Referencias

Almendros, J., Wilcock, W., Soule, D., *et al.* (2020). *Journal of South American Earth Sciences* 104, 102834. doi:10.1016/j.jsames.2020.102834

En busca del dato geofísico perdido. Estrecho de Bransfield - Antártida

Raiders of lost geophysical data. Bransfield Strait - Antarctica

C. Araque[1], T. Teixidó[1], L. Vizcaíno[1], O. Ardaraz[1], A. Rodriguez-Juaristi[1], D. Martín-Jiménez[1], J. Almendros[1]

1 Universidad de Granada. carlote85@gmail.com, tteixido@ugr.es, oierarol@gmail.com, amaiarodriguez.26@gmail.com, luis_vizcaino@hotmail.com, diegolas878@hotmail.com, vikingo@ugr.es

Palabras clave: Base de datos geofísicos; Campañas geofísicas; Estandarización de datos geofísicos; Estrecho de Bransfield.

Resumen

Tanto en la fase de redacción del proyecto antártico BRAVOSEIS (CTM2016-77315-R) como en las demás fases de adquisición de datos, procesado y obtención de geo-modelos, se ha realizado una búsqueda exhaustiva de la bibliografía geofísica y geológica de la esta zona estudio. Ello nos ha conducido a estimar útil no solo la recopilación de los artículos implicados, sino también el rescate de sus datos geofísicos.

La búsqueda a través de las distintas fuentes oficiales abiertas (GRMT, MGDS, etc.) y de proyectos de investigación previos (Prieto *et al*., 1999) nos ha conducido a confeccionar una base de datos geofísicos específica para el estrecho de Bransfield. Esta base de datos está organizada por métodos geofísicos (sísmica, gravimetría, perfilador de sedimentos, batimetría…). En cada caso se han revisado todos los formatos y, cuando era necesario, se han modificado a formatos compatibles con los estándares actuales. Además, siempre que ha sido posible se han incorporado las geometrías de adquisición. Presentamos la estructura de esta base de datos confeccionada, así como su futura gestión y accesibilidad.

Abstract

Both in the drafting phase of the BRAVOSEIS Antarctic project (CTM2016-77315-R) and in all the other phases of data acquisition, processing and obtaining geo-models, an exhaustive search of the geophysical and geological bibliography of this study area has been carried out. This has led us to consider useful not only the compilation of the involved papers, but also the recovery and update of the geophysical data.

The search through the different official open sources (GRMT, MGDS, etc.) and previous research projects (Prieto et al., 1999) led us to compile a specific geophysical database for the Bransfield Strait. This database is organised by geophysical methods (seismic, gravimetry, sediment profiler, bathymetry...). In all cases, formats have been reviewed and updated to formats compatible with current standards, if necessary. In addition, when possible, we incorporate acquisition geometries. We present the structure of this database, as well as its future management and accessibility.

Referencias

Prieto, M.J., Ercilla, G., Canals, M. .de Batist, M. (1999). Marine Geology 157, 47–68. DOI 10.1016/S0025-3227(98) 00149-2.

GRMT - Global Multi-Resolution Topography Data Synthesis. https://www.gmrt.org/

MGDS - Marine geoscience Data System. https://www.marine-geo.org/index.php

Geomorfología del volcán submarino Orca mediante la interpretación conjunta MBES-SBP. Estrecho de Bransfield - Antártida

Geomorphology of the Orca submarine volcano through joint MBES-SBP interpretation. Bransfield Strait - Antarctica

O. Ardanaz[1], A. Rodríguez-Juaristi[1], L. Vizcaíno[1], D. Martín-Jiménez[1], A. Muñoz[2], T. Teixidó[1], J. Almendros[1]

1 Universidad de Granada. oierarol@gmail.com, amaiarodriguez.26@gmail.com, luis_vizcaino@hotmail.com diegolas878@hotmail.com, tteixido@ugr.es, vikingo@ugr.es
2 Tragsatec-SGP, Madrid.. amur@tragsa.es

Palabras clave: Bransfield, volcán submarino Orca, batimetría (MBES), perfilador de sedimentos (SBP).

Resumen

Orca es un edificio volcánico submarino situado en la parte NE del estrecho de Bransfield (Antártida). Se ubica dentro de un contexto de cuenca extensional trasarco en el que la mayoría de los elementos estructurales a escala local y regional se alinean en dirección NE-SW. En 2019 se llevó a cabo una campaña geofísica enmarcada en el proyecto BRAVOSEIS (CTM2016-77315-R) que incluyó una batimetría (MBES) y perfilador de sedimentos (SBP). Tras la fase de procesado de datos de ambos, se está llevando a cabo una cartografía geomorfológica estructural conjunta. Ello ha permitido detectar filtraciones de gas en las zonas sedimentarias e identificar plumas de gas en la columna de agua. Los resultados muestran una distribución espacial bien definida y localizada de los elementos estructurales; proporcionando información de la relación entre la evolución vulcanológica y las características tectónicas de la zona.

Abstract

Orca is a submarine volcanic edifice located in the NE part of the Bransfield Strait (Antarctica). It is placed within a backarc extensional basin context, where local and regional scales of the main structural elements are aligned NE-SW direction. A geophysical fieldwork was carried out in 2019 as part of the BRAVOSEIS project (CTM2016-77315-R), including a bathymetry (MBES) and sub-bottom profiler (SBP) data acquisition. Following the data processing phase of both methods, a joint structural geomorphological mapping is being carried out. The results have allowed the detection of gas seepage in the sedimentary zones and the identification of gas plumes in the water column (Hsu et al., 2018). They also show a well-defined spatial distribution of the structural elements; providing information on the relationship between the volcanological evolution and the tectonic features of the area (Favalli et al., 2005).

Referencias

Favalli, M., Karátson, D., Mazzuoli, R., Pareschi, M., Guido, V. (2005). *Bulletin of Volcanology*, 68, 157-170. DOI 10.1007/s00445-005-0429-3.

Hsu, S-K., Lin, S-S., Wang, S-Y., Tsai, C-H., Doo, W., Chen, S-C., Lin, J-Y., Yeh, Y-C., Wang, H-F., Su, C-W. (2018). *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 29, 7-15. DOI 10.3319/TAO.2016.10.04.01.

Determinación de la estructura profunda de la plataforma de Las Landas, a partir de sísmica multicanal y modelización gravimétrica y magnética.

Deep structure of the Landes Plateau, from the revision of multichannel seismic profiles and gravity and magnetic modelling.

M. Druet[1], A. Olaiz[2], F. Bohoyo[1], A. Maestro[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, Área de Geología del Subsuelo y Modelización Geológica 3D. C/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos (España). m.druet@igme.es; f.bohoyo@igme.es; a.maestro@igme.es

2 Repsol, Exploration Technical Service. C/ Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid (España). antoniojose.olaiz@repsol.com

Palabras clave: velocidad de ondas sísmicas, gravimetría, magnetismo, basamento, cuenca sedimentaria.

Resumen

La plataforma de Las Landas (sector oriental del margen noribérico) es un alto estructural generado por la apertura del Golfo de Vizcaya durante el Mesozoico y la posterior inversión tectónica parcial durante la compresión Cenozoica. En esta plataforma marginal está comprendido el extremo occidental de la cuenca de Parentis, de edad Jurásico superior-Cretácico, donde se da una interacción entre los procesos tectónicos que afectan al basamento y la tectónica salina (Ferrer *et al.*, 2012). A pesar de los estudios llevados a cabo en la región (ver Ferrer *et al.*, 2012 y referencias incluidas allí), la estructura del basamento en la plataforma de Las Landas no está bien definida, y hay cierta controversia también sobre el espesor de sedimentos que constituyen este sector de la cuenca de Parentis. Este trabajo aborda una modelización de la estructura profunda de la región y utiliza para ello: la información ofrecida por perfiles de sísmica de reflexión multicanal comerciales, registrados en la década de los 80, disponibles en el Sistema de Información Geofísica del Instituto Geológico y Minero de España (SIGEOF, http://info.igme.es/SIGEOF/); el cálculo de una superficie de partida del techo del basamento obtenida a partir de los datos de anomalía magnética (Getech, 2011), aplicando el método de Tilt depth (Salem *et al.*, 2007); y la inversión 3D de datos gravimétricos de anomalía de Aire Libre derivados de altimetría de satélite.

Abstract

The Landes Plateau (Eastern sector of the north Iberian margin) is a structural high originated by the Bay of Biscay opening during Mesozoic times, and the subsequent partial tectonic inversion during Cenozoic times. This marginal shelf comprises the westernmost edge of the Late Jurassic – Cretaceous Parentis basin, where interplay between basement tectonics and salt tectonics is reported (Ferrer et al., 2012). In spite of the studies developed in this region in the past (see Ferrer et al., 2012 and references therein), the deep structure of the Landes Plateau basement is not well defined, and there is some controversy regarding the thickness of the sediments constituting this sector of the Parentis basin. This work addresses the deep structure modelling of the region, comprising: information from multichannel reflection seismic profiles, registered during the 80's decade and available at the Geophysical Information System of the Spanish Geological Survey (SIGEOF, http://info.igme.es/SIGEOF/); the estimation of a starting basement top surface, from magnetic anomaly data (Getech, 2011), using the Tilt Depth method (Salem et al., 2007); and satellite altimetry derived gravity data 3D inversion.

Referencias

Ferrer, O., Jackson, M.P.A., Roca, E. y Rubinat, M. (2012). Evolution of salt structures during extension and inversion of the Offshore Parentis Basin (Eastern Bay of Biscay). En Alsop, G.I., Archer, S.G., Hartley, A.J., Grant, N.T. y Hodgkinson, R. (eds.), Salt Tectonics, Sediment and Prospectivity. Geological Society, London, Special Publications, 363. 361-379.

Getech (2011). European & Mediterranean magnetic project (EMMP). Report Number: G1135.

Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Ravat, D., y Smith, R. (2007). The Leading Edge, v.26, p. 1502-1505.

Análisis gravimétrico y magnético de estructuras diapíricas en el *offshore* de la cuenca de Asturias.

Gravimetric and magnetic analysis of salt diapirs in the offshore of the Asturias basin.

M.A. Fuente[1], A. Muñoz Martín[1*], A.J. Olaiz[2] y G. Zamora[2]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Depto. GEODESPAL, Univ. Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais 12, 28040 – Madrid (España). *Corresponding author (amunoz@ucm.es)

2 Repsol, Exploration Technical Service. C/ Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid (España)

Resumen: En este trabajo se realiza un análisis mediante campo potenciales (gravimetría y magnetismo) de las estructuras salinas interpretadas previamente en el offshore de la Cuenca de Asturias Para ello se han realizado los mapas de anomalías y tres modelos en 2+3/4D GRAV/MAG con los datos de un cubo sísmico 3D adquirido por Repsol en 2008. El análisis cuantitativo de los mapas y la modelización en 2+3/4D ha permitido reinterpretar la estructura del basamento y de las estructuras salinas hasta ajustar la señal GRAV/MAG. Estas modificaciones son significativas por debajo de los niveles de evaporitas, destacando la necesidad de introducir menor cantidad de sal, y una reinterpretación de la geometría del techo del basamento.

Palabras clave: gravimetría, magnetismo, Cuenca de Asturias, tectónica salina, margen Cantábrico.

Abstract: *In this work a potential field analysis (gravimetry and magnetism) of the salt structures interpreted in the offshore of the Asturias Basin. For this purpose, 2D processing of the anomaly maps and three models in 2+3/4D GRAV/MAG have been carried out with the data of a 3D seismic cube acquired by Repsol in 2008. The quantitative analysis of the maps and modeling has allowed the structure of the basement and salt structures until adjusting the GRAV/MAG signal. These modifications are significant below the levels of evaporites, highlighting the need to introduce less salt, and a new geometry of the basement top.*

Keywords: gravimetry, magnetism, Asturias Basin, salt tectonics, Cantabrian margin

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El margen continental del norte de la Península Ibérica ha sido de interés para la industria petrolera desde los años 70. En él se han realizado diversas campañas geofísicas en las cuales se han tomado multitud de perfiles sísmicos y se han realizado varios pozos de exploración. La Cuenca de Asturias se localiza en el Margen Ibérico Norte, el cual se sitúa al sur del Golfo de Vizcaya limitando con el dominio hiperextendido con una dirección E-O (fig. 1). Este margen pasivo fue parcialmente invertido durante la orogenia alpina, la cual provocó el cierre parcial del Golfo de Vizcaya. El basamento de la Cuenca está constituido principalmente por cuarcitas y pizarras paleozoicas y está rellena de forma asimétrica por materiales mesozoicos como evaporitas, carbonatos, margas y en ocasiones niveles arenosos (Riaza, 1996).

El objetivo de este trabajo es contrastar las interpretaciones sísmicas de diapiros salinos realizadas en el *offshore* de la Cuenca de Asturias mediante técnicas geofísicas de campos potenciales naturales (gravimetría y magnetismo).

Para alcanzar este objetivo se han realizado una serie de procesados e interpretaciones de los datos GRAV/MAG, incluyendo la realización de una serie de modelos en 2+3/4D sobre secciones sísmicas interpretadas por Zamora *et al*. (2017) correspondientes a un cubo sísmico 3D adquirido por Repsol en 2008.

DATOS UTILIZADOS Y MÉTODOS

Se han utilizado datos bibliográficos sobre la estructura y estratigrafía de la cuenca, registros de pozos de la zona, y datos geofísicos recogidos durante la campaña de Repsol de 2008 que, además de los datos sísmicos, contienen los registros de las medidas gravimétricas, magnéticas y de batimetría multihaz.

Zamora *et al.* (2017) identifican y describen una serie de estructuras diapíricas a partir de la interpretación de los datos sísmicos y de pozo, si bien queda patente la dificultad de definir los límites de las estructuras intrusivas, así como la geometría de la serie pre-salina y del techo del basamento. Este trabajo se centra en tres de las secciones sísmicas interpretadas por Zamora *et al*. (2017) (figs 1 y 2).

Además de los horizontes interpretados por estos autores, se han utilizado los datos de velocidades sísmicas dinámicas, los valores de diagrafías sónicas y de densidad del pozo Asturias-D1 (fig. 1) para establecer las relaciones Vp/densidad de los materiales de la zona, y poder convertir las secciones en tiempo a profundidades.

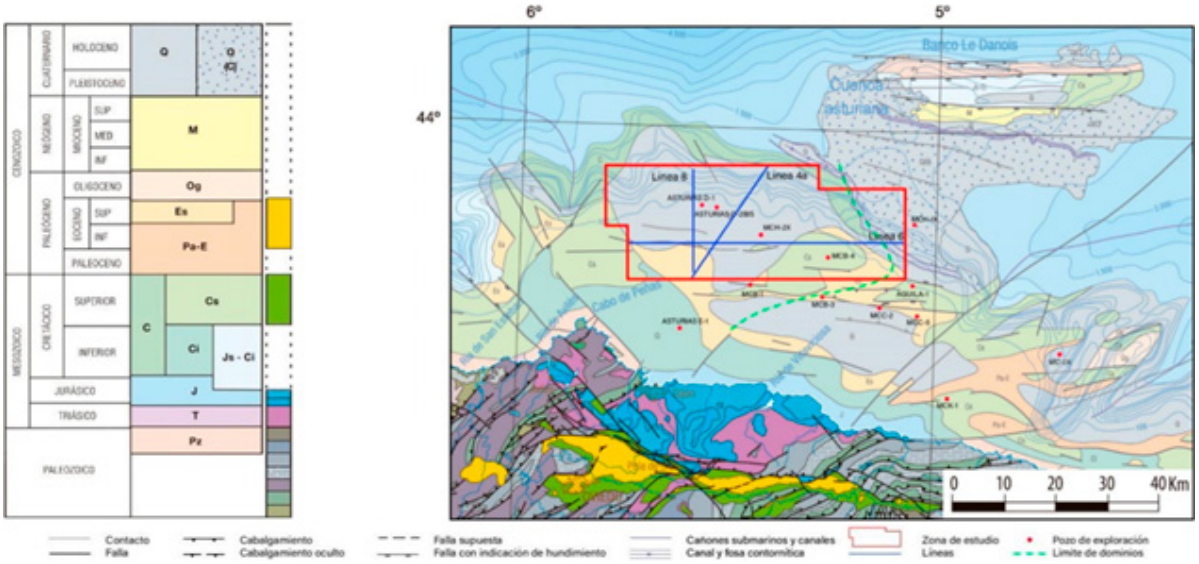


FIGURA 1. Mapa geológico de la costa asturiana y margen continental extraído del Mapa Geológico de España y Portugal escala 1:1.000.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El marco rojo limita el cubo sísmico 3D analizado por Zamora *et al.* (2017), y las líneas azules la posición de las secciones modelizadas.

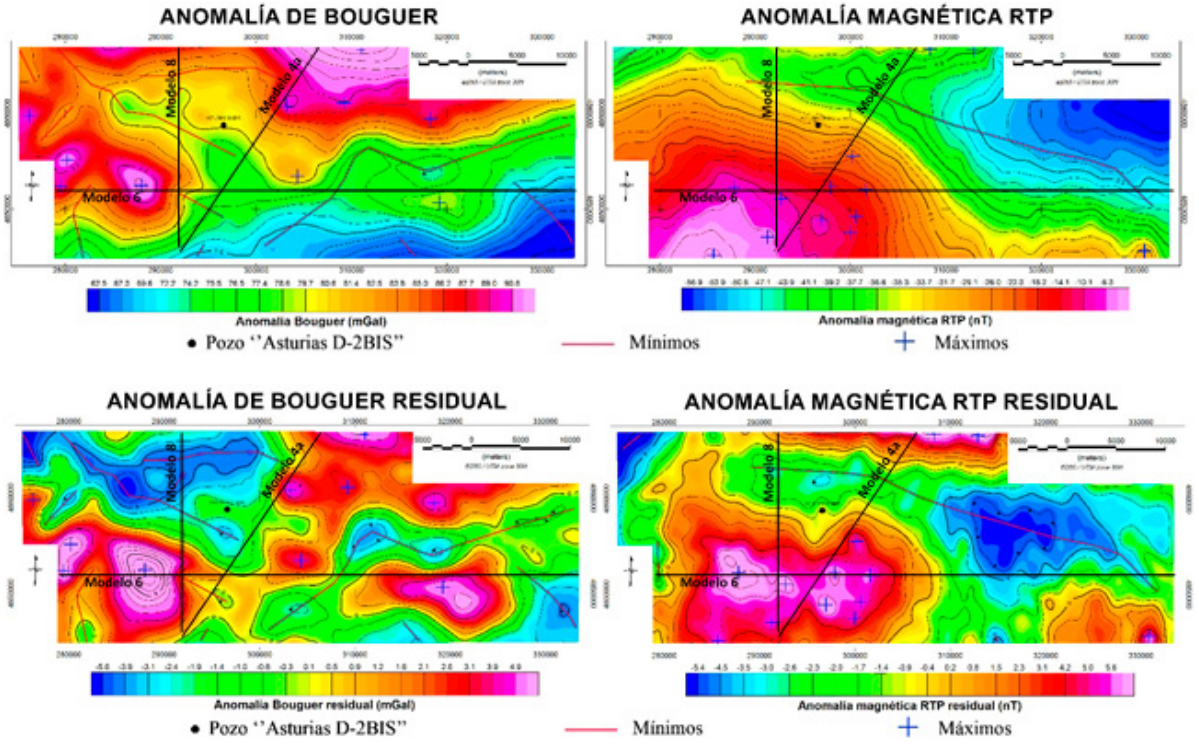


FIGURA 2. Arriba: Mapas de anomalía gravimétrica de Bouguer (izquierda) y de anomalía magnética reducida al polo (derecha) del cubo sísmico analizado. Abajo: Mapas de anomalías de Bouguer residuales (izquierda) y de anomalía magnética reducida al polo residuales (derecha). Las líneas negras marcan la posición de los tres modelos GRAV/MAG ajustados en la figura 3. Los nombres de las secciones son los mismos que los utilizados por Zamora *et al.*, 2017, para facilitar su comparación.

En la primera fase de análisis, se recalcularon los valores de anomalía completa de Bouguer con una densidad de reducción de 2.2 g/cm^3, y de anomalía magnética reducida al polo. Los mapas de estas dos anomalías se muestran en la figura 2. Posteriormente se han obtenido mapas de anomalías regionales, mediante el cálculo de la prolongación analítica de ambas anomalías, lo que ha permitido calcular las anomalías residuales respectivas (fig. 2). Además, y con el objetivo de definir los principales contrastes de susceptibilidad magnética y de densidad, se han calculado los gradientes (vertical y total horizontal) de ambas anomalías. Toda esta información ha permitido definir máximos, mínimos y zonas de gradiente de las anomalías, que han sido utilizados para identificar posibles zonas con gran

acumulación de sales, depocentros, o aquellas donde el basamento se encuentra más elevado.

La segunda fase ha consistido en la elaboración de los modelos en 2+3/4D de cada línea sísmica a partir de la anomalía de Bouguer y la anomalía magnética reducida al polo a lo largo las tres líneas de la figura 2. Para realizar los modelos se han convertido los horizontes de escala de tiempos dobles (segundos) a profundidades (metros) utilizando los registros sónico y de densidad del pozo Asturias-D1. Para la asignación de densidades y susceptibilidades a los materiales, además de los datos de pozo, también se han utilizado curvas empíricas (Gardner *et al.*, 1974). Para la ubicación preliminar de la base de la corteza se ha tenido en cuenta el trabajo de Gallastegui *et al.* (2002).

El procesado de los datos, y el cálculo de mallas se ha realizado con el software de Geosoft Oasis montaj en el que se encuentra integrada la herramienta GM-SYS con la que se han construido los modelos gravimétricos y magnéticos.

El ajuste de los modelos se ha realizado constriñendo con los datos de pozo y de los horizontes sísmicos publicados previamente. El ajuste de las anomalías se ha realizado de mayor a menor longitud de onda: en primer lugar se ha ajustado la posición del moho y del basamento, en segundo lugar se ha modelizado la cobertera sedimentaria por encima del techo de la sal, y, por último, se han modificado los límites laterales de los cuerpos salinos, así como la secuencia presalina.

RESULTADOS

Los resultados del ajuste de los tres modelos se muestran en la figura 3. En general, y tal y como mostraban los mapas de anomalías, se distingue una zona en el sur con un basamento elevado, y una zona en el centro y norte del área estudiada que presenta elevadas potencias sedimentarias e importantes acumulaciones de evaporitas. Al calcular la señal teórica de los modelos de partida se observaron importantes desajustes tanto en la señal magnética como gravimétrica.

Para el ajuste del basamento ha sido necesario elevarlo en algunos sectores, y reducir los saltos de falla en los extremos de los modelos. Para la cobertera el cambio más importante realizado ha sido la introducción de importantes cantidades de anhidrita en la base de los diapiros de los modelos, disminuyendo la cantidad de sal que sugería la interpretación sísmica (fig. 3.). Por otra parte, ha sido necesario modificar la geometría de los límites laterales de algunos de los diapiros interpretados previamente a partir de la información sísmica.

Un aspecto relevante es que la mayor parte de las estructuras diapíricas se localizan por encima de importantes fallas de basamento, que presentan un carácter normal y direccional.

Finalmente, los datos gravimétricos han permitido identificar y definir una estructura diapírica que no había sido interpretada previamente, y que se encuentra situada en el extremo occidental del Modelo 6 (figura 3).

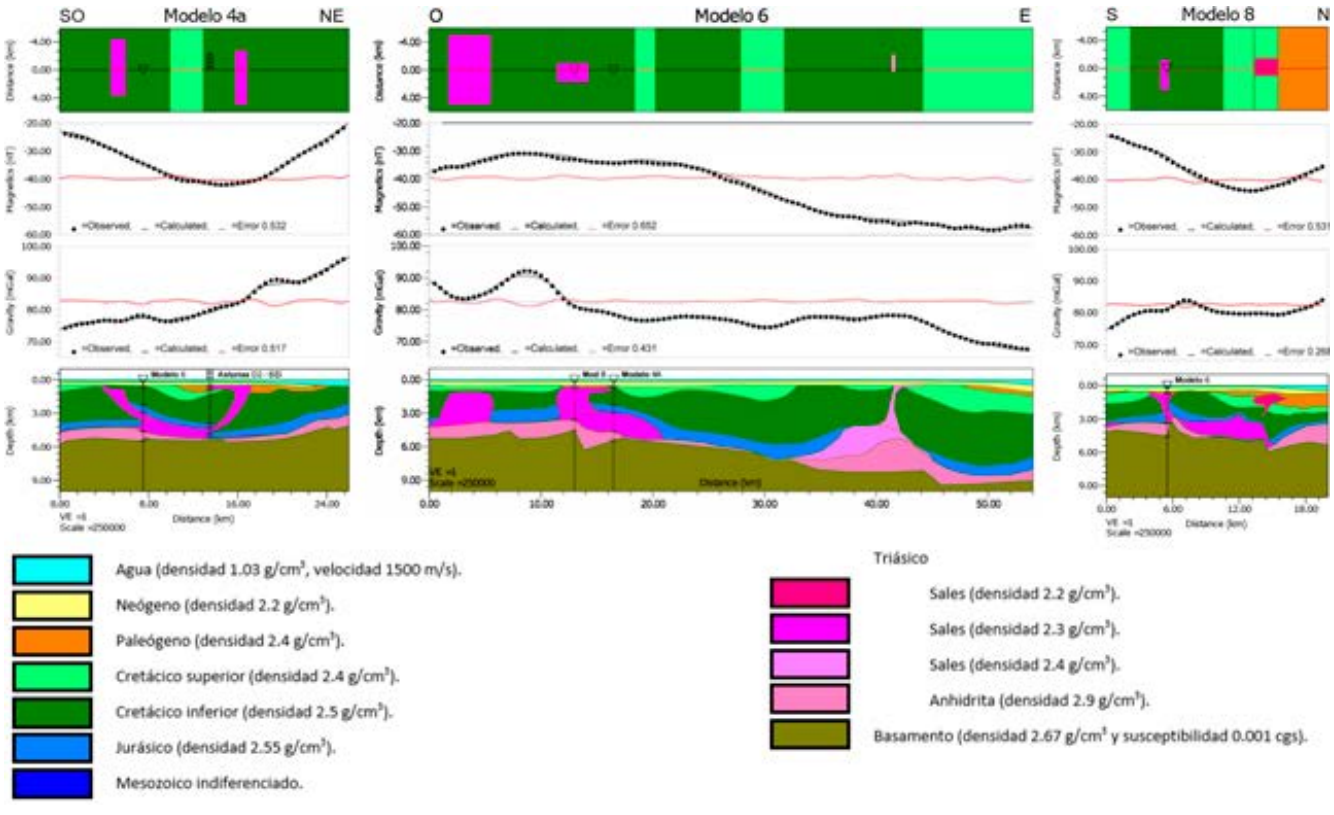


FIGURA 3. Modelos gravimétricos y magnéticos ajustados a las anomalías observadas, según el proceso descrito en el texto. La posición de los mismos se localiza en las figuras 1 y 2.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La utilización y análisis cuantitativo de los datos gravimétricos y magnéticos ha permitido reinterpretar la estructura del sector analizado de la Cuenca de Asturias definido previamente a partir de la interpretación sísmica. La interpretación de los mapas de anomalías y gradientes ha permitido redefinir la estructura del basamento (altos y bajos estructurales) y de la cobertera (altos estructurales, depocentros y diapiros). La presencia de diapiros en la zona de estudio queda reflejada únicamente en la anomalía gravimétrica, mediante mínimos de corta longitud de onda. La mayor parte de las estructuras diapíricas se desarrollan por encima de importantes fracturas de basamento, que además de controlar el espesor de las unidades triásicas, han debido nuclear parte de la deformación compresiva alpina.

El análisis de las anomalías y gradientes magnéticos han permitido definir la geometría del techo del basamento y las estructuras que lo limitan, por debajo de los niveles salinos triásicos. Esta información ha sido fundamental para ajustar mediante gravimetría la estructura de la cobertera. Los modelos GRAV/MAG en 2+3/4D han permitido reinterpretar las líneas sísmicas aportando importantes cambios que van más allá de la presencia o ausencia de sales. Las principales modificaciones deducidas respecto a la interpretación previa son:

a) Ha variado significativamente la profundidad del basamento, especialmente por debajo de las estructuras diapíricas. Esto ha supuesto un reajuste de las unidades suprayacentes de la cobertera.

b) Ha sido necesario incluir niveles de anhidrita (de mayor densidad), que habían sido descritos en los pozos de la cuenca, para ajustar los datos gravimétricos.

c) Los modelos gravimétricos han permitido identificar un diapiro en una de las secciones (modelo 6) que no estaba interpretado previamente.

d) Ha sido necesario definir la geometría de los límites laterales de algunos de los diapiros interpretados previamente a partir de la información sísmica.

Los resultados obtenidos apoyan la utilización de datos GRAV/MAG en el estudio de márgenes con presencia de sales. Estos datos permiten fijar la estructura profunda por debajo de los niveles salinos, lo que supone una mejor definición de los depocentros y de las posibles trampas de interés exploratorio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del Proyecto Fin de Máster del primer autor, y ha sido beneficiado con una beca del programa de ayudas para máster de REPSOL. Este trabajo ha sido financiado por el Programa de Actividades de I+D entre grupos de investigación de la Comunidad de Madrid en tecnologías 2018 CARESOIL–CM (S2013/MAE-2739)

REFERENCIAS

Gallastegui, J., Pulgar, J. A., & Gallart, J. (2002). Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics*, 21(4), 15-1.

Gardner, G. H. F., Gardner, L. W., & Gregory, A. R. (1974). Formation velocity and Density-The diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophysics*, 39(6), 770-780.

Riaza Molina, C. (1996). Inversión estructural en la cuenca mesozoica del off-shore asturiano. Revisión de un modelo exploratorio. *Geogaceta*, 20 (1): 169-171.

Zamora, G., Fleming, M., & Gallastegui, J. (2017). Salt tectonics within the offshore Asturian Basin: North Iberian margin. En: *Permo-Triassic salt provinces of Europe, North Africa and the Atlantic margins*. Elsevier: 353-368.

Interpretación estratigráfica y estructural de la Cuenca de San Pedro (margen sudeste de la República Dominicana).

Stratigraphic and structural interpretation of the San Pedro Basin (south-eastern Dominican Republic offshore margin).

J.M. Gorosabel-Araus[1], J.L. Granja Bruña[1], A. Gallego-Mingo[2], A. Carbó-Gorosabel[1], R. Mas[1], J. Arribas[3], M.E. Arribas[3], S. López-Andrés[3], M.L. Canales[1], A. Rodríguez-Zurrunero[1], R. Reynoso-Villafaña[4], G. Rosario[4], S.J. Muñoz-Tapia[4]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Univ. Complutense, 28040, Madrid. josegoro@ucm.es, jlgranja@ucm.es, carbo@ucm.es, ramonmas@ucm.es, mcanales@ucm.es, arzurrunero@ucm.es,
2 CEPSA S.A., Avda. Castellana, 259A. Torre CEPSA, 28046, Madrid. agallego@cepsa.com
3 Dpto. de Mineralogía y Petrología. Univ. Complutense, 28040, Madrid. earribas@ucm.es, antares@ucm.es, arribas@ucm.es
4 Servicio Geológico Nacional. Avda Wiston Churchill 75, Santo Domingo, República Dominicana. villarey100@gmail.com, gregorio.michel@gmail.com, yuboa@hotmail.com

Resumen: La cuenca de San Pedro (CSP) se define como una depresión batimétrica con tendencia E-O y una extensión aproximada de 6000 km^2, situada en el margen sureste de la isla de La Española (República Dominicana y Haití). Estructuralmente se ubica en la parte trasera del Cinturón Deformado de los Muertos (CDM). Considerada tradicionalmente como una cuenca de edad Mioceno medio, cuyo relleno ha sido depositado en el espacio de configuración generado por la progresiva deformación del CDM. Sin embargo, gracias a la integración de los trabajos de cartografía geológica (Proyectos SYSMIN I y II) con datos de geofísica de subsuelo (sísmica de reflexión, registros de pozo y campos potenciales), ha sido posible proponer un nuevo modelo evolutivo de la cuenca que abarca desde el inicio de la sedimentación en un contexto de retro-arco desde el Cretácico Superior hasta la inversión de la cuenca en el Eoceno medio y la posterior evolución del conjunto CSP-CDM hasta la actualidad, pudiendo correlacionar las principales secuencias estratigráficas y estructuras con los datos de afloramiento y pozo.

Palabras clave: Geofísica, República Dominicana, sísmica, gravimetría, evolución.

Abstract: *The San Pedro Basin (SPB) consists of an E-W bathymetric depression with an extension of 6000 km^2, located in the south-eastern margin of Hispaniola Island (Dominican Republic and Haiti). Structurally, the SPB is situated at the rear zone of the Muertos Thrust Belt (MTB). The basin has been dated as middle Miocene in the bibliography, with the infill deposited in the configuration space generated by the progressive deformation of the MTB. Nevertheless, the integration of the new systematic geological mapping (SYSMIN I&II Programs) with geophysical data (reflection seismic, well logs and potential fields) led us to propose a new evolution model of the basin from the start of sedimentation in Upper Cretaceous in a retro-arc context to the inversion of the basin in middle Eocene and the later evolution of the SPB-MTB system until present, establishing the correlation between main sequences with outcrops and well data.*

Keywords: *Geophysics, Dominican Republic, seismic, gravity, evolution.*

INTRODUCCIÓN

La Cuenca de San Pedro (CSP) es una depresión batimétrica con tendencia E-O localizada en el margen sudeste de la isla de La Española (Fig. 1). La cuenca ocupa un área aproximada de 6000 km^2 con una profundidad media de lámina de agua de 1400 m. Ha sido interpretada en la literatura científica como una cuenca de tipo ante-arco rellena con sedimentos de edad Mioceno medio hasta el Presente (Heubeck *et al.*, 1991). No obstante, se encuentra en la región compresiva de retroarco de las Antillas Mayores orientales, alejada de la verdadera zona de subducción a lo largo de las fosas de La Española y Puerto Rico, dispuesta en la parte trasera de un sistema de retro-cabalgamiento con vergencia sur conocido como el Cinturón Deformado de los Muertos (Granja Bruña *et al.*, 2014). Así mismo, la correlación de unidades estratigráficas es controvertida ya que la nueva cartografía geológica de los Proyectos SYSMIN I y II ha aportado nuevas constricciones estratigráficas y estructurales que ponen en duda los modelos evolutivos establecidos para la cuenca.

A finales de 2013 se desarrolló la campaña geofísica NORCARIBE a bordo del B/O Sarmiento de Gamboa (I.P. Andrés Carbó Gorosabel). En esta campaña se adquirieron datos de sísmica de reflexión 2D en la CSP que han permitido obtener una imagen del subsuelo de la cuenca con una mejora en la relación señal-ruido y la resolución. Los nuevos datos fueron integrados e interpretados en conjunto con los procedentes de los sondeos exploratorios en la isla y el reprocesado de antiguas campañas sísmicas proporcionados por el Banco Nacional de Datos de Hidrocarburos.

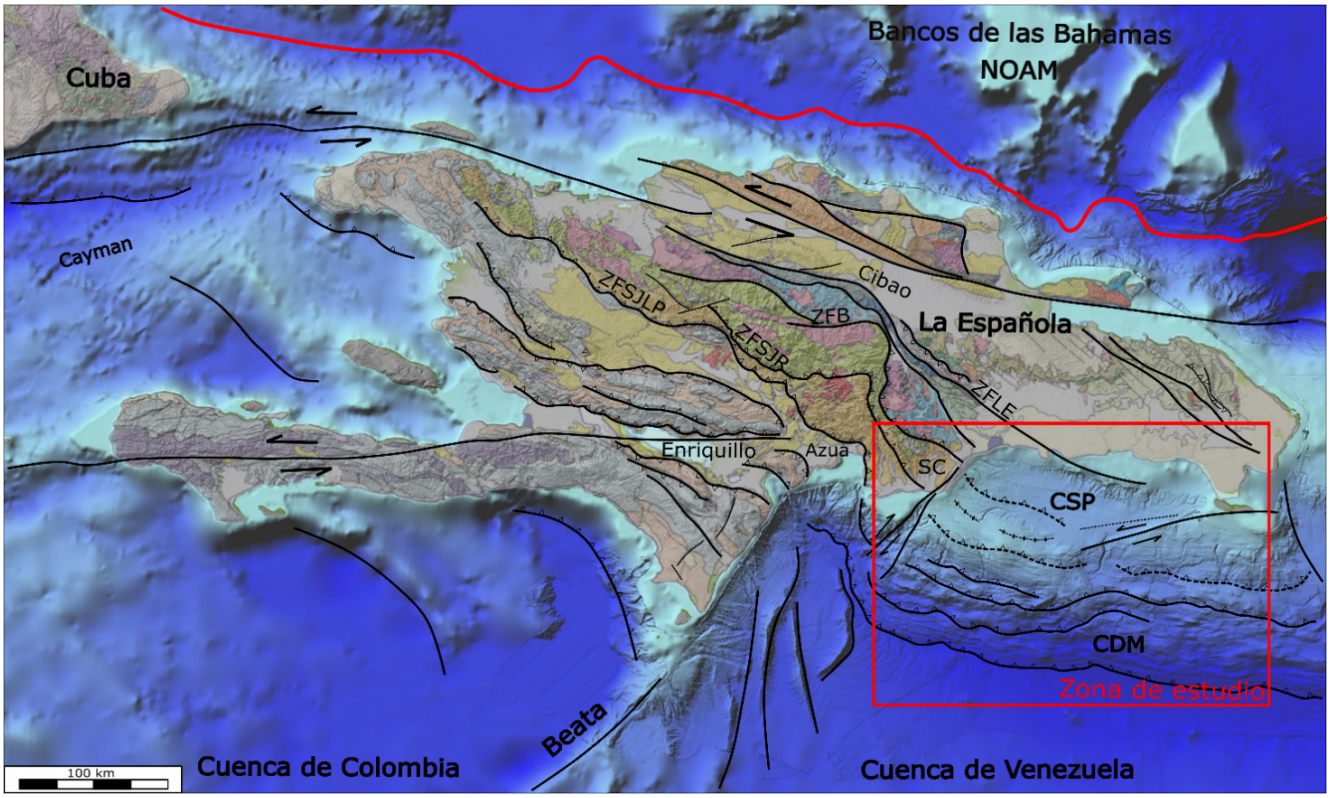


FIGURA 1, Contexto geológico de La Española incluyendo el mapa geológico regional sobre un modelo digital del terreno incluyendo la batimetría de alta resolución de los proyectos CARIBENORTE y NORCARIBE. CSP, Cuenca de San Pedro; CDM, Cinturón deformado de los muertos; SC, San Cristóbal; ZFSJLP, Zona de falla de San Juan – Los Pozos; ZFSJR, Zona de falla de San José Restauración; ZFB, Zona de falla de Bonao; ZFLE, Zona de falla de La Española. Modificado de Gorosabel-Araus *et al.* (2020).

Todo ello ha hecho posible una mejor definición de estructuras y secuencias sedimentarias que nos han permitido proponer un nuevo modelo de evolución tectono-sedimentaria para la CSP, correlacionando las principales secuencias interpretadas con las formaciones descritas en la cartografía geológica y los sondeos exploratorios, mediante el análisis de facies sísmicas.

MARCO GEOLÓGICO

La isla de la Española se encuentra situada en el límite septentrional entre las placas Norte Americana (NOAM) y Caribe (CARIB). Al norte de la isla de La Española se ha producido una subducción/colisión oblicua de la litosfera oceánica de la placa NOAM por debajo de la placa CARIB, según la orientación de 254º (±1º) y con una tasa de 20.0 ± 0.4 mm/año. El proceso generó un arco isla intra-oceánico durante el periodo Cretácico Inferior – Eoceno medio, cuyos materiales constituyen el basamento de las Antillas Mayores (Pérez-Estaún *et al.*, 2007). Como resultado de la convergencia oblicua de placas, los BB colisionan con la región NE de la isla de La Española originando un margen de colisión. Este proceso de colisión, desde su comienzo en el Eoceno ha condicionado todas las características estructurales, sismológicas y sedimentológicas del margen N de la placa CARIB (Mann *et al.*, 2002).

Una de estas características es que al sur de la isla se ha desarrollado un sistema compresivo: el Cinturón Deformado de los Muertos (CDM) y el Surco de los Muertos (SM) con una profundidad media de 5000 m. El sistema CDM-SM ha sido considerado como una zona de subducción incipiente, pero estudios más recientes sugieren un cabalgamiento del arco isla sobre la cuenca de Venezuela (Granja Bruña, 2008). El origen y posterior evolución de la CSP está íntimamente ligado al CDM.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo, se integró e interpretó la información geológica y geofísica procedente de diversas fuentes tratando de generar una base de datos lo más completa posible.

La información geológica proviene de la cartografía sistemática 1:50.000 de los proyectos financiados por la Unión Europea SYSMIN I (1994-2001) y II (2007-2010) y la bibliografía científica, realizando nuevas correlaciones estratigráficas y perfiles geológicos a escala regional de las distintas cuencas de la isla.

Los datos de subsuelo fueron recopilados del Banco Nacional de Datos de Hidrocarburos de la República Dominicana, incluyendo: 71 pozos exploratorios y 805 perfiles de sísmica 2D. De entre toda la información, 10 pozos fueron seleccionados para su análisis post-mortem con relación a su profundidad total, litologías alcanzadas y calidad de los registros. La imagen de subsuelo fue mejorada gracias al

reprocesado de 25 líneas que se integraron a las adquiridas en el proyecto NORCARIBE 2013 y a los levantamientos sistemáticos de batimetría multihaz (Fig. 2) de las campañas CARIBENORTE (2009) y NORCARIBE (2013). La interpretación consistió en la identificación de las principales discordancias de la cuenca seguido del análisis de facies sísmicas y del estudio estructural mediante la plataforma PETREL.

Por último, los datos de gravimetría y magnetismo provienen de fuentes públicas WMAG y Sandwell *et al.* (2014) así como de *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) y del *Bureau Gravimétrique Internationale* (BGI). El procesado, interpretación y modelado se realizaron mediante el software Oasis Montaj.

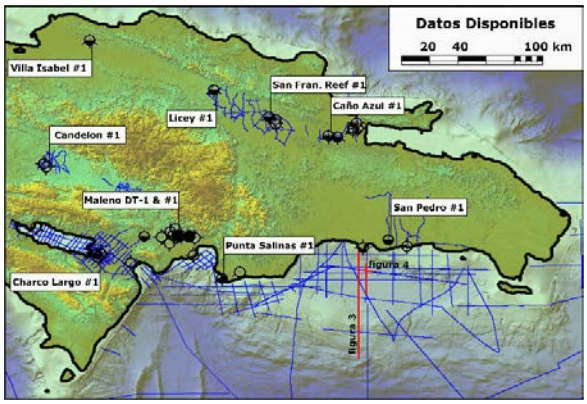


FIGURA 2, Datos disponibles para la realización de este trabajo. Modificado de Gorosabel-Araus *et al.* (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El relleno de la CSP ha sido dividido en 6 mega secuencias sedimentarias separadas por discordancias regionales (Fig. 3). Estos límites son identificables a lo largo de toda la cuenca, tanto en los perfiles longitudinales como transversales. Mediante al estudio de estructuras y facies sísmicas se han establecido los siguientes límites de secuencia: Cretácico Superior, Eoceno Medio, Oligoceno, Mioceno Medio y Mioceno Superior, que son correlacionados con las principales discordancias y secuencias sedimentarias propuestas en la bibliografía (Biju-Duval *et al.*, 1982; Heubeck *et al.*, 1991; Pérez-Varela *et al.*, 2010; Abad *et al.*, 2010).

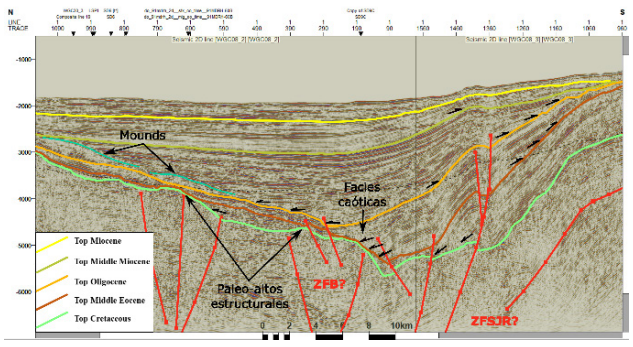


FIGURA 3, Perfil WGC-08 interpretado, modificado de Gorosabel-Araus *et al.* (2020). Posición en fig. 2.

La secuencia cretácica, calada con el pozo San Pedro #1, consiste en una sucesión de reflectores plano-paralelos de amplitud media-alta que se han correlacionado con los depósitos de cuenca profunda de la formación Las Palmas (Pérez-Varela *et al.*, 2010). El resto de las secuencias cenozoicas están discordantes sobre ella.

La secuencia Paleoceno – Eoceno Medio se compone de una serie de reflectores plano-paralelos con alta continuidad lateral que se correlacionan con las facies profundas del Grupo Peralta, expuesto a lo largo del CDM y alcanzado en los pozos Punta Salinas #1 y Candelon #1.

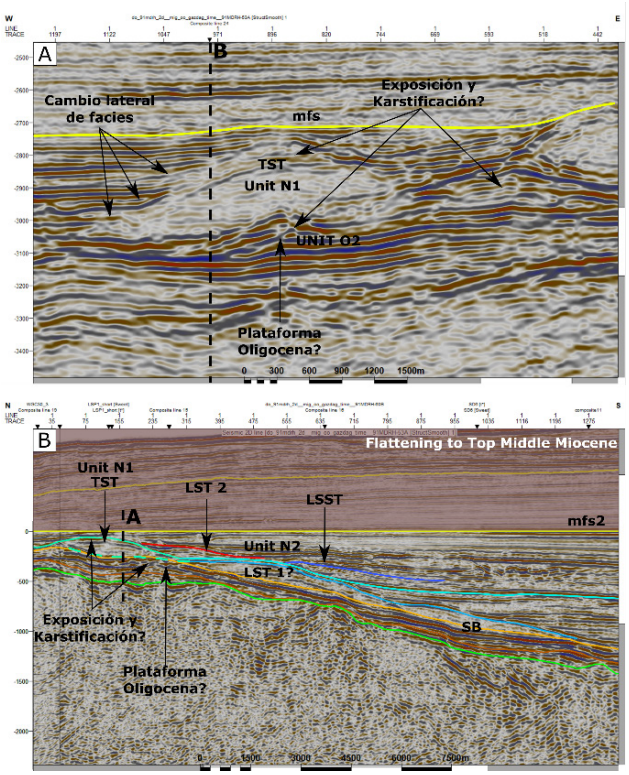


FIGURA. 4, Interpretación sísmica de los ciclos de transgresión - regresión de una rampa carbonática en términos de estratigrafía secuencial. A, sección transversal. B, sección longitudinal. Posición en fig. 2. Modificado de Gorosabel-Araus *et al.* (2020)

La interpretación conjunta de la sísmica (Fig. 3) y los mapas de anomalías magnéticas (Fig. 5) pronostican la presencia de altos de basamento interpretados como paleo-altos estructurales sobre los cuales se habrían depositado facies someras. Ejemplo de ello es la interpretación de una rampa carbonática para el periodo Oligoceno – Mioceno (Fig. 4). El *flattening* del horizonte del Mioceno Medio (Fig. 4B), junto al análisis de las facies sísmicas, ha permitido interpretar ciclos transgresivos – regresivos dentro de una secuencia general transgresiva marcada por una arquitectura de *back-stepping*. Estas variaciones relativas del nivel del mar son observadas en niveles progradantes que coincidirían temporalmente con la potencial exposición y karstificación de las plataformas anteriores (Fig. 4A). Ciclos transgresivos – regresivos de similares características han sido descritos en tierra, como las superficies transgresivas

que se han observado en la región de San Cristóbal (Abad *et al.*, 2010), los carbonatos del pozo Caño Azul #1 en el norte de la isla o descritos en el margen sur de Puerto Rico para el Oligoceno – Mioceno Medio (Frost *et al.*, 1983).

Bordeando los paleo-altos, se interpretan facies distales representadas por reflectores plano-paralelos con amplitud alta donde se diferencian facies caóticas y de estructura *hummocky*, que dominan el registro en las regiones cercanas a las principales estructuras (Fig. 5). Esto se interpreta como niveles desorganizados que se correlacionan con las formaciones El Limonal y Ocoa, descritas en la región de San Cristóbal. Dichas formaciones consisten en una sucesión de conglomerados y areniscas que pasas a una alternancia rítmica de margas y areniscas turbidíticas con intercalaciones de calcarenitas y conglomerados con olistolitos, cuyo deposito se interpreta como consecuencia de la inversión de la cuenca desde el Eoceno medio (Heubeck *et al.*, 1991; Pérez-Varela *et al.*, 2010).

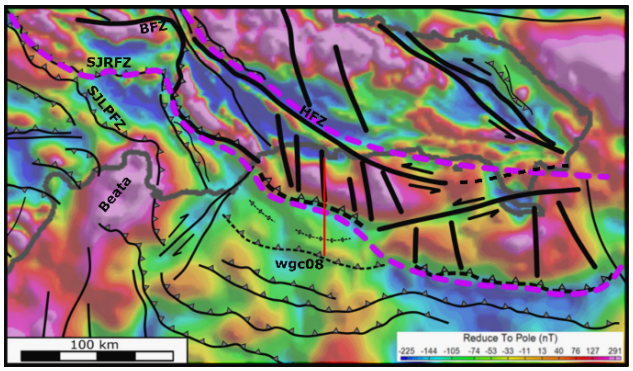


FIGURA. 5, Mapa de anomalías magnéticas reducido a polo. Los máximos relativos observados en la cuenca se interpretan como altos de basamento. En rojo, posición del perfil WGC08 interpretado en la fig. 3. Modificado de Gorosabel-Araus *et al.* (2020)

CONCLUSIONES

La interpretación conjunta de la sísmica de reflexión, la cartografía geológica, los pozos exploratorios y las anomalías magnéticas ha permitido establecer una nueva interpretación del relleno sedimentario y la estructura de la Cuenca de San Pedro, identificado las discordancias del Cretácico Superior (identificada en el pozo San Pedro #1), Eoceno medio, Oligoceno, Mioceno medio y Mioceno superior.

Mediante el análisis estructural y de facies sísmicas, se ha establecido la correlación de las principales secuencias de la cuenca con las formaciones descritas en la cartografía geológica en la región de San Cristóbal y los sondeos exploratorios. Así, se han identificado las facies profundas del periodo Cretácico – Eoceno, el desarrollo y evolución de una rampa carbonática de edad Oligoceno – Mioceno, o las facies caóticas relativas a los depósitos sin-tectónicos producto de la inversión de la cuenca desde el Eoceno medio.

REFERENCIAS

Abad M. F. (2010). Memoria de la hoja geológica 6170-I (Nizao) correspondiente a la cartografía geológica 1:50,00 de la República Dominicana. Proyecto SYSMIN. Ministerio de Energía y Minas.

Biju-Duval, B., Bizon, G., Mascle, A., y Muller, C. (1982). Active margin processes; field observations in southern Hispaniola. *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem*. 34, 325–344.

Frost S.H., Harbour J.L., Beach D.K., Realini M.J., y Harris P.M. (1983). Oligocene reef tract development southwestern Puerto Rico. Sedimenta IX. The comparative Sedimentology Laboratory, Division of Marine Geology and Geophysics, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric science, Miami, 141 pp.

Gorosabel-Araus J.M., Granja-Bruña J.L., Gallego-Mingo A., Gómez de la Peña L., Rodríguez-Zurrunero A., Mas R., Carbó-Gorosabel A., Navarro-y Comet J. (2020). New constraints on the tectono-sedimentary evolution of the San Pedro Basin (South-Eastern Dominican Republic): Implications for its hydrocarbon potential, in Davidson, I., Hull, J.N.F., Pindell, J. (Eds.) The Basins, Orogens and Evolution of the Southern Gulf of Mexico and Northern Caribbean. Geological Society of London, Special Publications, 504, https://doi.org/10.1144/SP504-2019-224

Granja Bruña J.L. (2008): Geodinámica del borde sur de las Antillas Mayores Orientales. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 315 pp.

Granja Bruña J.L., Carbó-Gorosabel, A. Llanes Estrada, P. Muñoz-Martín, A. ten Brink, U. Gómez Ballesteros, M. Druet, M. y Pazos, A. (2014). Morphostructure at the junction between the Beata ridge and the Greater Antilles island arc (offshore Hispaniola southern slope). *Tectonophysics* 618 (2014) 138–163.

Heubeck, C. y Mann, P. (1991). Structural geology and Cenozoic tectonic history of the southeastern termination of the Cordillera Central, Dominican Republic. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 262, 315–336.

Mann, P., Calais, E., Ruegg, J-C., DeMets, C., y Jansma, P.E. (2002). Oblique collision in the north-eastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. *Tectonics* 2(6): 1057, doi:10.1029/2001TC0011304.

Pérez-Estaún, A., Hernaiz Huerta, P. P., Lopera, E., Joubert, M., Escuder-Viruete, J., Diaz de Neira, A., Monthel, J., García-Senz, J., Ubrien, P., Contreras, P., Bernárdez, E., Stein, G., Deschamps, I., García-Lobón, J. L., y Ayala, C. (2007). Geología de la República Dominicana: de la construcción de arco-isla a la colisión arco-continente. *Boletín Geológico y Minero*, 188(2):157-174.

Pérez-Varela, F. (2010). Memoria de la hoja geológica 6170-IV (Baní) correspondiente a la cartografía geológica 1:50,00 de la República Dominicana. Proyecto SYSMIN. Ministerio de Energía y Minas.

La gravimetría como herramienta para la cartografía de dominios tectónicos en márgenes continentales hiperextendidos

Gravimetry as a tool for mapping tectonic domains in hyperextended continental margins

C. Granado[1], A. Muñoz-Martín[1], A.J. Olaiz[2], O. Fernández[2], M. Druet[3]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Facultad de CC Geológicas (Univ. Complutense), c/ Jose Antonio Novais, 12, 28040 – Madrid (España). crgranad@ucm.es

2 Repsol, Exploration Technical Service. C/ Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid (España).

3 Instituto Geológico y Minero de España, Área de Geología del Subsuelo y Modelización Geológica 3D. C/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos (España). m.druet@igme.es

Palabras clave: gravimetry, hyperextended margins, tectonic domains, western Iberia margin.

Resumen

Los márgenes hiperextendidos presentan una gran heterogeneidad transversal y longitudinal, por lo que la definición de dominios tectónicos realizadas exclusivamente a partir de secciones sísmicas 2D presenta limitaciones. En este trabajo se analizan y comparan los diferentes dominios tectónicos en este tipo de márgenes desde el punto de vista de su señal gravimétrica. Para ello se han calculado mapas de gradiente total horizontal y gradiente vertical de anomalía de Bouguer, y se han comparado con otros parámetros como son la estructura de la corteza y el factor de estiramiento cortical (γ). Este análisis se ha realizado en una sección propuesta como modelo para el Margen Occidental Ibérico (Perón-Pinvidic *et al.*, 2013; Tugend *et al.*, 2014; Cadenas *et al.*, 2015), y en cuatro modelos gravimétricos 2+1/2D de escala litosférica en el margen Occidental Ibérico, constreñidos con datos de pozos y secciones sísmicas profundas. Los resultados muestran una variación significativa en los valores absolutos de anomalía de Bouguer, del factor de estiramiento (γ) y de estructura cortical a lo largo del margen y, por tanto, de la posición de los límites entre los diferentes dominios. Sin embargo, las zonas de "necking" y de transición al dominio hiperextendido se caracterizan en todos los modelos por unos elevados valores de Gradiente Total Horizontal en la anomalía de Bouguer. Este hecho permite la cartografía de los límites entre diferentes dominios tectónicos a lo largo del margen en todas aquellas áreas sin información sísmica profunda de una manera más objetiva y realista.

Abstract

Geometry of hyperextended margins are very heterogeneous, so the definition of tectonic domains made exclusively from 2D seismic sections presents limitations. In this work the different tectonic domains in this type of margins are analysed and compared from the point of view of their gravity signal. Thus, maps of total horizontal gradient and vertical gradient of Bouguer anomaly have been calculated and compared with other parameters such as the crustal structure and stretching factor (γ). This analysis has been carried out in a cross-section already published and proposed as a model for the Iberian Western Margin (Perón-Pinvidic et al., 2013; Tugend et al., 2014; Cadenas et al., 2015), and in four lithospheric scale 2+1/2D gravimetric models, constrained by wells-data and deep seismic sections. Obtained results show a significative variation in the absolute values of Bouguer anomaly, thinning factor and cortical structure along the margin and, therefore, of the position of the different domains boundaries. However, "necking" zones, and its transition to the hyperextended domain are characterized in all models by high Bouguer anomaly Total Horizontal Gradient values. This fact allows the mapping of the boundaries between different tectonic domains along the margin in all those areas in the absence of deep seismic information in a more objective and realistic way.

Referencias

Cadenas, P., Fernández-Viejo, G., Pulgar, J. A., Tugend, J., Manatschal, G. and Minshull, T. A. (2018). *Tectonics*, 37, 758–785. DOI: 10.1002/2016TC004454

Tugend, J., G. Manatschal, N. J. Kusznir, E. Masini, G. Mohn, and I. Thinon (2014). *Tectonics*, 33. DOI: 10.1002/2014TC003529.

Péron-Pinvidic, G., G. Manatschal, and P. T. Osmundsen (2013). *Marine and Petroleum Geology*, 43: 21-47. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.02.002

Cabalgamiento retro-arco vs. subducción verdadera en el margen de los Muertos (noreste del Caribe): Observaciones a partir de modelos de sísmica de gran ángulo y gravimetría.

Retro-arc thrusting vs. true subduction along Muertos margin (northeast Caribbean): Insights from wide-angle seismic and gravity modeling.

J.L. Granja-Bruña[1], P. Llanes Estrada[1], U.S. ten Brink[2], A. Pazos[3], J.M. Gorosabel-Araus[1], A. Rodríguez-Zurrunero[1], M. Druet[4,1], C. Flores[2], A. Carbó-Gorosabel[1], J. Martín Dávila[3]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Univ. Complutense, 28040, Madrid. jlgranja@ucm.es, pllanes@ucm.es, josegoro@ucm.es, arzurrunero@ucm.es, amunoz@ucm.es, carbo@ucm.es.
2 United States Geological Survey, Woods Hole, MA 02543, USA. utenbrink@usgs.gov, cflores@usgs.gov.
3 Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando, Cádiz, Spain. pazos@roa.es, mcatalan@roa.es, mdavila@roa.es.
4 Instituto Geológico y Minero de España, Tres Cantos, Madrid. Spain. m.druet@igme.es

Palabras clave: Placa del Caribe, La Española, subducción, cabalgamiento retro-arco, modelación geofísica.

Resumen

La zona de Wadati-Benioff difusa debajo del arco-isla de las Antillas Mayores orientales se ha interpretado clásicamente como una doble subducción, sugiriendo la subducción hacia el norte del plateau Caribeño en el margen compresivo de los Muertos. Sin embargo, los datos sismotectónicos y estructurales junto con el modelado análogo en caja de arena cuestionan esta hipótesis. Con el fin de discriminar entre un escenario de subducción o no, se ha llevado a cabo el estudio de la estructura profunda del margen de los Muertos mediante un modelado geofísico 2D combinado a partir de datos de sísmica de gran-ángulo y de datos gravimétricos adquiridos en el sur de La Española. Los modelos ajustados muestran un gradiente lateral significativo de Vp en la corteza media-superior a unos 40 km al norte del frente de deformación compresivo que se interpreta como el límite entre las cortezas oceánica del Caribe y del arco-isla. Los modelos descartan la existencia de un bloque de corteza oceánica caribeña hundiéndose en el manto superior debajo del arco-isla de las Antillas Mayores como sería esperable en una verdadera zona de subducción. La estructura cortical en el margen de los Muertos se puede entender con un modelo de retro-cabalgamiento tras-arco, en el cual la corteza de arco-isla cabalga sobre la corteza oceánica engrosada del interior de la placa del Caribe.

Abstract

The diffuse Wadati-Benioff zone under the eastern Greater Antilles island arc has been classically interpreted as a double subduction, with a north-dipping Caribbean plateau slab subducting along the compressive Muertos margin. However, seismotectonic and structural data together with sand box analogue modeling question the hypothesized subduction. In order to discriminate between a subduction scenario or not, it was approached the study of the deep structure of the Muertos margin from a combined 2D forward modeling from wide-angle seismic and gravity data acquired south Hispaniola. Adjusted models show a significant across-strike change in crustal p-wave velocity of the upper-middle crust at ~40 km northward from the compressive deformation front that is interpreted to be the boundary between the island arc and the Caribbean oceanic crusts. Overall, geophysical models reject the existence of a Caribbean oceanic plateau sunk into the upper mantle beneath the Muertos margin as would be expected from a true subduction zone. The crustal structure of the Muertos margin can be understood as a retro-arc thrusting, where the island arc crust thrusts over the thick oceanic crust of the Caribbean plate's interior.

Análisis de los mapas de anomalías gravimétricas y geomagnéticas de las campañas geofísicas marinas BRAVOSEIS 2019-2020 (Cuenca Central del Bransfield, Antártida)

Analysis of the gravity and geomagnetic anomaly maps of the BRAVOSEIS 2019-2020 marine geophysical cruises (Central Bransfield Basin, Antarctica)

J.L. Granja-Bruña[1], D. Martín-Jiménez[2], F. Fernández-Sáez[2], L. Vizcaíno[2], T. Teixidó[2], D. Soule[3], J. Almendros[2], W. Wilcock[4]

1 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Dpto. GEODESPAL. Univ. Complutense, 28040, Madrid. jlgranja@ucm.es
2 Univ. de Granada. diegolas878@hotmail.com, ffdezsaez@gmail.com, luis_vizcaino@hotmail.com, tteixido@ugr.es, vikingo@ugr.es
3 Queens College, City University of New York. USA. dax.soule@qc.cuny.edu
4 University of Washington. USA. wilcock@uw.edu

Palabras clave: Antártida, Estrecho del Bransfield, anomalía gravimétrica, anomalía geomagnética.

Resumen

La Cuenca Central del Bransfield muestra una cadena de edificios volcánicos asociados a un centro de expansión trasarco activo. En el marco del proyecto anfibio BRAVOSEIS (CTM2016-77315-R), se llevaron a cabo dos campañas a bordo de los R/V Sarmiento de Gamboa (2019) y Hespérides (2020) (Almendros *et al.*, 2020). La adquisición de datos consistió en sísmica 2D MCS, grav-mag, sísmica de alta resolución y batimetría multihaz. Las anomalías Bouguer Completa (BC) y geomagnética reducida al polo (RTP) son diferentes en los edificios volcánicos de Orca y Jorobado. Esta diferencia se puede atribuir a un mayor espesor cortical en el edificio Jorobado como resultado de una menor extensión acumulada. Las anomalías RTP muestran un máximo positivo en el eje del rift neovolcánico. En Orca el máximo está centrado en la caldera y en Jorobado está sobre una cresta volcánica que atraviesa la caldera. Estas diferencias de anomalía RTP se pueden atribuir a una alternancia de etapas de volcanismo tipo fisural y caldera. Los mapas de anomalías de resolución mejorada permiten asociar las anomalías locales a pequeñas estructuras de origen volcánico. Este trabajo está en curso y los trabajos futuros incluirán la integración con datos regionales y modelación 2D/3D constreñida con datos sísmicos

Abstract

The Central Bransfield Basin shows a chain of submerged volcanic edifices developed along an active segmented back-arc spreading center. Into the BRAVOSEIS (CTM2016-77315-R) amphibious project, in 2019 and 2020, two marine geophysical cruises were carried out onboard the R/V Sarmiento de Gamboa and Hesperides, respectively (Almendros et al., 2020). Data acquisition consisted in 2D MCS seismic, grav-mag, high-res seismic and swath bathymetry data. Complete Bouguer (BC) and Reduced-to-Pole (RTP) anomalies are different between the volcanic edifices of Orca and Humpback. CB anomaly differences could be partially attributed to variations in crustal thickness. In this sense, the crust in the Humpback is thicker because of less amount of backarc extension. Positive RTP anomalies define a sinuous elongated maximum along the neovolcanic rift. Maximum RTP anomalies are centered over the Orca caldera but in the case of the Humpback edifice they are located along the ridge cross-cutting the caldera. These different RTP anomalies could be attributed to distinct stages of fissure and caldera volcanism. High-resolution anomaly maps allow to associate local anomalies to smaller structures along the neovolcanic zone. Future works will integrate regional datasets, and 2D/3D grav-mag modeling constrained with seismic data.

Referencias

Almendros, J., *et al.* (2020). J. S. Am. Earth Sci. 104, 102834. doi:10.1016/j.jsames.2020.102834

Estimación de las direcciones recientes del esfuerzo máximo en la horizontal (SH) en el Golfo de Cádiz a partir del análisis morfológico y de la distribución de los volcanes de fango

Recent maximum horizontal stress (SH) estimation in the Gulf of Cadiz from the morphological and the distribution analysis of mud volcanoes

A. Maestro[1], F. Bohoyo[1], R. Corral[2] y M. Druet[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. a.maestro@igme.es; f.bohoyo@igme.es; m.druet@igme.es
2 Universidad Autónoma de Madrid. Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid. ruben.corral.95@gmail.com

Resumen:

Se ha determinado la existencia de numerosos volcanes de fango con morfologías en planta circular a sub-circular en el Golfo de Cádiz. El desarrollo de volcanes de fango está relacionado con la migración de fluidos y sedimentos a través de discontinuidades, desde una unidad profunda presurizada hasta llegar al fondo del mar. Los volcanes se localizan en el interior de una cuña tecto-sedimentaria denominada 'Cuña Acrecional del Golfo de Cádiz', desarrollada debido la convergencia de las placas de África y Eurasia y la migración hacia el oeste del Arco Bético-Rifeño. Estos relieves son más frecuentes en cuatro sectores: i) Marroquí; ii) Dorsal Diapírica del Guadalquivir; iii) TASYO; y iv) Profundo Sud-portugués. El análisis estadístico de la distribución a escala regional y la forma de los volcanes de fango proporcionan nueva información sobre el estado de esfuerzos actual. A partir del análisis morfológico de los edificios volcánicos se ha podido determinar dos direcciones principales del esfuerzo máximo en la horizontal (S_H) N132E y N149E, así como tres direcciones secundarias de orientación N050E, N090E y N175E. El análisis de las alineaciones de los volcanes indica dos direcciones principales, N125E y N150E, y dos orientaciones secundarias, N070E y N095E.

Palabras clave: alineaciones volcánicas, campo de esfuerzos, esfuerzo máximo en la horizontal, Golfo de Cádiz, volcanes de fango elongados.

Abstract:

The existence of several mud volcanoes with circular to sub-circular shape in the Gulf of Cadiz has been determined. The development of mud volcanoes is related to fluids and sediments migration through discontinuities, from a pressurized deep unit until reaching the sea-bottom. They are located in a tecto-sedimentary wedge named 'Accretionary Wedge of the Gulf of Cadiz' formed by African-Eurasian convergence and the westward Betic-Rifean Arc. They are most frequent in four sectors: the Moroccan, the Guadalquivir Diapiric Ridge, the TASYO and Deep South Portuguese fields. Statistical analysis of the regional-scale distribution and shape of the mud volcanoes provides new information about present-day stress filed. The volcano strain indicators show a robust recent direction of two main regional maximum horizontal stress (S_H) striking N132E and N149E to N160E, as well as a three secondary stress field with a N050E, N090E and N175E to N045E trends. The analysis of mud volcano alignments indicates two main trends, N125E and N150E, and two secondary orientations, N070E and N095E.

Keywords: *volcanic alignments, field stress, maximum horizontal stress, Gulf of Cadiz, elongated mud volcanoes.*

INTRODUCCIÓN

Las estructuras más importantes observadas en el fondo marino relacionadas con las emisiones de fluidos son los volcanes de fango y los *pockmarks*. El desarrollo de los volcanes de fango es muy similar al de los volcanes de origen ígneo, aunque existen importantes diferencias en su tamaño, debido fundamentalmente al tipo de material expulsado. Los factores que controlan la expulsión de fluidos y la morfología de los conos es similar en ambos casos. La migración del magma en los volcanes ígneos está controlada por variaciones en el campo de esfuerzos relacionada con procesos tectónicos (*e.g.*, Delaney *et al.*, 1986). Además, se ha demostrado que algunas morfologías volcánicas ígneas elongadas muestran una orientación preferente consistente con la dirección del campo de esfuerzos. De este modo, la geometría y morfología de los edificios volcánicos reflejan el campo de esfuerzos regional, o está estrechamente relacionada con la cámara magmática, la cual tiende a desarrollarse paralela a la dirección

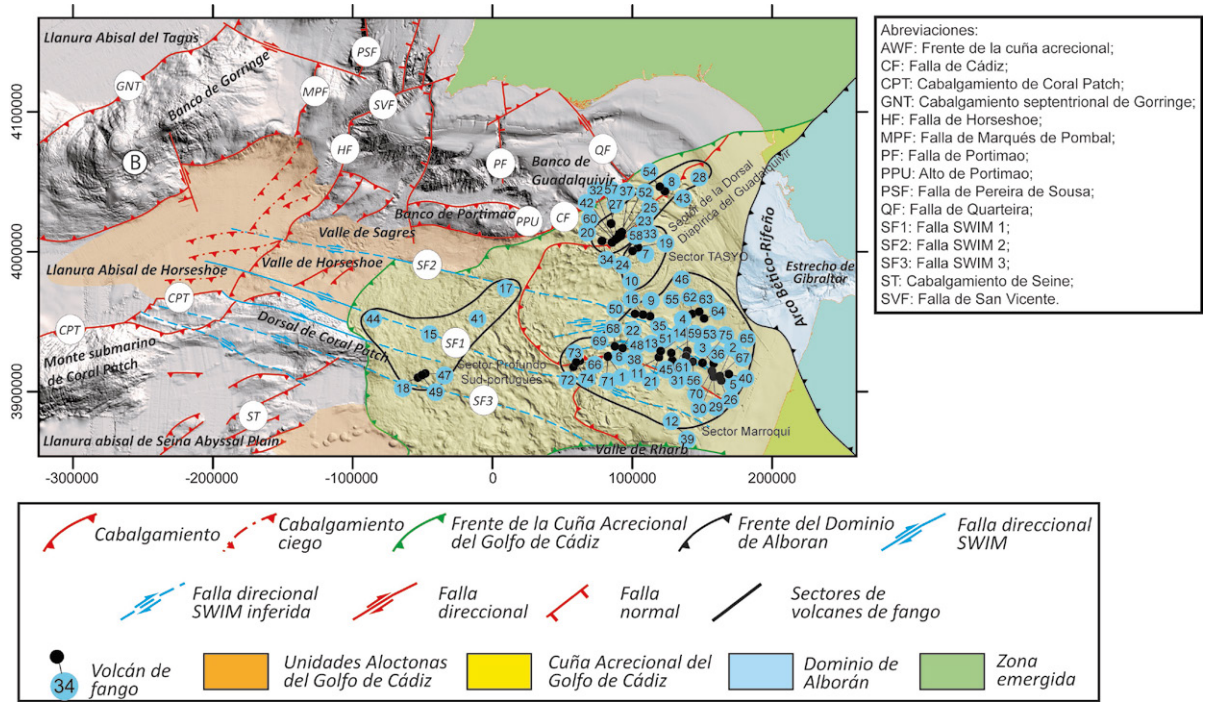


FIGURA 1. Contexto tectónico de la zona de estudio en el Golfo de Cádiz y localización de los volcanes de fango analizados en este trabajo.

del esfuerzo mínimo en la horizontal (S_h) (*e.g.*, Holohan *et al.*, 2005): i) la elongación y alineación de los edificios volcánicos es normalmente paralela al esfuerzo máximo en la horizontal (S_H) (Nakamura, 1977); ii) las calderas ígneas elípticas tienden a elongarse en la misma dirección de Sh, y además, en el marco de un régimen compresivo, el eje corto de la caldera se dispone paralelo a S_H (Holohan *et al.*, 2005).

La existencia de volcanes de fango en el Golfo de Cádiz ha sido descrita y analizada por numerosos autores desde el año 2000 (*e.g.*, Ivanov *et al.*, 2000). Los volcanes de fango se concentran fundamentalmente en varios sectores (Fig. 1): i) el Sector Marroquí, en las proximidades del Margen Marroquí del Golfo de Cádiz; ii) los sectores de TASYO y de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir, en los márgenes de España y Portugal; y iii) el Sector Profundo Sud-portugués en la parte frontal de la Cuña Acrecional del Golfo de Cádiz. Hasta este momento, en el Golfo de Cádiz se ha determinado la existencia de 75 volcanes de fango (Fig. 1).

El propósito de este trabajo es establecer las direcciones recientes del esfuerzo máximo en la horizontal (S_H) en el Golfo de Cádiz, a partir del análisis morfológico y de distribución de los volcanes de fango.

MARCO GEOLÓGICO

La colisión del Bloque de Alborán con los sectores meridional y septentrional de Iberia y África respectivamente, debido a su desplazamiento hacia el oeste en relación a la convergencia entre las placas de Iberia y África, ha determinado la evolución geodinámica y tectónica del Golfo de Cádiz. Durante el Oligoceno medio y hasta el Mioceno superior, la convergencia presenta una orientación N-S, que pasa a ser NO-SE desde el Mioceno superior a la actualidad, con una tasa de desplazamiento de 4-5 mm/a (*e.g.*, Dewey *et al.*, 1989).

La colisión del Dominio de Alborán hacia el oeste con los márgenes ibérico y africano dio lugar al desarrollo del Arco Bético-Rifeño, que provocó el emplazamiento radial de un apilamiento de cabalgamientos vergentes al oeste. Esta unidad es conocida como Cuña Acrecional del Golfo de Cádiz (CAGC) (Fig. 1), la cual ocupa una gran extensión dentro del Golfo de Cádiz, limitando al norte con la parte meridional de la Cuenca del Guadalquivir, al sur con el sector septentrional de la Cuenca de Rharb, y al oeste con los valles de Sagres y Horseshoe, la Dorsal de Coral Patch y la Llanura Abisal de Seina (Fig. 1). El límite entre la CAGC y la Cuenca del Guadalquivir está controlado por la Falla de Cádiz, de dirección NE-SO (Fig. 1). La CAGC tiene un espesor de aproximadamente 2,75 km, consistente en una mezcla de unidades sedimentarias mesozoicas y cenozoicas, las cuales se superponen a las unidades del basamento paleozoico (Maldonado *et al.*, 1999). Constituye una masa masiva de margas plásticas del Mioceno inferior-medio y unidades salinas Triásicas. Su estructura interna está caracterizada por la presencia de cabalgamientos imbricados de bajo ángulo vergentes al oeste afectados por procesos de colapso gravitacional en la zona proximal de la cuña sedimentaria, los cuales se desarrollan posteriormente a su avance (*e.g.*, Maldonado *et al.*, 1999). Se estima que la edad del emplazamiento de la CAGC es Tortoniense tardío (*e.g.*, Maldonado *et al.*, 1999), y se reactiva posteriormente en el Mioceno superior hasta la actualidad en relación a la convergencia de dirección NO-SE entre las placas de Iberia y África, con una tasa media de desplazamiento actual de 4-5 mm (*e.g.*, Palano *et al.*, 2015).

METODOLOGÍA

Se cartografió la morfología en planta de los edificios de los volcanes de fango a partir de los Modelos Digitales Batimétricos (MDB) procedentes de trabajos de investigación (ver Maestro *et al.*, 2019), bases de datos públicas como EMODnet y SWIM, y datos obtenidos en el marco de los proyectos de investigación TASYO y CONTOURIBER. Una vez realizada su cartografía se calculó las relaciones axiales de cada uno de los edificios. A partir de esta información, se utilizó la clasificación propuesta por Bonini y Mazzarini (2010), donde se consideran dos parámetros para definir el Índice de Fiabilidad (IF) (A> B> C> D): el índice de forma del edificio volcánico (VSI=longitud del eje mayor/longitud del eje menor); y la longitud del eje mayor del edificio volcánico (LVA).

Por otro lado, para establecer las alineaciones de volcanes de fango, se siguió el procedimiento propuesto por Paulse y Wilson (2010) para alineaciones de edificios volcánicos ígneos. Este método se basa en el hecho de que las alineaciones de edificios volcánicos tienen la misma orientación que los diques a través de los que circula el magma a la superficie, y que SH (Nakamura, 1977; Delaney *et al.*, 1986). Las alineaciones se establecieron de modo visual desde el ápice de los edificios volcánicos cartografiados a partir del MDB, y teniendo en cuenta criterios geológicos basados en la orientación de las principales estructuras tectónicas con reflejo en la superficie del fondo marino. Del mismo modo que para el análisis individual de los edificios volcánicos, se estableció también un IF aplicando los criterios propuestos por Paulsen y Wilson (2010) y Bonini y Mazzarini (2010), con algunas modificaciones (ver Maestro *et al.*, 2019). A partir de este IF se clasificaron las alineaciones en cuatro grupos (A> B> C> D).

4. RESULTADOS

4.1. Volcanes de fango elongados

El estudio morfológico de los edificios se llevó a cabo sobre 54 volcanes de fango, aquellos sobre los que se disponía de una detallada información batimétrica y suficiente información bibliográfica. Se analizaron 2 edificios volcánicos del Sector Profundo Sud-portugués, 8 del Sector de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir, 39 del Sector Marroquí, y 5 del Sector TASYO. Los edificios volcánicos de cada sector se caracterizan por los siguientes valores de los parámetros analizados:

i) Los volcanes de fango del Sector Profundo Sud-portugués tienen un valor de VSI que varía entre 1,1 y 1,2. Los valores de LVA están entre 346 y 2590 m, con una orientación media N130E. Los edificios volcánicos se localizan a una profundidad entre los 2306 y 3174 m, con una altura que varía entre los 110 y 105 m, desde su base a su ápice. La superficie que cubre la base de los conos volcánicos oscila entre los 0,2 y 17,7 km^2.

ii) Los volcanes del Sector de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir presentan un valor de VSI entre 1,2 y 2,1 y el valor de LVA varía entre 667 y 2820 m, con un valor modal de 2000 m. La orientación de LVA oscila entre N030E a N138E. Los edificios volcánicos se localizan a profundidades entre 495 y 1115 m, y presentan alturas entre 23 y 169 m. La superficie que cubre la base de los edificios volcánicos varía entre los 0,1 and 13,4 km^2.

iii) Los volcanes de fango del Sector Marroquí presentan valores de VSI entre 1,1 y 2,6. El valor de LVA varía entre los 649 y 7140 m, con dos valores modales en 700 y 1500 m. La orientación de LVA varía entre N005E y N177E. Los edificios volcánicos están localizados a profundidades entre 342 y 1977 m, y su altura está comprendida entre 19 y 210 m. La superficie que cubre la base de los conos volcánicos oscila entre los 0,1 y 120,4 km^2.

iv) Los volcanes de fango del Sector TASYO presentan valores de VSI entre 1,2 y 1,8 y valores de LVA entre 1347 y 3750 m, con una orientación que varía entre N001E y N174E. Los edificios volcánicos están localizados a profundidades entre 923 y 1150 m, con alturas entre 29 y 231 m. La superficie que cubre la base de los edificios volcánicos varía entre los 4,5 y los 24,9 km^2.

Tras aplicar el IF en los 54 edificios analizados, 8 corresponden a la clase A, 5 a la clase B, 31 a la clase C y 4 a la clase D. Seis volcanes de fango han quedado fuera de las categorías establecidas. Para el análisis de orientaciones solo se han considerado los edificios volcánicos que se encontraban entre las clases A a la C. Estos edificios presentan predominantemente una orientación del eje mayor N130E. Se observa también tres direcciones secundarias, N050E, N090E y N177E.

4.2. Alineaciones de volcanes de fango

Siguiendo los criterios propuestos por Paulsen y Wilson (2010) y Bonini y Mazzarini (2010), se ha establecido la existencia de 21 alineaciones de volcanes de fango que presentan tres direcciones predominantes, NO-SE, NE-SO y ONO-ESE. Para intentar asegurar que estos conjuntos de alineaciones forman parte de alineaciones genéticamente relacionados, es decir, que los edificios volcánicos se han formado a partir de un dique de alimentación común, se ha optado por considerar solo aquellos volcanes de fango separados por una distancia inferior a los 26 km, que es el valor medio de la distancia entre los edificios volcánicos establecida a partir del método de triangulación de Delaunay (Maestro *et al.*, 2019). De este modo, es posible establecer la existencia de 7 alineaciones de volcanes de fango con una orientación NO-SE y longitudes que varían entre los 21 y 86 km, 8 alineaciones de orientación NE-SO y longitudes entre los 6 y 69 km, y 6 alineaciones con dirección ONO-ESE y longitudes entre 11 y 83 km.

Tras aplicar el IF a las 21 alineaciones, se ha determinado que 2 alineaciones tienen un IF de clase A, 3 de clase B, 5 de clase C, 10 de clase D, y unaalineacion no se ajusta a ninguna de las clases establecidas. Igual que para los edificios volcánicos, para el análisis de sus orientaciones solo se han considerado las alineaciones que entran dentro de las clases A a C. Por ese motivo, únicamente solo 10 alineaciones fueron finalmente consideradas en este estudio, los cuales presentan una dirección principal entre N125E a

N150E, y dos orientaciones secundarias, N070E y N095E. Uno de ellos se localiza en el Sector de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir, ocho en el Sector Marroquí y uno entre los sectores TASYO y de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir. Las alineaciones de volcanes de fango de estos sectores se caracterizan por:

i) La alineación localizada en el Sector de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir está constituido por tres edificios volcánicos con valores de VSI en torno a 1,2. La longitud de la alineación es de aproximadamente 30 km y su orientación es N074E.

ii) Las alineaciones del Sector Marroquí están constituidos por entre 3 y 8 volcanes de fango, siendo el valor modal de 3 volcanes de fango, con un valor de VSI que varía entre 1,2 a más de 1,8. La longitud de las alineaciones está comprendida entre 11 y 81 km y su orientación varía entre N064E a N155E, con valores modales de la dirección entre N120E a N150E.

iii) La alineación que se extiende entre los sectores de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir y TASYO está constituida por 5 edificios volcánicos con valores de VSI que varían entre 1,2 y más de 1,8. La longitud de la alineación es de aproximadamente 33 km y su orientación es N127E.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que: i) a partir del análisis direccional de los ejes mayores de las elipses de mejor ajuste que circunscriben la base de los 54 edificios volcánicos elongados analizados en este estudio, se determina la existencia de dos direcciones principales de S_H, N132E y N149E, y tres direcciones secundarias, N050E, N090E y N175E; y ii) a partir del análisis direccional de 10 alineaciones de volcanes de fango, se ha determinado la existencia de dos direcciones principales de S_H, N125E y N150E, y dos secundarias, N070E y N095E.

La gran similitud en las direcciones de S_H obtenidas tanto a partir del análisis individual de los edificios de los volcanes de fango, como de las alineaciones de los mismos, y en conjunto con los datos existentes en la bibliografía de la direcciones de S_H determinadas a partir de mecanismos focales de terremotos, ovalizaciones de sondeos y análisis poblacional de fallas, y el hecho de que los edificios volcánicos se desarrollaron durante el Cuaternario, nos lleva a analizar todos los datos bajo un mismo foco. El análisis conjunto de estos datos nos proporciona una mayor precisión para determinar los campos de esfuerzos actuales existentes en el Golfo de Cádiz, ya que los valores de S_H determinados a partir del análisis de los volcanes de fango se localizan en posiciones geográficas donde no hay información sobre direcciones de esfuerzos. No solo evidenciamos la existencia de dos campos de esfuerzos con orientación aproximada N160E y N045E, sino que además podemos relacionar estos campos con el movimiento de convergencia entre las placas africana y euroasiática, que a su vez dio lugar a la expulsión del Arco Bético-Rifeño hacia el oeste.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a la tripulación y comandante del BIO Hespérides y al equipo científico de las campañas oceanográficas TASYO y CONTOURIBER desarrolladas en el Golfo de Cádiz. Este trabajo fue financiado por los proyectos de la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. CONTOURIBER (CTM2008-06399-C04-01/MAR) y SCORE (CGL2016-80445-R, AEI/FEDER, UE).

REFERENCIAS

Bonini, M. y Mazzarini, F. (2010): Mud volcanoes as potential indicators of regional stress and pressurized layer depth. *Tectonophysics*, 494: 32-47.

Delaney, P.T., Pollard, D.D., Ziony, J.I. y McKee, E.H. (1986): Field relations between dikes and joints: emplacement processes and paleostress analysis. *Journal Geophysical Researches*, 91: 4920-4938.

Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W. y Knot, S.D. (1989): Kinematics of the western Mediterranean. *Geological Society, London, Special Publications*, 45: 265-283.

Holohan, E.P., Troll, V.R., Munn, S., McDonell, S. y Shipton, Z.K. (2005): Elliptical calderas in active tectonic settings: an experimental approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 144: 119-136.

Ivanov, M.K., Kenyon, N., Nielsen, T., Wheeler, A., Monteiro, J., Gardner, J., Comas, M., Akhmanov, G., Akhmetzhanov, A. y Scientific Party of the TTR-9 cruise (2000): Goals and principal results of the TTR-9 cruise. *Proceedings of the International Conference Geological Processes on European Continental Margins. IOC/UNESCO Workshop Report*, 168: 3-4.

Maestro, A., Bohoyo, F. y Corral, R. (2019): Recent deformational state from morphological analysis of mud volcanoes in the Gulf of Cadiz (southwestern part of the Iberian Atlantic Margin). *Journal of Geodynamics*, 132.

Maldonado, A., Somoza, L. y Pallares, L. (1999): The Betic orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cadiz: Geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology*, 155: 9-43.

Nakamura, K. (1977): Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-principal and proposal. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2: 1-16.

Palano, M., González, P.J. y Fernández, J. (2015): The diffuse plate boundary of Nubia and Iberia in the western Mediterranean: Crustal deformation evidence for viscous coupling and fragmented lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 430: 439-447.

Paulsen, T.S. y Wilson, T.J. (2010): New criteria for systematic mapping and reliability assessment of monogenetic volcanic vent alignments and elongate volcanic vents for crustal stress analyses. *Tectonophysics*, 482: 16-28.

Cartografía del ecocarácter del Margen Continental de Galicia y de las llanuras abisales adyacentes

Echo-character mapping of the Galician Continental Margin and the adjacent abyssal plains

A. Maestro[1], G. Jané[1], F. Fernández Saéz[2], E. Llave[1], F. Bohoyo[1], J. Navas[1], S. Mink[1], M. Druet[1], M. Gómez Ballesteros[3], J. Martín Dávila[4], M. Catalán[4], A. Carbó[5], A. Muñoz-Martín[5] y J.L. Granja[5]

1 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. a.maestro@igme.es; g.jane@igme.es; e.llave@igme.es; f.bohoyo@igme.es; j.navas@igme.es; s.mink@igme.es; m.druet@igme.es

2 Elittoral S.L.N.E., Estudios de ingeniería costera y oceanográfica. Edificio Polivalente II - Parque Científico Tecnológico, 35017 Las Palmas de Gran Canaria. ffernandez@elittoral.es

3 Instituto Español de Oceanografía. C/ Corazón de María, 8, 28002 Madrid. maria.gomez@ieo.es

4 Real Instituto y Observatorio de la Armada, C/ Cecilio Pujazón s/n, 11110 San Fernando, Cádiz. mdavila@roa.es; mcatalan@roa.es

5 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais, 12, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. carbo@geo.ucm.es ; amunoz@geo.ucm.es; jlgranja@geo.ucm.es

Resumen: La cartografía y análisis de las facies acústicas que se determinan a partir de la interpretación y correlación de los perfiles sísmicos de muy alta resolución, es una herramienta muy útil para la caracterización de los procesos sedimentarios recientes y su distribución en ambientes marinos profundos. Este trabajo presenta el primer mapa de ecocarácter del Margen Continental de Galicia y las llanuras abisales adyacentes. El mapa se realizó sobre la base del análisis e interpretación de los datos de batimetría y reflectividad de las ecosondas multihaz SIMRAD EM12, EM120 y EM1002, y los perfiles sísmicos de muy alta resolución de la ecosonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Sobre la base de la morfología del fondo marino, la reflectividad y los caracteres del eco acústico, se identificaron 26 tipos de ecos en la secuencia sedimentaria más superficial. Estos tipos de eco se han clasificado en cuatro grupos principales: bien definidos, irregulares, hiperbólicos y ondulados. Esta información ha sido adquirida en el marco del 'Programa de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española', coordinado por el Ministerio de Defensa, durante las campañas oceanográficas que se han realizado a bordo del BIO Hespérides del 2001 a 2003 y del 2006 a 2009.

Palabras clave: batimetría, ecocarácter, Margen Continental de Galicia, perfiles sísmicos de muy alta resolución, reflectividad.

Abstract: *The acoustic facies mapping and analyses from the interpretation and correlation of very high resolution seismic profiles, is a very useful tool for the characterization of the recent sedimentary processes and their distribution in the deep-sea environments. This work presents the first echo-character map of the Galicia Continental Margin and the adjacent abyssal plains. The map was carried out on the basis of the analysis and interpretation of the bathymetry and reflectivity data from the SIMRAD EM12, EM120 and EM1002 multibeam echosounders, and the high resolution seismic profiles from the SIMRAD TOPAS PS18 parametric echosounder. Based on the seafloor morphology, backscatter and acoustic echo-characters, 26 echo types were identified in the uppermost sedimentary sequence. These echo-types have been classified into four main groups: Distinct, Irregular, Hyperbolic and Undulated echoes. This information has been acquired in the framework of the 'Scientific Research Program of the Economic Exclusive Zone of Spain', which is coordinated by the Defense Ministry, during the oceanographic cruises carried out on board of the R/V Hesperides in 2001 to 2003 and 2006 to 2009.*

Keywords: *bathymetry, echo-character, Galician Continental Margin, high-resolution seismic profiles, backscatter.*

INTRODUCCIÓN

Desde los años 50 del siglo XX, el análisis de facies acústicas usando registros sísmicos (3,5 kHz, pinger, 12 kHz, Sonda Paramétrica o TOPAS) ha constituido una técnica relevante para el estudio del tipo de sedimento, así como de los procesos sedimentarios en ambientes profundos. Aunque B. C. Heezen fue el primer geólogo marino que llevó a cabo dichos estudios a partir del análisis de la reflectividad del fondo (Heezen *et al*., 1959), fue J. E. Damuth quien propuso la primera clasificación de la respuesta acústica en ambientes profundos, divulgando su metodología a la comunidad científica marina (*e.g.*, Damuth, 1975, 1978, 1980; Damuth y Hayes, 1977). Desde entonces, son numerosos los trabajos que confirman la efectividad de utilizar el ecocarácter como método indirecto para la caracterización de procesos sedimentarios.

En este trabajo se presenta la cartografía de ecocarácter del margen continental de Galicia realizado a partir de la clasificación de las facies acústicas observadas en los registros sísmicos de alta resolución procedentes de la sonda

paramétrica TOPAS adquiridos durante las campañas de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) de los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008 y 2009. Para este análisis se utiliza la metodología propuesta por Damuth (1975, 1978, 1980) y Damuth y Hayes (1977) donde se realizan los siguientes pasos: i) Análisis de la malla de perfiles sísmicos de alta resolución; ii) Clasificación específica de los diferentes ecos observados; y iii) Cartografía de cada tipo de eco a lo largo del trazado de la línea sísmica y la consiguiente interpolación entre líneas adyacentes.

MARCO GEOLÓGICO

El Margen Continental de Galicia se puede definir como un margen pasivo no volcánico y desnutrido (Montadert *et al.*, 1979). El hecho de que el margen tenga escasos aportes sedimentarios implica que la paleotopografía del basamento no ha sido cubierta por los sedimentos y, por lo tanto, las características morfológicas más llamativas observables se deben principalmente a procesos tectónicos y sedimentarios. Esta área se caracteriza por presentar una estructuración constituida fundamentalmente *horsts* y *grabens* delimitados por fallas con sentido de movimiento direccional de orientación NO-SE y NE-SO, fallas normales con dirección N-S y fallas inversas de orientación E-O. Estas fallas están relacionadas con la evolución geológica de este sector durante la Orogenia Varisca, el desarrollo del Atlántico Norte en el Jurásico-Cretácico Inferior, y la convergencia entre las placas Euroasiática e Ibérica en el Cenozoico, donde se produjo la inversión tectónica de las estructuras pre-existentes y la subducción del Margen Cantábrico (*e.g.*, Mauffret y Montadert, 1987). Los estudios estratigráficos y sedimentológicos (*e.g.*, Comas y Maldonado, 1988) muestran que el registro sedimentario desarrollado desde el Cretácico hasta el Cuaternario esta fundamentalmente controlado por la evolución tectónica de la zona. Los depósitos sedimentarios cenozoicos incluyen turbiditas, (hemi)pelagitas, contornitas y debritas. Durante el Mioceno superior predominan los depósitos de tipo contornítico y de debritas, mientras que las secuencias plio-cuaternarias se caracterizan por la presencia de sedimentos de origen turbidítico, debritas, contorníticos y (hemi)pelágicos.

MARCO OCEANOGRÁFICO

En el Margen Continental de Galicia existen cuatro masas de agua principales que fluyen hacia el norte a lo largo del margen a distintas profundidades (*e.g.*, Pérez *et al.*, 2001; González-Pola, 2006): (a) la Corriente de Portugal o Corriente Ibérica es una corriente somera que se distribuye entre los 100-120 m de profundidad, y su flujo es generalmente hacia el sur; (b) la Corriente Central del Atlántico Norte se extiende hasta profundidades de 600 m y fluye hacia el sudoeste; (c) la Masa de Agua Mediterránea fluye a lo largo del talud medio del margen portugués hacia el Margen de Galicia y el Golfo de Vizcaya, con dos núcleos distintos localizados a profundidades entorno a los 800 m y 1200 m: una rama fluye al oeste del Banco de Galicia y otra continúa hacia el norte al este del Banco de Galicia, fluyendo ambas posteriormente hacia el este a lo largo del talud del Margen Cantábrico; (d) la Masa de Agua del Labrador se extiende desde los 1500 m hasta los 2500 m de profundidad y tiene su origen en el Mar del Labrador; (e) la Masa de Agua Noratlántica Profunda se localiza entre los 2500 a 3000 m de profundidad y está originada por los *overflows* desde los mares nórdicos; por último, se encuentra la Masa de Agua Profunda Inferior en las capas más profundas, que es el resultado de la mezcla entre la Masa de Agua Antártica Profunda y la Masa de Agua Profunda del Labrador.

METODOLOGÍA

Los datos analizados en este trabajo proceden de las campañas oceanográficas realizadas en el marco del Programa de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) desarrolladas en el Margen Continental de Galicia, a bordo del BIO Hespérides, durante los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008 y 2009 (Fig. 1). La zona cartografiada abarca una superficie de aproximadamente 271.500 km^2.

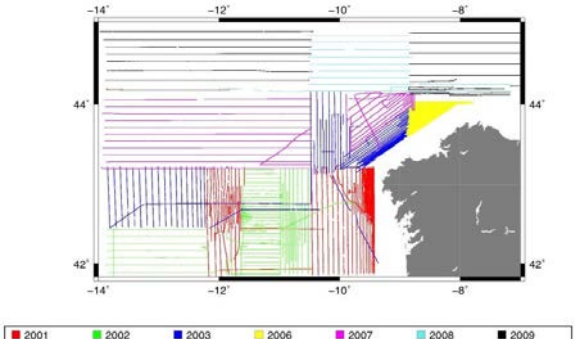


FIGURA 1. Líneas barridas durante las campañas ZEEE entre los años 2001 y 2009, en aguas del Margen Continental Gallego.

Este estudio está basado en el análisis e interpretación de los datos batimétricos y de reflectividad obtenidos con las ecosondas SIMRAD EM12 (hasta 2004), EM120 (desde 2005) y la EM1002 (en 2006), y de registros sísmicos de reflexión de muy alta resolución, adquiridos con la sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Se han analizado e interpretado un total 452 perfiles sísmicos con una longitud total de 32.400 km (Fig. 1).

4. CLASIFICACIÓN DEL ECOCARÁCTER

Se ha elaborado una clasificación específica para el área de estudio utilizando la metodología y basándonos en las clasificaciones propuestas por Damuth (1975, 1978, 1980) y Damuth y Hayes (1977). Los tipos de ecos se han agrupado en 4 clases principales: 1) Eco bien definido, 2) Eco irregular, 3) Eco hiperbolado y 4) Eco ondulado (Fig. 2 y 3).

1) Eco bien definido

Este tipo de eco se caracteriza por presentar un eco marcado continuo y uniforme de la superficie del fondo. Dentro de

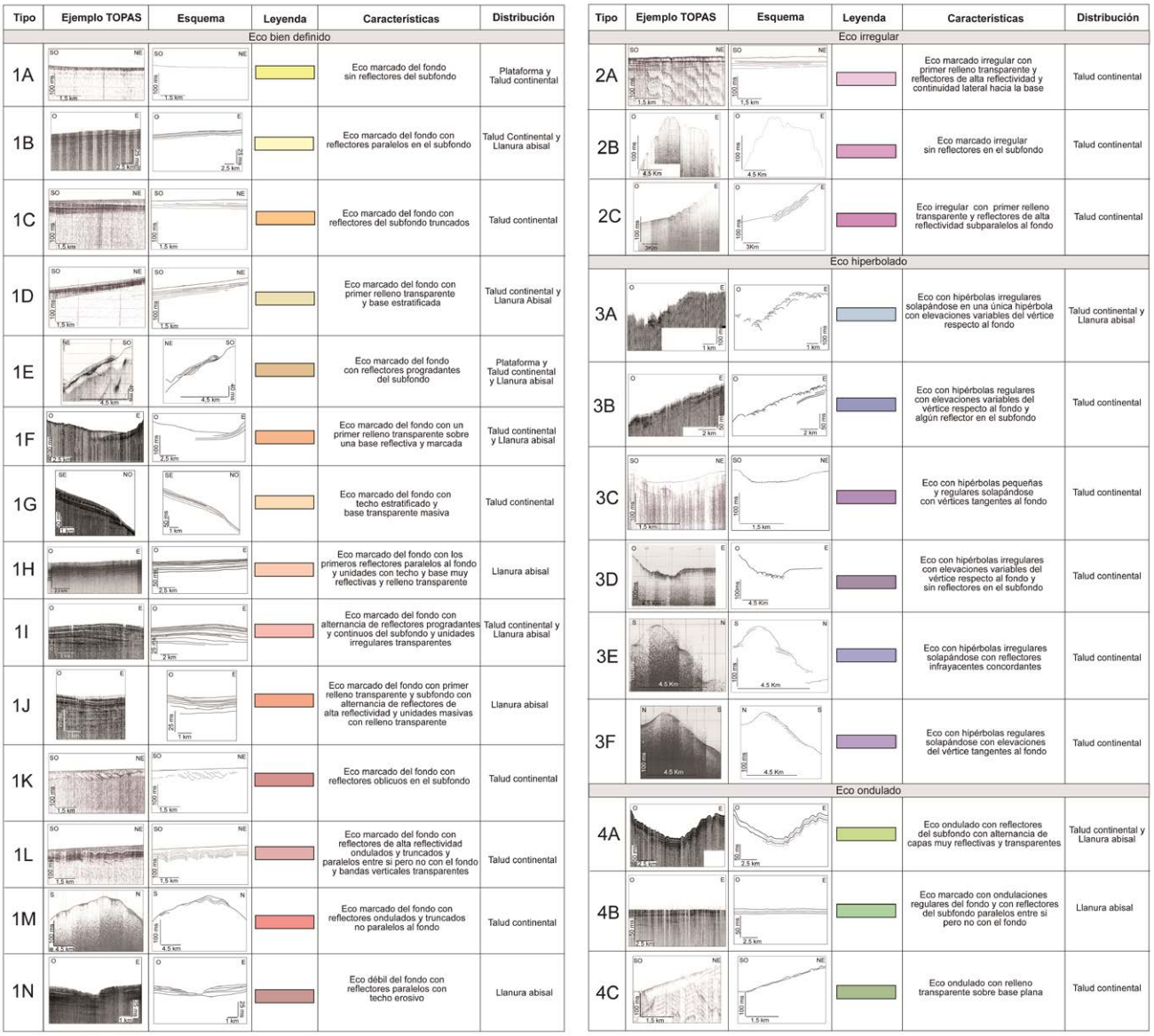


FIGURA 2. Clasificación de tipos y subtipos de ecocarácter establecida para la zona del Margen Continental de Galicia.

esta primera clase de eco marcado se han diferenciado un total de 14 subtipos de ecos, del A al N, que ocupan una superficie de la zona cartografiada de unos 147.000 km^2.

2) Eco irregular

Este tipo de eco es típico de zonas escarpadas o abruptas del fondo marino. Se ha descrito tres subtipos de ecos, de A a C. Los ecos de tipo irregular cubren una superficie en el área cartografiada de unos 3550 km^2.

3) Eco hiperbolado

Este tipo de eco puede darse tanto en áreas con morfologías suaves como fuertemente irregulares. Cubre una superficie de aproximadamente 83.100 km^2. Este eco se ha dividido en seis subtipos, de A a F, en función de la relación que existe entre los vértices de las hipérbolas con respecto al fondo marino o los reflectores del subfondo.

4) Eco ondulado

Las morfologías del fondo onduladas producen ecos que en apariencia pueden ser casi-hiperbolados y que muestran una gran variedad de formas y tamaños. Este tipo de eco cubre una superficie de aproximadamente 36.690 km^2 dentro de la zona cartografiada. Se han diferenciado tres subtipos, desde A a C.

CONCLUSIONES

El mapa de ecocarácter del Margen Continental de Galicia y las llanuras abisales adyacentes que se presenta en este trabajo se realizó mediante la interpretación y correlación de los datos de batimetría y reflectividad de las ecosondas multihaz SIMRAD EM12, EM120 y EM1002, y los perfiles sísmicos de alta resolución de la ecosonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Estos datos se obtuvieron en

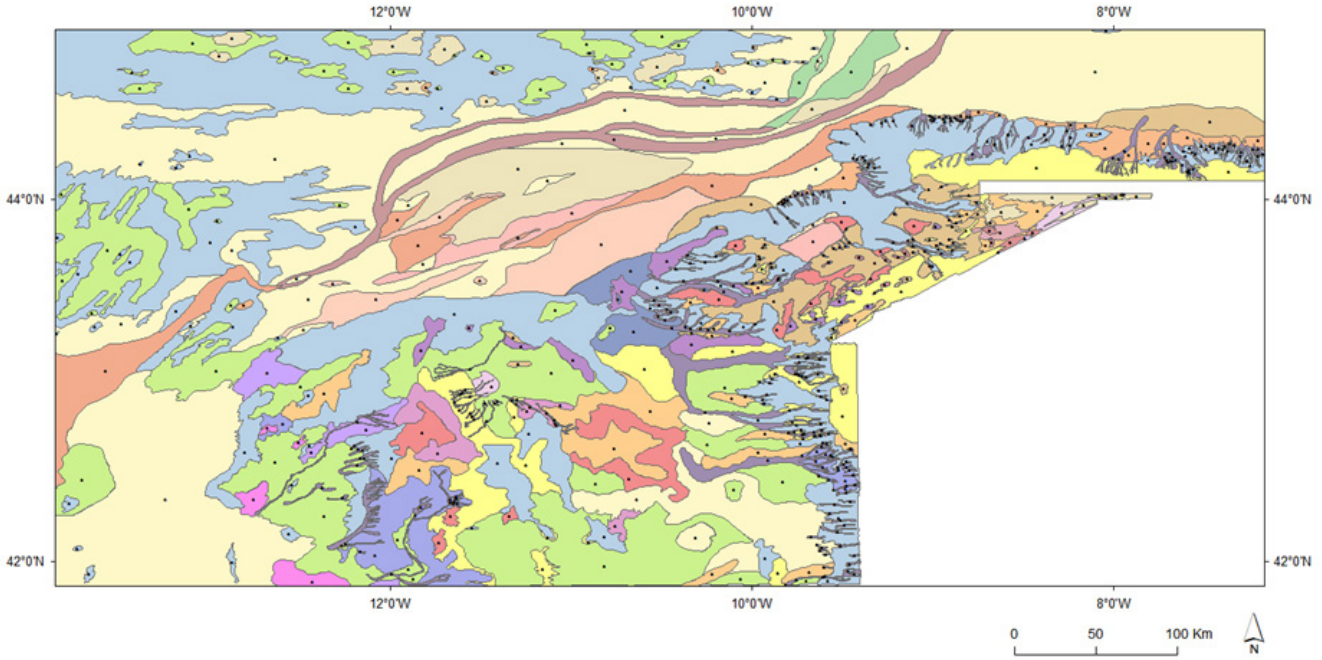


FIGURA 3. Mapa de ecocarácter del Margen Continental Gallego donde se muestran los diferentes polígonos por colores correspondientes a los distintos tipos de ecos definidos. Para la Legenda de colores ver la clasificación de ecos en la Figura 2.

siete campañas oceanográficos realizadas a bordo del BIO Hespérides en los períodos 2001 a 2003 y 2006 a 2009. El mapa ha sido elaborado por el Instituto geológico y Minero de España, en el marco del 'Programa de Investigación Científica de Zona Económica Exclusiva de España', coordinado por el Ministerio de Defensa.

El mapa muestra la localización y distribución de las diferentes facies acústicas identificadas sobre el modelo digital del fondo marino sombreado. Sobre la base de la morfología del fondo marino, la reflectividad y los caracteres del eco acústico, se identificaron 26 tipos de ecos en la secuencia sedimentaria más superficial. Estos tipos de eco se han agrupado en cuatro clases de ecos principales: bien definidos, irregulares, hiperbólicos y ondulados. El propósito de este mapa es que sirva como herramienta que permita inferir la distribución de los sedimentos en el fondo marino, y especialmente para interpretar los procesos deposicionales, erosivos y gravitacionales recientes, ya que los tipos de ecos están controlados principalmente por la topografía de la superficie del fondo marino, la geometría del subsuelo y la textura de los sedimentos y rocas superficiales y sub-superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Estamos especialmente agradecidos a todos los que participaron en las campañas oceanográficas del proyecto de investigación de la ZEEE (Zona Económica Exclusiva de España), encabezados por el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Real Instituto y Observatorio de la Armada, y los comandantes y tripulaciones del BIO Hespérides. Esta investigación fue financiada por los proyectos ZEEIGME (Ref. 2476) y GEOZEEE (Ref. 2833) del Instituto Geológico y Minero de España y a los proyectos PROGEZEE (CTM2011-13367-E) y SCORE (CGL2016-80445-R) de la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

Comas, M.C. y Maldonado, A. (1988): Late Cenozoic sedimentary facies and processes in the Iberian Abyssal Plain, Site 637, ODP Leg 103. En: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* (G. Boillot, E.L. Winterer, *et al.*, eds.), 635-655.

Damuth, J.E. (1975): Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17-45.

Damuth, J.E. (1978): Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Marine Geology,* 28: 1-36.

Damuth, J.E. (1980): Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echo- grams in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology,* 38: 51-75.

Damuth, J.E. y Hayes, D.E. (1977): Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology,* 24: 73-95.

González-Pola, C. (2006): *Variabilidad climática en la región sureste del Golfo de Vizcaya.* Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo, 196 p.

Heezen, B.C., Tharp, M. y Ewing, M. (1959): The floors of the oceans, 1. The north Atlantic. *Geological Society of America Special Publication*, 65, 122 p.

Mauffret, A. y Montadert, L. (1987): Rift Tectonics on the passive continental margin off Galicia. *Marine and Petroleum Geology*, 4: 49-70.

Montadert, L., de Charpel, O., Roberts, D., Guennoc, P. y Sibuet, J.C. (1979): Northeast Atlantic passive continental margins: rifting and subsidence processes. En: *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironment* (M. Talwani, W. Hay, y W.B.F. Ryan, eds.). American Geophysical Union, Maurice Ewing Service, 3, 154-186.

Pérez, F.F., Castro, C.G., Álvarez-Salgado, X.A. y Ríos, A.F. (2001): Coupling between the Iberian basin-scale circulation and the Portugal boundary current system. A chemical study. *Deep Sea Research* I, 48: 1519-1533.

Tectónica activa, estructura cortical y naturaleza de los dominios del basamento oceánico en el SO de Iberia.

Active tectonics, crustal structure and affinity of the basement domains offshore SW Iberia.

Sara Martínez-Loriente[1*], Valentí Sallarès[1], Eulàlia Gràcia[1]

1 Barcelona Center for Subsurface Imaging, Institut de Ciències del Mar (CSIC), 08003 Barcelona, España. (*smartinez@icm.csic.es).

Palabras clave: Sísmica de gran ángulo; tomografía sísmica; suroeste de Iberia; límite de Placas África-Eurasia; naturaleza del basamento.

Resumen

Presentamos una nueva clasificación de dominios geológicos en el límite de placas África-Eurasia al suroeste de Iberia, junto con una reconstrucción geodinámica regional que abarca desde la extensión Mesozoica hasta la convergencia actual (Martínez-Loriente *et al.*, 2014). Los resultados se basan en modelos de velocidad sísmica y densidad a lo largo de dos transectos regionales de gran ángulo, combinados con información previa disponible. La integración de toda la información nos permite definir 3 dominios oceánicos al suroeste de Iberia: (1) el dominio SAP, compuesto por corteza oceánica generada durante las primeras etapas de la extensión oceánica del NE Atlántico central (Martínez-Loriente *et al.*, 2014); (2) el dominio GC, compuesto por corteza oceánica generada en el sistema extensivo Alpino-Tetis entre Iberia y África, que fue contemporáneo con la formación del dominio SAP y finalizó con la ruptura continental del Atlántico Norte (Jurásico tardío); y (3) el dominio del GB, compuesto principalmente de rocas exhumadas del manto con algo de magmatismo sincrónico, formado durante las primeras etapas de la apertura del Atlántico Norte. Los modelos sugieren que los dominios SAP y GC están separados por la falla en dirección Lineament South, mientras que los dominios de GC y GB parecen estar limitados por una falla inversa profunda ubicada en el centro de la llanura abisal de Horseshoe (Martínez-Loriente *et al.*, 2014).

Abstract

We present a new classification of geological domains at the Africa-Eurasia plate boundary off SW Iberia, together with a regional geodynamic reconstruction spanning from the Mesozoic extension to the Neogene-to-present-day convergence (Martínez-Loriente et al., 2014). It is based on seismic velocity and density models along two regional wide-angle seismic transects, combined with previously available information. The integration of all this information allows defining the presence of 3 oceanic domains off SW-Iberia: (1) the SAP domain, made of oceanic crust generated during the first stages of slow seafloor spreading in the NE Central Atlantic (Early Jurassic) (Martínez-Loriente et al., 2014); (2) the GC domain, made of oceanic crust generated in the Alpine-Tethys spreading system between Iberia and Africa, which was coeval with the formation of the SAP domain and lasted up to the North Atlantic continental break-up (Late Jurassic); and (3) the Gorringe Bank (GB) domain, mainly made of rocks exhumed from the mantle with little synchronous magmatism, which formed during the first stages of North Atlantic opening. Our models suggest that the SAP and GC domains are separated by the Lineament South strike-slip fault, whereas the GC and GB domains appear to be limited by a deep thrust fault located at the center of the Horseshoe Abyssal Plain (Martínez-Loriente et al., 2014).

Referencias

Martínez-Loriente, S. *et al.* (2014). Seismic and gravity constraints on the nature of the basement in the Africa-Eurasia plate boundary: New insights for the geodynamic evolution of the SW Iberian margin, JGR: Solid Earth, 119, 127-149.

Proyecto MARIBNO: Estructura del MARgen NorOeste IBérico: Influencia de la Herencia Tectónica en la extensión e inversión alpinas.

MARIBNO Project: Structure of the NorthWest IBerian MARgin: Influence of the Inherited Tectonics in the Alpine extension and inversion.

Muñoz-Martín, A[1,12]., Granja-Bruña, J.L[1]., Druet[2], M. De la Fuente, M. A[1]., De Vicente, G[1]., Antón. L[3]., Martín. S[4]., Pazos, A[5]., Olaiz, A.J[6]., Rodríguez-Zurrunero, A[1],. Gorosábel-Araus, J.M[1]., Gómez de la Peña, L[7]., Catalán, M[5]., Granado, C[1]., Gómez-Ballesteros, M[8]., Tello, M. O[8]., Carbonell, R[9]., Alonso, J. L[10]., Gallastegui, J[10]., Pedreira, D[10]., Espinosa, S[11]., Bohoyo, M[2]., Maestro, A[2]

1 Depto. GEODESPAL, Univ. Complutense de los Autores. C/ José Antonio Novais 2, 28040 – Madrid (España). amunoz@ucm.es, jlgranja@ucm.es, miguelde@ucm.es, gdv@geo.ucm.es, arzurrunero@ucm.es, josegoro@ucm.es, crgranad@ucm.es.
2 Instituto Geológico y Minero de España. m.druet@igme.es, f.bohoyo@igme.es, a.maestro@igme.es.
3 Universidad Nacional de Educación a Distancia. lanton@ccia.uned.es.
4 Universidad Rey Juan Carlos. silvia.martin@urjc.es.
5 Real Instituto y Observatorio de la Armada. pazos@roa.es, mcatalan@roa.es.
6 Repsol Exploración S.A. antoniojose.olaiz@repsol.com.
7 GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (Kiel). lauragomezdlp@gmail.com.
8 Instituto Español de Oceanografía. maria.gomez@ieo.es, olvido.tello@ieo.es.
9 Geociencias Barcelona-CSIC (GEO3BCN-CSIC). ramon.carbonell@csic.es.
10 Universidad de Oviedo. jlalonso@geol.uniovi.es, jorge@geol.uniovi.es, david@geol.uniovi.es.
11 Instituto Hidrográfico de la Marina.
12 IGEO Instituto de Geociencias (CSIC-UCM).

Palabras clave: margen Cantábrico, hiperextensión, sísmica, inversión tectónica, dominios corticales.

Resumen

La zona noroeste de Iberia reúne rasgos geológicos excepcionales relacionados con el desarrollo de un margen continental hiperextendido cerca de un punto triple y la posterior inversión tectónica parcial. Es una zona de gran interés para el estudio del papel de la herencia tectónica y la posterior inversión en márgenes continentales extensionales, pero hay un gran déficit de información. Todo esto sienta las bases del proyecto anfibio MARIBNO (PGC2018-095999-B-I00) donde a lo largo de 2021 y 2022 se adquirirán sísmica marina de reflexión multicanal 2D (~4000 km), sísmica de gran ángulo en 3 transectos tierra-mar (~600 km), batimetría multihaz, grav-mag y sísmica de alta resolución. Se complementará en tierra con adquisición de datos grav-mag y varias campañas de cartografía geológica. Los objetivos se centran en el estudio de la estructura cortical, el control tectónico ejercido por estructuras previas a las etapas alpinas y la cartografía y caracterización de los dominios corticales aunando criterios geológicos y geofísicos.

Abstract

The northwestern part of Iberia brings together exceptional geological features related to the development of a hyperextended continental margin close to a triple point and a later partial tectonic inversion. This is a highly interesting area for the study of the role of tectonic inheritance in the evolution of the extensional continental margins and their inversion, but there is a great deficit of information. All these issues are the foundations for the MARIBNO amphibious project (PGC2018-095999-B-I00), where in 2021 and 2022, 2D multichannel marine reflection seismic (~4000 km), and wide-angle seismic data along 3 offshore-onshore transects (~600 km), multibeam bathymetry, grav-mag and ultra-high resolution seismic data will be acquired. This is complemented with onshore grav-mag data and several geological field mapping. The objectives are focused on the study of the crustal structure, the tectonic control by the structures prior to the alpine stages and the mapping and characterization of the crustal domains combining geological and geophysical criteria.

Sensibilidad de los escenarios de tsunami a la geometría compleja de las fallas y la distribución heterogénea del deslizamiento: aplicación en el SO de Iberia y el NE de Marruecos

Sensitivity of tsunami scenarios to complex fault geometry and heterogeneous slip distribution: case-studies for SW Iberia and NW Morocco.

Cristina S. Serra[1*], Sara Martínez-Loriente[1], Eulàlia Gràcia[1], Roger Urgeles[1], Laura Gómez de la Peña[2], Francesco Emanuele Maesano[3], Roberto Basili[3], Manuela Volpe[3], Fabrizio Romano[3], Antonio Scala[4], Alessio Piatanesi[3], Stefano Lorito[3]

1 Institut de Ciències del Mar (CSIC), 08003 Barcelona, España. (*csserra@icm.csic.es).
2 GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research, Kiel, Germany
3 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanolgia (INGV), Rome, Italy
4 Dipartimento di Fisica "Ettore Pancini", Università di Napoli Federico II

Palabras clave: Tsunamis, Distribución heterogénea del deslizamiento, Geometría compleja de fallas.

Resumen

El margen SO de la Península Ibérica es una de las zonas más sismogénicas y tsunamigénicas de Europa Occidental, donde han ocurrido grandes terremotos y tsunamis destructivos, tanto en periodo histórico como instrumental. Por este motivo, presentamos un nuevo estudio evaluando la sensibilidad de los escenarios de tsunamis a la geometría de los planos de falla y la distribución del deslizamiento aplicado a las costas del SO de Iberia y del NE de Marruecos. En este trabajo realizamos diversas simulaciones de tsunami considerando la geometría en detalle de las principales fallas activas de la región, incluyendo: las fallas inversas de Gorringe Bank (GBF), Marquês de Pombal (MPF), Horseshoe (HF), North Coral Patch (NCPF) y South Coral Patch (SCPF); y la falla transcurrente del Lineament South (LSF). Empezamos considerando planos de falla simples con deslizamiento uniforme para todas las fallas. A continuación, generamos modelos complejos en 3D de los planos de falla para MPF, HF, NCPF y SCPF en base a un gran conjunto de datos de perfiles de sísmica multicanal 2D. Finalmente, utilizamos varias distribuciones de deslizamiento heterogéneo para el caso de HF. Nuestros modelos de tsunami sugieren que utilizando geometrías de falla complejas y distribuciones de deslizamiento heterogéneas, la altura máxima de la ola (sobre el nivel del mar) en la costa se puede duplicar en comparación con escenarios simples, dónde el tsunami es generado por una falla con geometría planar.

Abstract

The SW Iberian margin is one of the most seismogenic and tsunamigenic areas in Western Europe, where large historical and instrumental destructive earthquakes and tsunamis have occurred. For this reason, we present a new study to evaluate the sensitivity of the tsunami impact on the coast of SW Iberia and NW Morocco to the fault geometry and slip distribution for local earthquakes. We carried out several tsunami simulations considering the detailed geometry of the main active faults in the region: the Gorringe Bank (GBF), Marquês de Pombal (MPF), Horseshoe (HF), North Coral Patch (NCPF) and South Coral Patch (SCPF) thrust faults, and the Lineament South (LSF) strike-slip fault. We started from relatively simple planar faults featuring uniform slip for all faults; then, based on a large dataset of 2D multi-channel seismic profiles, 3D complex sub-surface models of the fault planes (MPF, HF, NCPF, and SCPF) have been generated. Finally, we used several heterogeneous slip-distributions for the HF case. Our tsunami models suggest that using more complex fault geometries and heterogeneous slip distributions, the peak wave height (about the sea level) at the coastline can be doubled compared to simpler tsunami source scenarios generated by simple fault-plane geometries.

Primeras imágenes del volcán submarino Orca obtenidas con Sísmica Marina Híbrida. Cuenca Central de Bransfield - Antártida

First images of the Orca submarine volcano obtained whit Hybrid Seismic Marine. Central Bransfield Basin - Antarctica

L. Vizcaíno[1], D. Soule[2], O. Ardaraz[1], T. Teixidó[1], W. Wilcock[3], J. Almendros[1], J. L. Granja-Bruña[4]

1 Universidad de Granada. luis_vizcaino@hotmail.com, oierarol@gmail.com, tteixido@ugr.es, vikingo@ugr.es
2 Queens College, City University of New York. USA. dax.soule@qc.cuny.edu
3 University of Washington. USA. wilcock@uw.edu
4 Grupo Tectonofísica Aplicada. Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Univ. Complutense, Madrid. jlgranja@ucm.es

Palabras clave: Antártida, Bransfield, sísmica marina multicanal, sísmica marina híbrida (MHS)

Resumen

En el marco del proyecto antártico BRAVOSEIS (CTM2016-77315-R) se realizó una campaña sísmica marina multicanal a lo largo del Estrecho de Bransfield (Antártida); concretamente en el corredor limitado por los volcanes submarinos Jorobado y Orca. Uno de los objetivos de esta exploración sísmica fue estudiar en detalle el volcán activo Orca; para ello se diseñó una novedosa adquisición sísmica marina multicanal consistente en barrer el área de estudio con perfiles 2D densos donde se han combinado los métodos de reflexión y de refracción. A esta metodología la hemos llamado sísmica híbrida marina 2D-3D (2D-3D MHS).

En esta aportación presentamos los resultados de la primera fase del estudio que se ha centrado en: (1) establecer los algoritmos y el flujo de procesado idóneo para la eliminación de los múltiples y el aumento de la resolución temporal-espacial de las secciones sísmicas de reflexión 2D (Lin *et al.* 2019); (2) efectuar una primera interpretación de las imágenes resultantes a fin de evaluar su potencial de información (Sun *et al.*, 2019).

Abstract

As part of the BRAVOSEIS Antarctic project (CTM2016-77315-R), a multichannel marine seismic fieldwork was performed along the Bransfield Strait; namely in the corridor bounded by the Humpback and Orca submarine volcanoes. One of the objectives of this seismic exploration was to study in detail the active Orca volcano. For this purpose, we designed an innovative multichannel marine seismic acquisition consisting of scanning the study area with dense 2D profiles that combined reflection and refraction methods. We have called this methodology 2D-3D hybrid marine seismics (2D-3D HMS).

In this contribution, we present the results of the first phase of the study, which focused on: (1) establishing a processing flow to remove multiples and increase the temporal-spatial resolution from all 2D seismic sections (Lin et al., 2019); and (2) To perform a preliminary interpretation of the resulting images in order to evaluate their information potential (Sun et al., 2019).

Referencias

Lin, L-F., Hsu, H-H., Liu, C-S., Chao, K-H., Ko, C-C., Chiu, S-D., Hsieh, H-S., Ma, Y-F., Chen, S-C. (2019). *Marine Geophysical Research* 40, 619-633. https://doi.org/ 10.1007/s11001-019-09391-9.

Sun, Q., Jackson, C. A.-L., Magee, C., Mitchell, S. J., Xie, X. (2019). *Solid Earth* 10, 1269–1282, 2019. https://doi.org/10.5194/se-10-1269-2019.

Incremento de las tormentas al final del Último Interglaciar. ¿Está volviendo a ocurrir?

Increase in storminess at the end of the Last Interglacial. Is it happening again?

T. Bardají[1], C. Zazo[2], J.L. Goy[3], C. J. Dabrio[4] y J. Lario[5]

1 U.D. Geología, Dpto. Geología, Geografía y Medio Ambiente, Univ. de Alcalá 28805-Alcalá de Henares. teresa.bardaji@uah.es
2 Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, José Gutiérrez Abascal 2, 28006-Madrid. carizazo@mncn.csic.es
3 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008-Salamanca. joselgoy@usal.es
4 Dpto. Estratigrafía, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid 28040-Madrid. dabrio@ucm.es
5 Facultad de Ciencias, UNED, 28040-Madrid. javier.lario@ccia.uned.es

Palabras clave: deterioro climático, litoral, mediterráneo español, facies sedimentarias, MIS5.

Resumen

Análisis paleontológicos, geomorfológicos y sedimentológicos obtenidos a lo largo de los últimos 30 años en el litoral mediterráneo español, muestran un importante cambio meteorológico al final del último período interglaciar (MIS 5e). El pico más cálido del MIS5e (135-120 ka; Hearty *et al.*, 2007) ha sido datado en el litoral Mediterráneo español en 135ka (Zazo *et al.*, 2003). Entre los Cabos de Gata y de la Nao (Bardají *et al.*, 2009) y en Formentera, este pico está caracterizado por el desarrollo de sistemas de playa-duna de facies oolíticas, y presencia de fauna cálida (*Strombus bubonius* = *Persististrombus latus*), lo que indica un clima cálido con unas condiciones meteorológicas de viento y oleaje suaves. Al final del interglaciar (117ka), las condiciones meteorológicas cambian drásticamente como queda evidenciado por facies de mayor energía, conglomerados con matriz arcillosa rojiza, que apuntan hacia una mayor intensidad de lluvias y tormentas (Bardají *et al.*, 2009), pero manteniéndose las condiciones cálidas que caracterizan este interglaciar y que permiten la subsistencia del *S.bubonius*. El reciente aumento de tormentas en la costa mediterránea podría ser indicativo de una situación análoga a la del último interglaciar en nuestro litoral.

Abstract

Paleontological, geomorphologic and sedimentological analyses obtained over the last 30 years on the Spanish Mediterranean coast show a significant change in the weather at the end of the last interglacial period (MIS 5e). The warmest peak of MIS5e (135-120 ka; Hearty et al., 2007) has been dated on 135ka on the Spanish Mediterranean coast (Zazo et al., 2003). Between Cape of Gata and Cape of La Nao (Bardají et al., 2009) and on Formentera, this peak is characterised by the development of beach-dune systems with oolitic facies, and by the presence of warm fauna (Strombus bubonius =Persististrombus latus) pointing to a warm climate with mild wind and wave conditions. At the end of the interglacial (117ka), the meteorological conditions change drastically, as can be seen by the high-energy facies, conglomerates with reddish clayey matrix, what indicates a greater intensity of rain and storms (Bardají et al., 2009), but still under the warm conditions that characterise this interglacial that allow the survival of S.bubonius. The increase in storms that have occurred recently along the Mediterranean coast could be indicative of a situation similar to that of the last interglacial along our coasts.

Referencias

Bardají, T., Goy, J.L., Zazo, C., Hillaire-Marcel, C.J., Dabrio, C.J., Cabero, A., Ghaleb, B., Silva, P.G. y Lario, J. (2009). *Geomorphology* 104, 22-37

Hearty, P.J., Hollin, J.Y., Neumann, A.C., O'Leary, M.J. y McCulloch, M. (2007). *Quaternary Science Reviews* 26, 2090-2112

Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-Delgado, A. y Soler, V. (2003). *Marine Geology* 194, 103–133.

Agradecimientos: financiado por FEDER-MINECO CGL2015-69919-R; contribución del Grupo Español del IGCP-639 "Sea-Level Change from minutes to millenia".

Registro isotópico de tobas de tipo estromatolito del yacimiento arqueológico de los Aljezares (Aspe, Alicante)

Isotopic record of stromatolite like tufas of Aljezares archeological site (Aspe, Alicante)

O. Bedmar[1], J. Cuevas-González[1] y D. Díez-Canseco[1]

1 Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante). olga.bedmar@gmail.com, jaime.cuevas@ua.es, davinia.diezcanseco@ua.es

Palabras clave: Cuaternario, isótopos estables, paleoambiente, paleoclima, tobas estromatolíticas.

Resumen

En este trabajo se estudia la composición isotópica ($\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$) de depósitos tobáceos de tipo estromatolito del yacimiento arqueológico del Pleistoceno superior de los Aljezares (Aspe, Alicante). La muestra estudiada corresponde a un nivel estratigráfico de relativa continuidad y situado entre conglomerados clasto-soportados. Presenta una morfología dómica y una estructura interna laminada donde alternan láminas de crecimiento claras-porosas y oscuras-densas, que fueron muestreadas individualmente. Estas alternancias representarían ciclos estacionales anuales (*sensu* Arenas *et al.*, 2019), por lo que la muestra reflejaría 11 años. Los resultados isotópicos muestran, por un lado, compatibilidad con los valores medidos en aguas meteóricas actuales, sugiriendo un contexto paleoclimático similar. Por otro lado, las variaciones de $\delta^{18}O$ muestran dos conjuntos de valores que podrían responder a un cambio paleoambiental entre un régimen hídrico abierto y otro más restringido. Estos resultados son compatibles con trabajos previos (e.j. Cuevas-González *et al.*, 2020) donde se interpreta para la formación de los depósitos un contexto fluvio-lacustre en una cuenca sujeta a represamientos, en el que se impondrían cambios en el régimen hídrico con dominancia fluvial a otros con dominancia lacustre. Es destacable que facies similares no hayan sido descritas en depósitos cuaternarios de esta zona y son un punto de partida para la reconstrucción paleoclimática y paleoambiental del registro continental reciente de la región meridional mediterránea peninsular.

Abstract

In this work, the isotopic composition ($\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$) of stromatolite like tufa deposit from the Upper Pleistocene archaeological site of the Aljezares (Aspe, Alicante) is studied. The sample studied corresponds to a stratigraphic level of relative continuity and located between clast-supported conglomerates. It has a domic morphology and a laminated internal structure where light-porous and dark-dense growth laminae alternate, which were sampled individually. These alternations would represent annual seasonal cycles (sensu Arenas et al., 2019), so the sample would reflect 11 years. The isotopic results show, on the one hand, compatibility with the values measured in current meteoric waters, suggesting a similar paleoclimatic context. On the other hand, the $\delta^{18}O$ variations show two sets of values that could respond to a paleoenvironmental change between an open and a more restricted water regime. These results are compatible with previous works (e.g., Cuevas-González et al., 2020) where a river-lake context is interpreted for the formation of deposits in a basin subject to damming, and changes in the water regime with river dominance would be imposed to other with lake dominance. It is noteworthy that similar facies have not been described in Quaternary deposits of this area and are a starting point for the paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction of the recent continental records in the southern Mediterranean region.

Referencias

Arenas, C., Osácar, M.C., Auqué L. y Sancho, C. (2019). *Journal of Palaeogeography*, doi: 10.1186/s42501-019-0021-y

Cuevas-González, J., Díez-Canseco, D., Elez, J., Eixea, A., Ibáñez, V. y Civieta, O. (2019). En: *XV Reunión Nacional de Cuaternario.* Comunicaciones, 129-132.

Nuevas dataciones numéricas para Atapuerca Gran Dolina TD1 (Burgos, España)

New numerical age constraints for TD1 unit from Atapuerca Gran Dolina (Burgos Spain)

Mathieu Duval[1,2], Josep M. Parés[1], Isidoro Campaña[1], Eudald Carbonell[3], José María Bermúdez de Castro[1]

1 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Burgos, Spain
2 Australian Research Centre for Human Evolution (ARCHE), Griffith University, Brisbane, Australia.
3 Institut Català de Paleoecología Humana i Evolució Social (IPHES), Spain.

Palabras claves: Resonancia Paramagnética Electrónica; Cuarzo; Jaramillo; Magnetoestratigrafía

Resumen

Atapuerca Gran Dolina (Burgos, España) es un relleno sedimentario kárstico de unos 25 m de espesor en el cual se han identificado 12 unidades litoestratigráficas. Si la parte superior de la secuencia ha sido ampliamente estudiada durante las últimas décadas debido a su riqueza en restos arqueológicos, paleontológicos y paleoantropológicos, las unidades TD1-2 en la parte inferior han recibido, en cambio, mucho menos atención. Sin embargo, la reciente apertura de una sección de 10 m de profundidad dentro de TD1 abrió por la primera vez la posibilidad de estudiar en detalle los depósitos de interior de la cueva.

En particular, el estudio magnetoestratigráfico de estos niveles reveló la presencia de varios intervalos de polaridad normal (Parés *et al.,* 2018). Basándose en los datos cronológicos disponibles, los autores correlacionaron el intervalo más largo, posicionado en la parte superior de TD1, con el evento magnético Jaramillo (0,99-1,07 Ma). Con el objetivo de confirmar esta correlación, se cogieron varias muestras de sedimento en TD1 para su datación numérica mediante Resonancia Paramagnética Electrónica (ESR). Los resultados obtenidos permiten refinar la cronología de los depósitos de la parte inferior de Gran Dolina y proponer una correlación entre los varios intervalos de polaridad normal y la escala de tiempo de polaridad geomagnética (GPTS).

Abstract

Atapuerca Gran Dolina site (Spain) is a 25-m thick cave sedimentary infill where 12 lithostratigraphic units have been identified. If the uppermost part of the sequence has been widely studied over the last decades due to its richness in archaeological, paleontological and paleoanthropological remains, TD1-2 units at the bottom have instead received much less attention. However, the recent opening of a 10-m deep trench within TD1 revealed a thick unit of cave interior deposits, including laminated silt and clay.

In order to constrain the chronology of these deposits, a detailed magnetostratigaphic study of TD1 was carried out (Parés et al., 2018). Results showed a dominantly reversed polarity, suggesting a Matuyama age (>0.78 Ma) for TD1, with a few short intervals of normal polarity in between. In particular, the uppermost interval has been tentatively correlated to the Jaramillo subchron (0.99-1.07 Ma). In order to confirm this initial chronological attribution, several sediment samples were collected along the sequence for Electron Spin Resonance dating purpose. The dating results will contribute to refine the chronostratigraphic framework of these Early Pleistocene cave interior deposits and enable correlations with other cave sedimentary infills of the Atapuerca complex.

Referencias

Parés J.M., Álvarez-Posada C., Sier M., Moreno D., Duval M., Woodhead J., Ortega A.I., Campaña I., Rosell J., Bermúdez de Castro J.M., Carbonell E. (2018). Chronology of the cave interior sediments at Gran Dolina archaeological site, Atapuerca (Spain). *Quaternary Science Reviews* 186, pp. 1-16.

Análisis geológico del terremoto histórico de Pinos Puente (1806, Granada, S España).

Geological analysis of the Pinos Puente historical earthquake (1806, Granada, S Spain).

J. Elez[1], P.G. Silva[1], J.L. Giner-Robles[2], M.A. Rodríguez-Pascua[3], E. Roquero[4], R. Pérez-López[3], T. Bardají[5]

1 Dpto. de Geología, Fac. de Ciencias, Universidad de Salamanca (USAL), 37008 Salamanca. j.elez@usal.es, pgsilva@usal.es,
2 Dpto. Geología y Geoquímica. Fac. Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid (UAM) 28049 Madrid. jorge.giner@uam.es
3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28004 Madrid ma.rodriguez@igme.es, r.perez@igme.es
4 Dpto. de Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica (UPM). 28040 Madrid. elvira.roquero@upm.es
5 U.D. Geología. Universidad de Alcalá (UAH). 28871 Alcalá de Henares (Madrid). teresa.bardaji@uah.es

Palabras clave: Terremoto histórico, ShakeMap, Intensidad, Cuenca de Granada, Falla de Sierra Elvira.

Resumen

Para el estudio del terremoto de Pinos Puente en 1806 (VIII EMS) se ha combinado el análisis de los Efectos Ambientales de Terremotos (escala ESI-07) con el de los Efectos Arqueológicos. Se ha recopilado la información dispersa en fuentes documentales y tras la catalogación de los efectos se ha procedido a la elaboración de un mapa de intensidades y a una modelización mediante ShakeMaps, adaptando las metodologías estándar del United States Geological Survey a las particularidades de terremotos históricos (Silva *et al.,* 2017). Este evento presenta una intensidad de VIII (EMS y ESI-07). En el área macrosísmica, cerca de 60 km^2, más del 80% de las edificaciones sufrieron daños relevantes y el 7 % quedaron completamente derruidas. La geometría de las zonas de intensidad ≥ VI (prácticamente delimitadas a la Cuenca de Granada) indica una fuerte amplificación sísmica relacionada con el potente registro de materiales cuaternarios no consolidados en la llanura de inundación del río Genil. De los ShakeMaps obtenidos, el que mejor explica el conjunto de efectos geológicos recopilados apunta a que la fuente sismogénica del evento fue el segmento de Pinos Puente de la Falla de Sierra Elvira-Dilar (Sanz de Galdeano *et al.*, 2012). El modelo de mejor encaje se realiza con una longitud de falla de 60 km, buzamiento de unos 60º SO y Mw 5,8, generando aceleraciones horizontales máximas (PGA) por encima de 0,30 g en zonas amplias.

Abstract

For the study of the 1806 Pinos Puente event (VIII EMS), the analysis of the Environmental Earthquake Effects (ESI-07 scale) was combined with that of the Archaeological Effects. The information dispersed in documentary sources was compiled and effects catalogued. An intensity map has been elaborated and a modeling has been carried out using ShakeMaps, adapting the standard methodologies of the United States Geological Survey to the particularities of historical earthquakes (Silva et al., 2017). This event shows an intensity of VIII (EMS and ESI-07). In the macro-seismic area, of about 60 km^2, more than 80% of the buildings suffered relevant damage and 7% were completely destroyed. The geometry of the intensity zones ≥ VI (practically constrained to the Granada Basin) indicates a strong seismic amplification related to the thick register of unconsolidated Quaternary materials in the floodplain of the Genil River. The ShakeMap that best explains the compiled earthquake geological effects points out to the Pinos Puente segment of the Sierra Elvira-Dilar normal fault (Sanz de Galdeano et al., 2012) as the more probable seismogenic source. The best fitting model results from a fault length of 6.0 km, dipping about 60º SW and Mw 5.8, generating maximum horizontal accelerations (PGA) above 0.30 g in large areas. This work has been funded by the QTECSPAIN project MINECO-FEDER CGL2015-67169-P, USAL.

Referencias

Silva, P.G., Elez, J., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Roquero, E., Bardají, T., Martínez-Graña, A.M. (2017). *Quaternary international* 451, 185-208

Sanz de Galdeano, C., García-Tortosa, F., Peláez, J., Alfaro, P., Azañón, J., Galindo-Zaldívar, J., López Casado, C., López Garrido, A., Rodríguez-Fernández, J., & Ruano, P. (2012). *Journal of Iberian Geology* 38 (1), 209-223.

Impacto humano y cambios naturales en la vegetación de la Costa Cantábrica oriental durante el Antropoceno y el Holoceno.

Human impact and natural changes in the Eastern Cantabrian Coast vegetation during the Anthropocene and Holocene.

A. Fernández Martín-Consuegra[1], S. Pérez-Díaz[2] y A. Cearreta[1]

1 Dpto. de Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 48080 Bilbao. aitor.fernandez@ehu.eus; alejandrocearreta@ehu.eus

2 Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria. E.T. S. I. Caminos, Canales y Puertos. Avda. de los Castros, s/n. 39005 Santander. sebastian.perezdiaz@unican.es

Palabras clave: Polen, Antropoceno, Holoceno, Estuarios, Costa Cantábrica.

Resumen

El impacto humano en el medioambiente puede ser estudiado a través de una gran variedad de indicadores como, por ejemplo, el polen conservado en los sedimentos. Los estuarios de la costa cantábrica han sido históricamente lugares de explotación y asentamiento humano gracias a la gran variedad de recursos que estos pueden aportar, lo que queda reflejado en su registro fósil. El objetivo de este trabajo es reconstruir el proceso de antropización del paisaje vegetal en la costa cantábrica oriental durante el Holoceno. Para ello, se han estudiado diferentes registros sedimentarios: Sondeos largos (±16 m) que se extienden varios miles de años y sondeos cortos (50 cm) datados aproximadamente en los últimos 200 años todos ellos perforados en los estuarios del Urola, Oka y Saja-Besaya.

En general, se observa un crecimiento progresivo del polen arbóreo (*Alnus, Betula, Quercus* caducifolios y *Pinus* sp.) que nos indica una recuperación de los espacios de bosque durante los últimos 200 años. Otros taxones antropogénicos como *Cerealia* t., *Poaceae*, *Apiaceae* (ligados a la deforestación y a la construcción de infraestructuras) y *Sordaria* t. aparecen con porcentajes significativos en algunas partes de los sondeos cortos, sugiriendo la presencia de actividades agrícolas y ganaderas. La explotación agrícola y maderera provocaron una reducción de las especies arbóreas en favor de los taxones herbáceos (*Apiaceae, Poaceae*). Con el abandono progresivo de estas actividades, los bosques se recuperaron, apareciendo especies como *Alnus*. A pesar de esto, la recuperación de los espacios forestales sobre todo en los últimos 200 años se debe a las repoblaciones iniciadas en el siglo XIX que se agudizaron con el "Plan Nacional de Reforestación" llevado a cabo durante la década de 1940.

Abstract

The estuaries of the Cantabrian coast have been historically places of exploitation and human settlement due to the variety of resources that these areas can provide, leaving their footprint in the fossil record. The objective of this work is to reconstruct the process of anthropization of the vegetable landscape (through pollen data) in the eastern Cantabrian coast. Agricultural and timber exploitation caused a reduction of tree species in favour of herbaceous taxa (Cerealia t., Poaceae, Apiaceae, Sordaria t). Subsequently, a progressive growth of tree pollen can be observed, indicating a recovery of forest areas. This is due to the abandonment of agricultural activities that led, partially, to the colonization of these spaces by taxa such as Alnus. Moreover, in the last 200 years, the observed forest recovery is clearly linked to the reforestation started in the 19th century.

The main objective of these reforestations was timber exploitation, and that is why we observed an increase in taxa such as Pinus pinaster. In addition, from 1940 onwards, the so-called "National Reforestation Plan" was implemented, which intensified the growth of the forest areas and was also responsible for the introduction of foreign species such as Eucalyptus sp. The data show that, in the short Anthropocene cores, a greater human impact (reforestation, agricultural activities and infrastructures) is observed compared to the long Holocene cores.

Evolución espacial y temporal de la dinámica sedimentaria en la Albufera de Valencia: de la gestión pesquera a la degradación actual

Temporal and spatial evolution of depositional dynamics in the Albufera de València: from fisheries to the current degradation

M. Galofré[1], C. Arenas[2], E. Vicente[3], A. Vicente de Vera[1] y B. Valero Garcés[1]

1 Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza. marcelgalofre@ipe.csic.es; blas@ipe.csic.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Área de Estratigrafía, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza. carenas@unizar.es
3 Departamento de Microbiología y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Valencia, 46100, Burjasot Valencia. eduardo.vicente@uv.es

Palabras clave: Antropoceno, paleolimnología, laguna costera, sedimentología, geoquímica.

Resumen

La Albufera de Valencia es una laguna costera de aguas oligohalinas e intensamente eutrofizada, situada al sur de la ciudad de Valencia (España). La pesca y las explotaciones de sal fueron actividades importantes hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando el cultivo del arroz se popularizó hasta convertirse en un monocultivo intensivo (Ibor *et al.*, 2001). Alrededor de la década de 1970, el uso de fertilizantes y pesticidas, el vertido de aguas residuales y la urbanización e industrialización de las inmediaciones llevaron a la Albufera a un estado de elevada contaminación y eutrofización. Con el objetivo de reconstruir la evolución espacial y temporal de la dinámica sedimentaria de la Albufera, se realizaron dos transectos de sondeos cortos, NE-SO y NO-SE. En este trabajo presentamos una reconstrucción basada en el estudio de 8 sondeos lacustres por medio del análisis de facies sedimentarias y de múltiples indicadores, como análisis químicos elementales (XRF e ICP-OES), análisis de isótopos estables en la materia orgánica ($\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$), nuevas dataciones de ^{14}C e integración de estudios previos (Marco *et al.*, 2019). La dinámica sedimentaria muestra una gran influencia de aportes terrígenos en el extremo norte de la Albufera y la compleja interrelación entre procesos aluviales, marinos y la actividad humana durante los últimos 200 años. Comprender el funcionamiento del sistema a lo largo de su historia facilitará encontrar una solución permanente para el actual estado de degradación de la Albufera.

Abstract

La Albufera de València is an oligohaline lagoon, currently hyper-eutrophic, located south of the city of Valencia (Spain). Fishing and salt exploitations were dominant economic activities until the second half of the 19th century, when rice farming became an intensive monoculture (Ibor et al., 2001). Around the 1970s, the use of fertilizers and pesticides, the uncontrolled wastewater discharge and the industrialization and urban development brought the Albufera to an unprecedented state of pollution and eutrophication. In order to improve the knowledge about the spatial and temporal Albufera's evolution, we have recovered and studied 8 short sediment cores along a two NE-SW and NW-SE transects. We present a paleolimnological study based on detailed sedimentological descriptions and multiproxy analysis, including elemental chemical analyses (XRF and ICP-OES), stable isotopes in organic matter ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$), new ^{14}C dating and the integration of previous studies (Marco et al., 2019). The depositional model illustrates the large impact of terrestrial input in the northern areas and the complex interaction among alluvial, marine and anthropic processes. Understanding how this system has developed through time will help to implement mitigation and remediation practices to improve the current degraded environmental stage of the Albufera.

Referencias

Ibor, C. S. (2001). *Regadiu i canvi ambiental a l'Albufera de València (Colección Oberta, Nº 57)*. Universitat de València. 334 p.

Marco-Barba, J., Burjachs, F., Reed, J.M., Santisteban, C., Usera, J.M., Alberola, C., Expósito, I., Guillem, J., Patchett, F., Vicente, E. y Mesquita-Joanes, F. (2019). *Limnetica* 38(1), 353-389.

Tsunamis en Chile central: el registro sedimentario de Matanzas

Tsunamis in central Chile: the sedimentary record of Matanzas

M. Galofré[1], M. Frugone[2] y B. Valero Garcés[1]

1 Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza. marcelgalofre@ipe.csic.es; blas@ipe.csic.es
2 Departamento de Ecología & Centro UC Desierto de Atacama, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. matutefrugone@gmail.com

Palabras clave: Paleosismología, Holoceno, fluorescencia de rayos X, sedimentología.

Resumen

La costa de Chile central se ubica en la zona de subducción entre la placa de Nazca y Sudamericana, y en ella se han registrado los eventos sísmicos tsunamigénicos más grandes del planeta (9.5 Mw, Valdivia 1960, 8.8 Mw, Maule 2010). Hemos aplicado técnicas de análisis sedimentológico y geoquímico (XRF) a la secuencia sedimentaria de la laguna de Matanzas (33.765°S, 71.675°W) recuperada en 2013 para identificar eventos sísmicos y depósitos de tsunamis durante el Holoceno y mejorar el conocimiento de la compleja evolución de su cuenca (Villa-Martínez, 2002; Contreras *et al*., 2014). El registro presenta intervalos masivos y capas de gravas y arenas intercaladas entre depósitos finamente laminados que se han interpretado como depósitos de tsunamis, posiblemente asociados a la dinámica litoral de ambientes de lagoon abierto durante la transgresión marina del Holoceno temprano y medio. Durante el Holoceno tardío los sedimentos son predominantemente bandeados depositados en ambientes lacustres o de lagoon restringido, produciéndose el aislamiento definitivo con el océano hace unos 600-1000 años cal BP. Este trabajo proporciona nuevos datos sobre cambios en la intensidad y frecuencia de terremotos y tsunamis en la costa de Chile central, necesarios para la mejor gestión de los riesgos geológicos.

Abstract

The coast of central Chile, located in the subduction zone between the Nazca and the South American plates, has recorded some of the largest tsunamigenic seismic events on the planet (9.5 Mw, Valdivia 1960, 8.8 Mw, Maule 2010). We have applied sedimentological and geochemical analysis (XRF) techniques to the sedimentary sequence of the Matanzas lake (33,765°S, 71,675°W) recovered in 2013 to identify seismic events and tsunami deposits during the Holocene and to improve the knowledge of the complex evolution of this coastal basin (Villa-Martinez, 2002; Contreras et al., 2014). The record presents massive intervals and layers of gravel and sand interspersed between finely layered deposits that have been interpreted as tsunami deposits, possibly associated with the coastal dynamics of open lagoon environments during the marine transgression of the early and middle Holocene. During the late Holocene, predominantly banded sediments deposited in a restricted lagoon, followed by fine grained, laminated deposits in lake environments after the definitive isolation from the Pacific Ocean about 600-1000 years ago. This work provides new data on changes in the intensity and frequency of earthquakes and tsunamis in the central Chile coast, needed for better management of geological risks.

Referencias

Contreras-López, M., Vergara Cortés, H. y Figueroa, R. (2014). *Anales Museo Historia Natural de Valparaíso* 27, 51-67.

Villa Martinez, R.P. (2002). *Historia del clima y la vegetación de Chile central durante el Holoceno: una reconstrucción basada en el análisis de polen, sedimentos, microalgas y carbón.* Tesis Doctoral, Univ. de Chile, 68 p.

El registro sedimentario antropoceno en la Ría del Nalón (Asturias): Impacto histórico de la minería de carbón y mercurio

The Anthropocene sedimentary record of the Nalón estuary (Asturias): Historical impact of coal and mercury mining

J. Gardoki[1], A. Cearreta[1], A. García-Artola[1], M.J. Irabien[1], J.E. Gómez-Arozamena[2] y V. Villasante-Marcos[3]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), 48080 Bilbao. jon.gardoqui@ehu.eus, alejandro.cearreta@ehu.eus, ane.garcia@ehu.eus, mariajesus.irabien@ehu.eus
2 Dpto. Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Universidad de Cantabria (UC), 39011, Santander. jose.gomez@uican.es
3 Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional 28014, Madrid. vvillasante@mitma.es

Palabras clave: foraminíferos bentónicos, geoquímica, radioisótopos, estuario.

Resumen

El registro sedimentario reciente de la Ría del Nalón (Asturias) está caracterizado por una importante señal antrópica, derivada de la extracción histórica de carbón y mercurio, particularmente desde 1850 (García-Ordiales *et al.*, 2017; 2018; 2020). Sin embargo, aún se desconoce la respuesta de la microfauna frente el estrés ambiental provocado por la contaminación antrópica en este estuario. Este trabajo se centra en el análisis multidisciplinar (foraminíferos bentónicos, sedimentología, geoquímica y magnetismo ambiental) de dos sondeos de 50 cm de longitud perforados en su zona intermareal media y datados mediante radioisótopos de vida corta. El estudio multidisciplinar de su registro sedimentario y el establecimiento de una cronología precisa han permitido una reconstrucción de la transformación ambiental del estuario durante los últimos 200 años como consecuencia de la actividad minera en su cuenca fluvial.

Abstract

The recent sedimentary record of the Nalón estuary (Asturias) is characterized by a relevant anthropogenic imprint, derived from the historical extraction of coal and mercury, particularly since 1850 (García-Ordiales et al., 2017; 2018; 2020). Nevertheless, the microfaunal response to environmental stress provoked by the anthropic pollution in this estuary remains unstudied. This work focuses on the multidisciplinary analysis (benthic foraminifera, sedimentology, geochemistry and environmental magnetism) of two 50-cm long intertidal cores drilled in the middle estuary that were dated by short-lived radioisotopes. The multidisciplinary study of its sedimentary record and the establishment of an accurate chronology have allowed a reconstruction of the environmental transformation of the estuary during the last 200 years as a consequence of the mining activity in its watershed.

Referencias

García-Ordiales, E., Cienfuegos, P., Roqueñí, N., Covelli, S., Flor-Blanco, G., Fontolan, G. y Loredo, J. (2017). *Environmental Science and Pollution Research* 26, 3115-3128.

García-Ordiales, E., Covelli, S., Rico, J.M., Roqueñí, N., Fontolan, G., Flor-Blanco, G., Cienfuegos, P. y Loredo, J. (2018). *Chemosphere* 198, 281-289.

García-Ordiales, E., Flor-Blanco, G., Roqueñí, N., Covelli, S., Cienfuegos, P., Álvarez, R., Fontolan, G. y Loredo, J. (2020). *Marine Geology* 424, 106167.

Cambios ambientales e impacto humano durante l Antropoceno en zonas de montaña: el registro sedimentario del lago Isoba (León, NO España)

Environmental changes and human impact during the Anthropocene in mountain areas: the sedimentary record of Lake Isoba (León, NW Spain)

J. Gardoki[1], M. Morellón[1], C. Morales-Molino[2], J. Remondo[3], M. Leira[4], C. Sierra-Fernández[5], M.L. Canales[1], V. Villasante[6], F. Martín-Hernández[7], R. González[7], D. Baragaño[8], A.F. Lotter[2], E. Gobet[2], C. Schwörer[2], W. Tinner[2]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis, 12. 28040-Madrid, España. jgardoqu@ucm.es; mmorello@ucm.es; mcanales@ucm.es

2 Institute of Plant Sciences & Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern. Altenbergrain 21, CH-3013, Bern (Switzerland). cesar.morales@ips.unibe.ch; andre.lotter@ips.unibe.ch; erika.gobet@ips.unibe.ch; christoph.schwoerer@ips.unibe.ch; willy.tinner@ips.unibe.ch

3 Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n. 39005-Santander (Cantabria), España. juan.remondo@unican.es

4 Dpto. Bioloxía, Universidade de A Coruña. 15008 A Coruña, España. m.leira@udc.es

5 Dpto. de Tecnología Minera, Topografía y de Estructuras, Universidad de León. 24071-León, España. csief@unileon.es

6 Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/ Alfonso XII, 3. 2014-Madrid. vvillasante@mitma.es

7 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid. Plaza de Ciencias, 1. 28040-Madrid. fatima@fis.ucm.es; ricarg01@ucm.es

8 INDUROT, Environmental Technology, Biotechnology, and Geochemistry Group, Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, 33600-Mieres (Asturias), España. diegobcoto@uniovi.es

Palabras clave: diatomeas, sedimentos lacustres, Antropoceno, León.

Resumen

Isoba (43º 02' N, 5º 18' O, 1400 m s.n.m.m.) es un lago de origen glaciokárstico de 5.5 m de profundidad situado en el oeste de la Cordillera Cantábrica. El análisis multidisciplinar de un sondeo de 66.5 cm (sedimentología, geoquímica, susceptibilidad magnética, polen y diatomeas), de la zona más profunda del lago y datado mediante ^{210}Pb y ^{137}Cs, ha permitido reconstruir los principales cambios ambientales registrados en la zona durante los últimos siglos como resultado del impacto antrópico y la variabilidad climática reciente. Los resultados indican un aumento en la tasa de sedimentación y de la concentración de metales pesados (Pb, Zn, Cu) a partir de la segunda mitad del siglo XX, coincidiendo con la llamada "Gran Aceleración", y son coherentes con las reconstrucciones de las zonas costeras del Cantábrico. El estudio en curso de las asociaciones de la microflora de diatomeas y sus variaciones en abundancia y diversidad, permiten una reconstrucción más precisa de los cambios ambientales locales y regionales registrados en esta zona durante el Antropoceno.

Abstract

Isoba (43º 02' N, 5º 18' W, 1400 m a.m.s.l.) is a glaciokarstic lake with 5.5 m water depth, located in the western Cantabrian Range. The present study focuses on a 66.5 cm long core recovered from the deepest area of the lake, and dated by ^{210}Pb and ^{137}Cs. The multidisciplinary approach (sedimentology, geochemistry, magnetic susceptibility, pollen and diatoms) allows reconstructing the main environmental changes occurred during the last centuries, as a result of the interplay of anthropic impact and recent climatic variability. Results indicate an increase in sedimentation rate and heavy metal concentration (Pb, Zn, Cu) since the second half of the 20th century, coincident with the so called 'Great Acceleration'. The aforementioned increasing tendency is coherent with Cantabrian coastal records. Our study on diatom microflora, and its variations in abundance and diversity, aims to reconstruct precisely the main local and regional environmental changes recorded in this particular mountain area during the Anthropocene.

Técnicas no destructivas para la determinación de procesos de meteorización física y química en las Islas Shetland del Sur, Antártida

Non-destructive techniques for the assessment of physical and chemical weathering processes in the South Shetland Islands, Antarctica

M. Gomez-Heras[1], J.A. Ortega-Becerril[1], B. Oliva-Urcia[1], J. López-Mártínez[1], T. Schmid[2] y R. Fort[3]

1 Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid, miguel.gomezheras@uam.es
2 Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas-CIEMAT, 28040 Madrid.
3 Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), 28040 Madrid.

Palabras clave: Península Antártica, meteorización, playas levantadas, geomorfología

Resumen

En las Islas Shetland del Sur son comunes los depósitos de playas levantadas principalmente por la evolución glacioisostática. Estos depósitos están formados por acumulaciones de cantos redondeados de tamaño centimétrico a decimétrico. Una vez depositados, estos cantos sufren diferentes procesos de meteorización física (p.ej. crioclastia, haloclastia y biodeterioro) que dan lugar a la formación de microfracturas, normalmente invisibles a simple vista. Al mismo tiempo, los procesos de meteorización química (p.ej. oxidación de minerales ricos en hierro) producen cambios de color superficial de los cantos. El establecimiento de pautas en la evolución de la meteorización en playas levantadas de diferentes edades (pre-Holoceno a Holoceno), sirven para inferir como han actuado y con qué velocidad los diversos procesos de meteorización. Este trabajo muestra los resultados de un conjunto de técnicas no destructivas como espectrofotometría, dureza al rebote (mediante martillo de Schmidt y Equotip) y velocidad de propagación de ultrasonidos y discute su efectividad a la hora de discernir que procesos físicos y químicos de meteorización han tenido lugar en los depósitos estudiados. [Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos CTM2014-57119-R y RTI2018-098099-B-I00 del Plan Nacional de I+D+i y S2018/NMT-4372 del Programa de I+D de la Comunidad de Madrid.]

Abstract

Raised beach deposits are a common feature in the South Shetland Islands. These deposits, formed mainly by glacioisostatic evolution, consist of accumulations of rounded centimetre to decimetre size pebbles. Once deposited, these pebbles undergo different physical weathering processes (e.g. cryoclasty, haloclasty and biodeterioration) leading to microcracking, which is usually invisible to the naked eye. At the same time, chemical weathering processes (e.g. oxidation of iron-rich minerals) cause colour changes. The establishment of patterns in the evolution of weathering on raised beaches of different ages (pre-Holocene to Holocene), serve to infer how various weathering processes have acted and how quickly. This work shows results from a series of non-destructive techniques such as spectrophotometry, rebound hardness (using Schmidt and Equotip hammer) and ultrasonic propagation velocity and discusses their effectiveness in discerning what physical and chemical weathering processes have taken place in the studied deposits. [This work was carried out in the frame of projects: CTM2014-57119-R and RTI2018-098099-B-I00 from the Spanish RDI National program and project S2018/NMT-4372 from the RD program of the regional government of Madrid.]

Identificación de impactos antropogénicos en el registro sedimentario estuarino: aplicación en la ría de Suances.

Identification of anthropogenic impacts in the estuarine sedimentary record: Suances estuary as a case study.

M.J. Irabien[1], A. Cearreta[1], H. Serrano[1], J. Gómez-Arozamena[2]

1 Dpto. de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao, mariajesus.irabien@ehu.eus, alejandro.cearreta@ehu.eus, humberto.serrano@ehu.eus

2 Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas, Universidad de Cantabria, Avda Herrera Oria s/n, 39011 Santander, jose.gomez@unican.es

Palabras clave: estuario, metales, radioisótopos, foraminíferos, sondeos sedimentarios

Resumen

El estudio combinado de las concentraciones de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Hg), la signatura isotópica del Pb, el contenido en radioisótopos (^{210}Pb, ^{137}Cs, $^{239+240}$Pu) y la evolución temporal de las asociaciones de foraminíferos en tres sondeos recogidos en la zona media de la ría de Suances (Cantabria) ha permitido identificar la huella de diferentes actividades humanas durante los últimos 140 años en el registro sedimentario: 1) Cambios en el uso del suelo: la desaparición de foraminíferos y de radioisótopos a 9 cm de profundidad en el sondeo realizado junto a la depuradora de aguas residuales de Vuelta Ostrera (EDAR, 49 cm de longitud) aparece como evidencia de la ocupación histórica de la marisma para actividades agrícolas y de su posterior recuperación ambiental; 2) Explotación de recursos: la elevada contaminación por Pb, Zn y Cd presente en los sedimentos del sondeo realizado aguas abajo (Miengo 2, 47 cm de longitud) refleja la herencia medioambiental dejada por las actividades mineras desarrolladas en Reocín. Así mismo, se han identificado las improntas radioisotópicas y geoquímicas derivadas de un episodio catastrófico (la rotura en 1960 del depósito de residuos mineros conocido como "La Luciana") y de la inundación de la mina tras su cierre en 2003; 3) Actividades industriales: la desaparición de los foraminíferos en el registro sedimentario reciente (post 1933) del sondeo Miengo 2 parece estar relacionada con los vertidos ácidos de la industria local. Igualmente, se observa una excelente relación entre la evolución de las concentraciones de mercurio a lo largo del sondeo Miengo 1 (47 cm de longitud) y los datos históricos disponibles sobre la producción de cloro-álcali.

Abstract

The combined study of heavy metal concentrations (Pb, Zn, Cu, Hg), isotopic signature of Pb, radioisotope contents (^{210}Pb, ^{137}Cs, $^{239+240}$Pu) and evolution with time of foraminiferal assemblages in three cores collected in the middle zone of the Suances estuary (Cantabria) allowed the identification of the fingerprint left in the sedimentary record by different human activities during the last 140 years: 1) Changes in land use: the disappearance of foraminifera and radioisotopes at 9 cm depth in the core retrieved close to the Vuelta Ostrera wastewater treatment plant (EDAR, 49 cm long) reflects the reclaimation of the saltmarsh for agricultural activities and its subsequent environmental recovery; 2) Resource exploitation: the high contamination by Pb, Zn and Cd present in the sediments of the core collected downstream (Miengo 2, 47 cm long) reflects the environmental impact left by mining activities carried out in Reocín. Likewise, radioisotopic and geochemical imprints derived from a catastrophic episode (the breakage in 1960 of the "La Luciana" mining wastes deposit) and the flooding of the mine after its closure in 2003 have been also identified; 3) Industrial activities: the disappearance of foraminifera from the recent sedimentary record (post 1933) of the Miengo 2 core seems to be related to the acid spills from the local industry. Furthermore, an excellent relationship is observed between the evolution of mercury concentrations along the Miengo 1 core (47 cm long) and the historical data available on the chlor-alkali production.

Evolución del relieve en la Cordillera Cantábrica Central (Asturias): ¿movimientos en masa paraglaciales en Vía Carisa?

Landscape evolution in Central Cantabrian Mountains (Asturias): paraglacial landslides in Via Carisa?

M. Jiménez-Sánchez [1]; L. Rodríguez – Rodríguez[2], M. J. Domínguez-Cuesta[1]; G. Fernández-Viejo[1], J. Olona[1], P. Farias[1], B. Naves[1], D. Ballesteros, P. Valenzuela, S. González-Lemos[1]

1 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo. mjimenez@uniovi.es, dominguezmaria@uniovi.es, gaby@geol.uniovi.es, olona@geol.uniovi.es, pvalenzuela@geol.uniovi.es, saul@geol.uniovi.es
2 CITIMAC, Universidad de Cantabria, Avd. los Castros 48, 39005 Santander. laura.rodriguezr@unican.es
3 UMR 6266 IDEES, Université de Rouen-Normandie/CNRS. Mont Saint-Aignan CEDEX, Francia. balledan@univ-rouen.fr

Palabras clave: Geoarqueología, Vía Carisa, Asturias, movimientos en masa, datación

Resumen

Este trabajo presenta parte de los resultados de la investigación geoarqueológica realizada en el campamento romano de Vía Carisa (Camino *et al.* 2001), en la montaña central asturiana (43°5'29''N, 5° 42'8"E). El objetivo era establecer la evolución del paisaje y su interacción con la actividad humana. La metodología de trabajo combinó cartografía geomorfológica, investigación geofísica, realización de sondeos manuales en depósitos lagunares y datación por radiocarbono AMS. El relieve resulta de la interacción de procesos fluviales, de gravedad y antrópicos, destacando la presencia de antiguos movimientos en masa cubiertos por pequeñas lagunas estacionalmente desecadas. La datación radiométrica de la base de dos sondeos (calibrada según Stuiver *et al.* 2020) proporcionó edades mínimas de 31.960 ± 240 años BP (36.138-35.607 años cal BP) y 25.310 ± 130 años BP (29.549-29.179 años cal BP) para los movimientos en masa. Estos datos son consistentes con la edad de depósitos proglaciares de otras áreas de la Cordillera Cantábrica (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2015) y permiten sugerir la posibilidad de condiciones paraglaciares (anteriores a 36 ka BP) para el desarrollo de los depósitos gravitacionales.

Abstract

This paper presents part of the results of the geoarchaeological research carried out in the Roman camp of Via Carisa (Camino et al. 2001), in the central Asturian mountains (43°5'29''N, 5°42'8" E). The research aimed to establish the evolution of the landscape and its interaction with human activity. The work methodology combined geomorphological mapping, geophysical research, hand-drill coring in pond deposits and AMS radiocarbon dating. The landscape of the area results from the interaction of fluvial, gravity and anthropic processes, with the outstanding appearance of ancient mass movements and colluvium covered by small seasonally dried ponds. Radiometric dating (calibrated according Stuiver et al. 2020) of the bottom of two cores provided minimum ages of 31.960 ± 240 yr BP (36,138-35,607 yr cal BP) and 25,310 ± 130 BP (29,549-29,179 yr cal BP) for the landslides. These data are consistent with the chronology of proglacial deposits from other areas of the Cantabrian Mountains (Rodríguez-Rodríguez et al. 2015) and suggest the possibility of paraglacial conditions (prior to 36 ka BP) for the development of the gravitational deposits.

Referencias

Camino Mayor, J., Estrada García, R., Viniegra Pacheco, Y. (2002): El campamento romano de la Vía Carisa en Asturia Transmontana. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I*, 14, 261-276

Rodríguez-Rodríguez, L., Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M.J., Aranburu, A., 2015. Research history on glacial geomorphology and geochronology of the Cantabrian Mountains, north Iberia (43–42°N/7–2°W). *Quaternary International,* 364, 6-21.

Stuiver, M., Reimer, P.J., and Reimer, R.W., 2020, CALIB 7.1 [WWW program] at http://calib.org, accessed 2020-2-25

Retorno a Cova Rosa. Nuevas investigaciones geoarqueológicas en el yacimiento del Pleistoceno superior de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, España).

Cova Rosa revisited. New geoarchaeological researchs at the Upper Pleistocene site of Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias, Spain).

J.F. Jordá Pardo[1, 4], D. Álvarez-Alonso[2], E. Álvarez-Fernández[3,4], M. de Andrés-Herrero[5], P. Arias[6], J. Bécares[3,4], P. Carral[7], M. Cubas[8], K. Douka[9], C. Duarte[10], N. García-Ibaibarriaga[11], M.J. Iriarte-Chiapuso[11], C. López-Tascón[8], A. Maestro[12], S. Martín-Jarque[3,4], J. Molina[1], X. Murelaga[13], A. Palencia[14], R. Portero[3,4], J. del Río[15], M. Rivero[14], A. Suárez-Bilbao[11] y L. Teira[6]

1 LEP. Dpto. Prehistoria y Arqueología, UNED. Madrid, Spain. jjorda@geo.uned.es / 2 Dpto. Prehistoria y Arqueología, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, Spain. / 3 Dpto. Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología, Universidad de Salamanca. Salamanca, Spain. / 4 GIR-PREUSAL, Universidad de Salamanca. Salamanca, Spain. / 5 Dpto. Historia y Arqueología, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), Spain. / 6 IIIPC, Universidad de Cantabria. Santander, Spain. / 7 Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, Spain. / 8 Dpto. Historia, Universidad de Oviedo. Oviedo, Spain. / 9 ORAU, University of Oxford. Oxford, United Kingdom. / 10 ICArEHB, Universidade do Algarve. Faro, Portugal. / 11 Dpto. Geografía, Prehistoria y Arqueología, UPV-EHU. Vitoria-Gasteiz, Spain. / 12 Dpto. Investigación y Recursos Geológicos, IGME.Madrid, Spain. / 13 Dpto. Estratigrafía y Paleontología. UPV-EHU. Bilbao, Spain. / 14 Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, Spain. 15 Instituto de Geociencias IGEO, CSIC-UCM. Madrid, Spain.

Palabras clave: Karst, Estratigrafía, Sedimentología, Pleistoceno superior, Paleolítico superior.

Resumen

La cavidad kárstica de Cova Rosa (Sardéu, Ribadesella, Asturias), abierta en las calizas de La Escalada (Moscoviense, Carbonífero), contiene una importante secuencia arqueosedimentaria excavada durante la segunda mitad del siglo XX por Jordá Cerdá y Gómez Fuentes (1982) con niveles del Solutrense, Magdaleniense y Mesolítico, estudiada sedimentológicamente por Hoyos Gómez (1979). En los últimos años los miembros de un amplio equipo de investigación estamos trabajando de nuevo sobre este yacimiento y sus materiales (Álvarez-Fernández y Jordá Pardo, 2018) y en este trabajo presentamos la secuencia estratigráfica que ha sido estudiada de nuevo con metodología geoarqueológica.

Abstract

The karstic cavity of Cova Rosa, open in the La Escalada limestones (Moscovien, Carboniferous) contains an important archaeosedimentary sequence excavated during the second half of the 20th century by Jordá Cerdá and Gómez Fuentes (1982) with levels of Solutrense, Magdalenian and Mesolithic, studied sedimentologically by Hoyos Gómez (1979). In the last years members of a large research team are working again on this site and its materials (Álvarez-Fernández and Jordá Pardo, 2018) and in this contribution we present the stratigraphic sequence that has been studied again with geoarchaeological methodology.

Referencias

Álvarez-Fernández, E. y Jordá Pardo, J.F. (Eds.) (2018). *El poblamiento prehistórico en el valle del Sella. Cincuenta años del descubrimiento de la cueva de Titot Bustillo y 60 de las primeras intervenciones del profesor Francisco Jordá en las cuevas de El Cierro y Cova Rosa (Ribadesella, Asturias)*. Asociación Cultural Amigos de Ribadesella, Universidad de Salamanca y UNED, Ribadesella, 208 p.

Hoyos Gómez, M. (1979). *El karst de Asturias en el Pleistoceno superior y Holoceno. Estudio morfológico, sedimentológico y paleoclimático*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 446 p.

Jordá Cerdá, F. y Gómez Fuentes, A. (1982). *Cova Rosa-A*. Universidad de Salamanca, Salamanca, 108 p.

Estimación de la edad de las terrazas fluviales del río Yeltes (Salamanca) mediante cronofunciones.

Assessment of the age of the Yeltes River fluvial terraces (Salamanca) through chronofunctions.

I. Martín-Martín[1], P.G. Silva[1] y A.M. Martínez-Graña[1]

1 Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca (USAL), Plaza de los Caídos s/n., 37008, Salamanca, España. ivan_martin96@usal.es; pgsilva@usal.es; amgranna@usal.es

Palabras clave: Terrazas fluviales, Cronología, Río Yeltes, Macizo Ibérico, Cuenca del Duero (España)

Resumen

Este trabajo analiza la evolución geomorfológica cuaternaria del río Yeltes-Huebra, junto con el Águeda y el Tormes, afluentes más importantes del Duero en la zona fronteriza con Portugal, aguas abajo del importante escalón topográfico e hidrográfico que supone el Cañón de Los Arribes (c.450 m). Se ha realizado la cartografía de detalle de la zona donde el Yeltes se encaja en la superficie de la Raña de la cuenca de Ciudad Rodrigo, a una altitud relativa de +102-105 m en la zona (Martín-Martín, 2019) pero alrededor de +450-500 m con relación al Duero donde se prolonga sobre la Superficie de erosión fundamental del Macizo Ibérico (Cunha *et al.*, 2019). Se han identificado 9 terrazas entre +77-80 m (T1) +3-4 m (T9) encajadas en la Raña entre las localidades de El Maillo (Sierra de Francia) y Pedraza de Yeltes (Superficie de Erosión). El análisis cronológico se ha realizado mediante la aplicación de las cronofunciones desarrolladas por Silva *et al.*, (2017) para los valles fluviales de la vertiente atlántica de la zona central de la Península Ibérica. El análisis realizado indica que la red fluvial se desarrolló a partir de 1,1 - 1,2 Ma y que el exorreísmo (captura atlántica) comenzó hace unos 1,6-1,8 Ma, correlativa a los últimos estadios de desarrollo de La Raña y con la edad de la captura atlántica (c. 1,8 Ma) de la cuenca del Duero propuesta recientemente con datos de la zona portuguesa por Cunha *et al.* (2019). Los datos cronológicos obtenidos indican que el desarrollo de terrazas coincide en la mayoría de los casos con estadios isotópicos (OIS) cálidos o más bien el tránsito de estadios fríos a cálidos, especialmente a partir del OIS 9 (c. 300 ka) cuando la conectividad del drenaje Atlántico-Duero puede decirse que ya fue completamente efectiva. Estos nuevos datos requieren de futuras dataciones para comprobar si las terrazas más altas del Yeltes (> 50 m) podrían ser más antiguas y correlativas a los rañizos de la Cuenca del Tajo (Silva *et al.*, 2017), considerando sus alturas relativas respecto a Los Arribes.

Abstract

This paper analyses the Quaternary geomorphological evolution of the Yeltes-Huebra River (together with the Águeda and the Tormes ones) are the main tributaries of the Duero downstream of the important topographic and hydrographic step constituted by Los Arribes Canyon (c.450 m) around the Portuguese border. A detailed geomorphologic cartography of the Yeltes valley has been performed in the area in which this river dissects the Early Pleistocene Raña surface throughout the Ciudad Rodrigo Neogene Basin at a relative altitude of +102-105 m (Martín-Martín, 2019). This altitude coincides with the fundamental erosion surface of the Iberian Massif, at +450-500 m downstream Los Arribes topographic step in the Portuguese Douro (Cunha et al., 2019). The chronological analysis applies the chronofunctions developed for Central Spain by Silva et al., (2017). This analysis indicates that the drainage network in the zone developed from 1.1 - 1.2 My and that exorheism began some 1.6-1.8 My ago, coinciding with the age of the Atlantic capture (c. 1.8 My) of the Duero basin recently proposed by Cunha et al. (2019) with data from the Portuguese area. The obtained chronological data indicate that terrace formation coincides in most cases with warm isotopic stages (OIS) or rather the transit from cold to warm stages, especially from OIS 9 (c. 300 ky) when the connectivity of the Atlantic-Duero drainage can be said to be effective.

Referencias

Cunha, P., Martins, A., Gomes, A., Stokes, M., Cabrale, J., Lopes, F., Pereira, D., De Vicente, G., Buylaert J. P., Murray, A. S. and Antón, L. (2019). *Global and Planetary Change* 181, https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102985

Martín-Martín, I. (2019). *Evolución geomorfológica del río Yeltes (Salamanca) durante el Cuaternario.* Trabajo Fin de Máster (Inédito). Universidad de Salamanca. 45 p.

Silva, P. G., Roquero, E., López-Recio, M., Huerta, P. y Martínez-Graña, A. M. (2017). *Quaternary Science Reviews* 166, 188-203. http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.05.027

Influencia de la falla de Galera en el relieve del sector oriental del Geoparque de Granada (Cordillera Bética central)

Influence of the slow Galera Fault in the landscape of the Eastern Granada Geopark (central Betic Cordillera)

I. Medina-Cascales[1], FJ. García-Tortosa[2], I. Martin-Rojas[1], P. Alfaro[1]

1 Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690, San Vicente del Raspeig, Alicante, Spain.
2 Dpto. de Geología, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, Spain. gtortosa@ujaen.es

Palabras clave: Cuaternario, falla activa, geomorfología tectónica, índices geomorfológicos.

Resumen

El paisaje de badlands entre Castilléjar y Galera es uno de los paisajes más atractivos del sector oriental del Geoparque de Granada y está estrechamente ligado a la actividad reciente de la falla de Galera. Esta falla de salto en dirección sinistrorsa, de unos 30 km de longitud, deforma rocas sedimentarias del Plio-Pleistoceno y también afecta en algunos lugares terrazas fluviales del Holoceno. Esta falla activa tiene una baja tasa de desplazamiento horizontal, de aproximadamente 0,5 mm/año y una componente de salto vertical aún menor, que varía entre 0,02 y 0,05 mm/año. El análisis cuantitativo de la topografía y de la red de drenaje, y el cálculo de varios índices geomorfológicos (PRR: *profile relief ratio*, AF: factor de asimetría, SL: índice del gradiente del perfil longitudinal de un río, y Vf: relación entre anchura y altura del valle) muestran como a pesar de la baja tasa de desplazamiento de la falla, su movimiento queda reflejado en el relieve, gracias también al tipo de roca y al clima semiárido. El desplazamiento horizontal de la falla ha producido desvíos laterales de algunos cauces, ha desarrollado canales subparalelos a la traza de la falla y ha formado una pequeña cuenca *pull-apart*. Por otra parte, el desplazamiento vertical de la falla ha elevado el bloque meridional, especialmente en su sector central. Este levantamiento tectónico ha generado una asimetría muy marcada en las cuencas de drenaje entre ambos bloques de falla. En el bloque meridional, más elevado, los cauces son generalmente más cortos y menos maduros, con un perfil longitudinal de mayor pendiente, que producen una mayor incisión fluvial y tienen cuencas de drenaje más pequeñas. En este bloque es donde se ha generado el relieve de *badlands* durante aproximadamente los últimos 500 ka. Por el contrario, en el bloque meridional, los cauces son más largos y maduros, con perfiles longitudinales más suaves, una incisión fluvial menor y con cuencas de drenaje más extensas.

Abstract

The badlands between Castilléjar and Galera is one of the most significant features of the Ganada Geopark landscape. These badlands are related to the Galera Fault. This 30 km-long active structure presents a strike-slip kinematics with a minor reverse component. Fault slip rates of the Galera Fault are low, ~0.5 mm/yr of strike-slip rate and 0.02-0.05 mm/yr of vertical slip rate. We carried out a quantitative Analysis of the topography and drainage network by means of the application of different geomorphic indexes (PRF, AF, SL and Vf) to check the tectonic activity. Our studies show that, despite the low fault-slip rate, fault-related displacement controls the evolution of the landscape, because of the high erodibility of outcropping rocks and semi-arid conditions. The strike-slip component of the Galera Fault is responsible for stream deflections, fault-strike-subparallel channels, and the development of a pull-apart basin. Uplift related to the Galera Fault generated an asymmetric landscape between fault blocks. In the south uplifted block streams are generally shorter, less mature, with steeper longitudinal profiles, higher valley incision, and smaller catchments. Bandlands landscape develops in this south block during the last 500 kyr. In the downthrown north block, streams are generally longer, more mature, with gentler longitudinal profiles, less valley incision, and larger catchments.

El impacto de la minería en la sedimentación y la ecología de lagos de alta montaña: el registro sedimentario de La Cueva (Asturias, NO de España)

The impact of mining in the sedimentation and ecology of high mountain lakes: The sedimentary record of La Cueva (Asturias, NW Spain)

M. Morellón[1], J. Vegas[2], C. Morales-Molino[3], A. Vicente de Vera[4], M. Leunda[3], S. Plà-Rabes[5], J. Sánchez-España[2], F. Martín-Hernández[6], J.A. Rodríguez-García[2], M.P. Mata[2]

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis, 12. 28040-Madrid, España. mmorello@ucm.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, IGME. Calle Ríos Rosas 23. 28003 Madrid, España. j.vegas@igme.es; j.sanchez@igme.es; ja.rodriguez@igme.es; p.mata@igme.es
3 Institute of Plant Sciences & Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern. Altenbergrain 21, CH-3013, Bern (Switzerland). cesar.morales@ips.unibe.ch; maria.leunda@ips.unibe.ch
4 Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) – CSIC, Avda. Montañana 1005, 50015 Zaragoza (Zaragoza) a.vicentevera@csic.es
5 CREAF. Campus de Bellaterra (UAB), Edifici C. 08193 Cerdanyola del Vallès, Barcelona (Spain). s.pla@creaf.uab.cat
6 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid. Plaza de Ciencias, 1. 28040-Madrid. fatima@fis.ucm.es

Palabras clave: lagos de montaña, sedimentos lacustres, análisis multiproxy, último milenio, minería

Resumen

La Cueva (43º 03' N, 6º 06' O, 1550 m s.n.m.) es un lago de origen glaciar de 21 m de profundidad situado en el Parque Natural de Somiedo (oeste de la Cordillera Cantábrica, Asturias). El entorno del lago ha estado sometido al impacto de la minería de hierro desde el siglo XIX hasta finales del XX. Recientemente se llevó a cabo una restauración medioambiental que implicó el emplazamiento de escombreras en la cuenca de drenaje. El análisis multidisciplinar (sedimentología, geoquímica, susceptibilidad magnética, imanación remanente, polen, carbones, esporas de hongos coprófilos y diatomeas) de un sondeo de 66 cm recuperado en la zona más profunda del lago y datado mediante ^{210}Pb y ^{14}C permite reconstruir la evolución del lago durante el último milenio, desde su estado "pre-impacto minero" hasta la actualidad. El registro sedimentario de La Cueva muestra cómo el cambio climático reciente y las diversas actividades humanas (agricultura, ganadería, minería, explotación hidroeléctrica) han provocado cambios en la dinámica sedimentaria y biológica del lago y la vegetación de su cuenca. Este estudio muestra la compleja interacción e importancia relativa entre variabilidad climática y actividades humanas en la evolución reciente de los lagos de montaña y la conveniencia de las investigaciones paleolimnológicas para la evaluación de las medidas de restauración medioambiental en zonas protegidas.

Abstract

La Cueva (43º 03' N, 6º 06' O, 1550 m asl) is a 21-m deep lake of glacial origin located in the Somiedo Natural Park (western Cantabrian Range, Asturias). The lake catchment has been subjected to the impact of iron mining since the early 19th century until late 20th century. The recently accomplished environmental restoration of the area involved the re-deposition of large tailings in the lake catchment. The multi-proxy analysis (sedimentology, geochemistry, magnetic susceptibility, magnetic remanence, diatoms, pollen, charcoal and dung fungal spores) of a 66-cm long sediment core, recovered from the deepest area of the lake and dated using ^{210}Pb and ^{14}C, allows reconstructing the dynamics of this lake during the last millennium from its 'pre-mining impact' conditions to the present. The sedimentary sequence of La Cueva has recorded how recent climate change and diverse human activities (farming, cattle raising, mining, hydropower) have driven changes in the sedimentary and biological dynamics of the lake and the surrounding vegetation. This study illustrates the complex interaction and relative importance of climate variability and human impact in the recent evolution of mountain lakes and the importance of paleolimnological research on the evaluation of restoration measurements in natural protected areas.

Cambios paleoambientales en el Cuaternario de la plataforma marina de las Guayanas detectados por medio del foraminífero Ammonia tepida

Palaeoenvironmental changes in the Quaternary of the Guianas continental shelf, using Ammonia tepida foraminifera

A. Pascual[1], M. Pujos[2] y B. Martínez-García[3]

1 Dpto. de Geología. Fac. Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco UPV/EHU Apdo. 644, 48080 Bilbao. ana.pascual@ehu.eus
2 5 Allée du Prat, Cestas, F-33610 France. pujosm@wanadoo.fr
3 Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro Geo-Q, Mendibile kalea, 48940 Leioa, Bizkaia blancamaria.martinez@ehu.eus

Resumen: Se han estudiado los ejemplares de la especie de foraminífero Ammonia tepida, indicativa de la presencia de aguas de origen amazónico, en 4 testigos sedimentarios extraídos en la plataforma marina de las Guayanas. El análisis de su distribución, junto con dataciones absolutas ^{14}C, ha permitido identificar cuatro unidades que caracterizan cambios oceanográficos registrados a lo largo del Cuaternario. La unidad 4 (42.350-37.377 años cal BP) representa un ambiente litoral con fuerte dinámica y libre de la influencia amazónica en la actual isobata de 47 m. La Unidad 3 (26.071-13.302 años cal BP) pone de manifiesto la existencia de una antigua línea de costa, sin influencia amazónica donde hoy se sitúa la actual plataforma externa. La Unidad 2 (9720-1086 años cal BP) indica ambientes someros, reductores y evaporíticos, sobre todo en los testigos obtenidos a menor profundidad. La unidad 1 señala la sedimentación más reciente (1086 años cal BP-Actualidad), dominando a profundidades menores de 20 m *A. tepida*, donde aparecen los bancos de lodo originados por la carga en suspensión de origen amazónico.

Palabras clave: *Ammonia tepida*, foraminíferos bentónicos, paleoceanografía, plataforma de las Guayanas, Cuaternario.

Abstract: *The specimens of the Ammonia tepida foraminifera, found in 4 cores extracted from the Guianas continental shelf, have been studied. This species indicates the presence of waters of Amazonian origin in this shelf. The analysis of its distribution, together with Carbon-14 dating, has allowed us to identify four units that characterize oceanographic changes recorded throughout the Quaternary. Unit 4, dated between 42,350 and 37,377 years cal BP, represents a coastal environment with strong dynamics and free of the Amazonian influence in the current 47 m isobath. Unit 3 (26,071-13,302 years cal BP) shows the existence of an old coastline, without Amazonian influence, where the outer shelf is currently located. Unit 2 (9720-1086 years cal BP) indicates shallow, low oxygen and evaporitic environments, especially in cores obtained at small depths. Unit 1 indicates the most recent sedimentation (1086 years cal BP- Present). Ammonia tepida is very abundant in areas less than 20 m deep, where mud banks originate from the suspended load of Amazonian origin.*

Keywords: *Ammonia tepida, benthic foraminifera, palaeoceanography, Guianas continental shelf, Quaternary*

INTRODUCCION

Las Guayanas (Guyana, Surinam y Guayana francesa) forman parte de la fachada Noreste de América del Sur (2º-8ºN y 51º-61ºW). El antepaís está constituido por el zócalo guyanés precámbrico, cristalino y metamórfico, que se encuentra peneplanizado y cubierto por un espeso manto forestal gracias a su clima ecuatorial con estaciones seca y lluviosa alternantes.

La plataforma continental de las Guayanas está constituida por una banda continua de más de 1100 km de longitud y de 100 a 150 km de ancho. Está limitada por una ruptura de pendiente alrededor de las isobatas de 80 a 100 m, a menudo señalada por formaciones arrecifales erosionadas, por debajo de las cuales se desarrolla un vasto talud cortado por cañones submarinos (Pujos y Odin, 1986). La morfología de esta plataforma está caracterizada por largas bandas paralelas a la costa, de pendiente débil a moderada, lo que facilita la sedimentación de material terrígeno. A lo largo de la costa aparecen bancos limosos e interbancos hasta las isobatas 20 a 25 m. La sedimentación que cubre la plataforma está compuesta por dos facies alternantes: terrígena y biogénica-autigénica, que es el resultado del sedimento aportado por el río Amazonas, y por las variaciones glacioeustáticas plio-pleistocenas. En épocas de bajo nivel marino se registran facies relictas autóctonas de arenas, minerales autigénicos, ferruginosos, oolitos y complejos bioarrecifales (Pujos y Odin, 1986). En periodos de alto nivel del mar se depositan en las costas abundantes cantidades de lodos, en forma de bancos, procedentes principalmente del Amazonas.

La hidrodinámica de la plataforma continental está directamente influenciada por la corriente de las Guayanas, rama norte de la corriente ecuatorial originaria de Guinea. Esta arrastra hacia el NW los aluviones del Amazonas que se depositan a lo largo del litoral hasta el delta del Orinoco

(Pujos y Odin, 1986). Toda la plataforma marina guyanesa está afectada por estos aportes del río Amazonas, el sistema fluvial más grande del mundo con una cuenca de drenaje de $6{,}1x10^6$ km^2, y con una media anual de sedimentos descargados y transportados en suspensión de 754 x 10^6 T/año entre 1995 y 2007 (Anthony *et al.*, 2010).

Alrededor del 90% de la carga total de sedimentos del Amazonas son limo y arcilla. Del 15 al 20% de esta descarga se manifiesta por grandes plumas de turbidez en las proximidades de la desembocadura del Amazonas formando bancos de barro. Estos migran hacia el noroeste bajo la acción de la corriente de Guayana, el oleaje y las corrientes litorales. Los bancos aparecen espaciados a intervalos de 15 a 25 km y generalmente se encuentran hasta 20-30 m de profundidad (Anthony *et al.*, 2010). La migración de los bancos de lodo es responsable de cambios morfológicos en el litoral de las Guayanas: acreción y erosión de la línea de costa y de las marismas, cambios ecológicos en los manglares y desviación de las bocas de los estuarios hacia el NW (Anthony *et al.*, 2019).

En este trabajo se presenta la información aportada por los foraminíferos bentónicos, especialmente por la especie *Ammonia tepida* (Cushman), en 4 testigos sedimentarios extraídos en la plataforma de las Guayanas. La sucesión a lo largo de los testigos de esta especie eurihalina que señala el paso de las aguas amazónicas a lo largo de esta plataforma (Pascual *et al.*, 2009), permite poner de manifiesto los paleoambientes que se han sucedido en esta zona a lo largo del Cuaternario. De esta manera se complementan los estudios previos referentes a la distribución de las asociaciones actuales (Margerel, 1977; Debenay *et al.*, 2004; Pascual *et al.*, 2009) y finicuaternarias (Pujos y Pascual, 1992; Pascual y Pujos, 1996, 1997) de foraminíferos bentónicos en la plataforma de las Guayanas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudian los ejemplares de *A. tepida* en 4 testigos sedimentarios extraídos de la plataforma de las Guayanas en la campaña oceanográfica Guyante II, realizada a bordo del buque oceanográfico Le Suroît, por el Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine (IGBA) en 1990 (Fig. 1). Los testigos fueron obtenidos mediante un perforador "Kullenberg core" y sus facies principales, reconocidas mediante sísmica de 3,5 Khz, corresponden a depósitos del Cuaternario (Pujos y Pascual, 2015). Estos testigos han estado almacenados en el Departement de Géologie et Océanographie de la Universidad de Bordeaux I (Francia), en condiciones controladas de temperatura y humedad óptimas. La información sobre los cortejos arcillosos en los sedimentos de estos testigos se encuentra en Pujos y Pascual (2015). Los datos sobre el análisis micropaleontológico del testigo KS19 aparecen sintetizados en Pujos y Pascual (1992) y los de los testigos KS15 y KS105 en Pascual y Pujos (1996). Las dataciones absolutas ^{14}C radiométrica estándar y AMS (Accelerator Mass Spectrometry) empleando conchas de moluscos y caparazones de foraminíferos se midieron en Beta Analytic Inc., Florida (USA) y las de turba en el centro de Faibles Radioactivités, Gif-sur-Yvette (Francia). La taxonomía de las especies de foraminíferos bentónicos se ha actualizado siguiendo la normativa de WoRMS (http://www.marinespecies.org/foraminifera 2020-02-20).

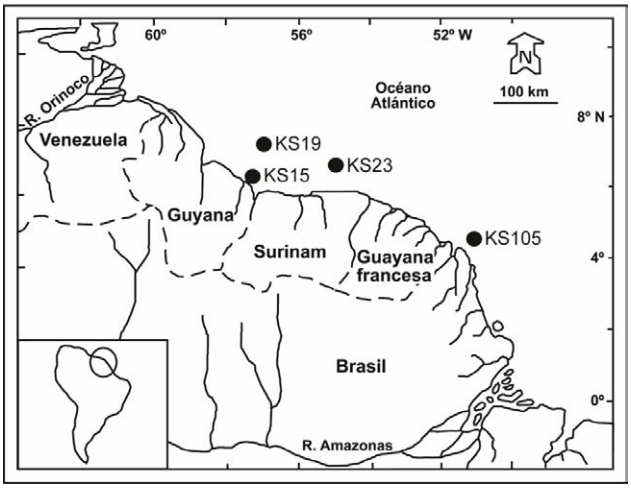


FIGURA 1. Localización geográfica de los testigos estudiados (Modificada de Pascual *et al.*, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 3102 ejemplares de la especie de foraminífero bentónico *A. tepida* han sido encontrados en los testigos analizados. Esta especie, junto con las asociaciones de foraminíferos bentónicos, diferencia 4 unidades a lo largo de los testigos.

Unidad 4 (42.350-37.377 años cal BP). Está presente en el limo gris de la base del testigo KS23 (coordenadas 6°49.220N-55°00.320W, 47 m de profundidad) (Figs. 1 y 2), donde no aparece *A. tepida*. La especie mayoritaria es *Quinqueloculina lamarckiana* d'Orbigny, siendo secundarias *Hanwazaia concentrica* (Cushman), *Uvigerina peregrina* Cushman y *Sigmoilopsis schlumbergeri* (Silvestri), todas ellas con ejemplares rotos y retrabajados. Esta asociación señala un medio de plataforma interna (Pascual *et al.*, 2009). Estos limos, pertenecientes al Marine Isotope Stage MIS3, con una microfauna de caparazones fragmentados, rodados y desgastados y con numerosas colonias de briozoos (*Lunulites*), señalan la existencia de un ambiente litoral en un contexto de activa dinámica costera. Además, puesto que no aparece *A. tepida*, esta zona se encontraría libre de la influencia del Amazonas.

Unidad 3 (26.071-13.302 años cal BP). Se registra en el testigo KS19 (7°11.530N- 56°01.060W, 87 m de profundidad). Entre 135 y 98 cm el sedimento está formado por limo gris sobre un lecho centimétrico de arenas gruesas. A*mmonia tepida* aparece como especie secundaria (<6%) (Fig. 2). Son escasos los foraminíferos planctónicos y aparecen moluscos bivalvos, espículas de esponjas y briozoos. La datación absoluta (121-123 cm) arroja una edad de 26.071 años cal BP. Las especies más abundantes son *Rosalina globularis* d'Orbigny y *Q. lamarckiana* acompañadas de *A. tepida* y *Miliolinella subrotunda* (Montagu). Estos datos indican la proximidad de una costa no sujeta a la influencia del Amazonas.

Efectivamente, entre 30.000 y 20.000 años BP, se desarrolló una importante barrera arrecifal rodeando las costas de América del Sur, hoy en día sumergida entre -80 y -100 m (Pujos y Odin, 1986). Estos limos se depositarían en la parte posterior del arrecife formando parte de un prisma sedimentario de bajo nivel marino durante el MIS 2. A continuación, y hasta los 42 cm, un limo beige con niveles arenosos contiene restos de conchas datadas en 13.302 años cal BP (43-46 cm). Domina *A. tepida* (hasta el 70% del total) acompañada por *R. globularis*, especie de ambiente costero con vegetación (Pascual *et al.*, 2009). Las especies secundarias como *Angulogerina angulosa* (Williamson), *Bulimina marginata* d'Orbigny, *Trifarina bradyi* Cushman y *U. peregrina* junto con la aparición de foraminíferos planctónicos indican ambientes oceánicos más abiertos, ya instaurados en el Pleistoceno final. Esto coincide con la fusión de los hielos registrada a partir de los 15.000 años y el comienzo del aumento del nivel del mar.

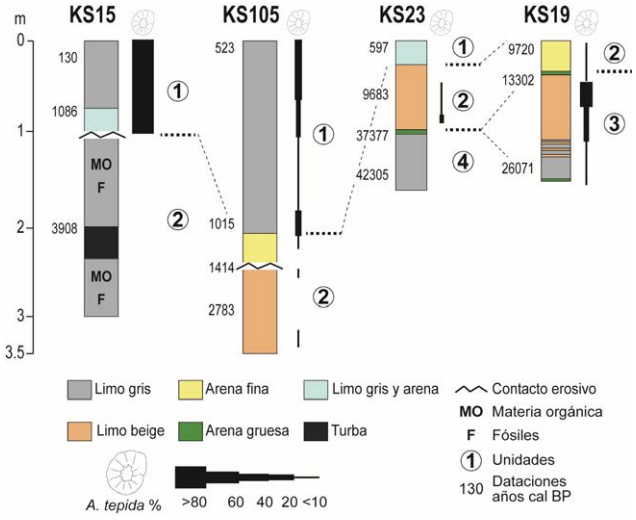


FIGURA 2. Unidades diferenciadas de acuerdo a los porcentajes de Ammonia tepida en los testigos obtenidos en la plataforma de las Guayanas. Se presenta además el tipo de sedimento y las dataciones absolutas.

Unidad 2 (9720-1086 años cal BP). Aparece en los 4 testigos analizados (Fig. 2). Las edades más antiguas corresponden a la plataforma media y las más modernas a la plataforma interna litoral. Así, en el testigo de la plataforma externa (KS19) desde los 42 cm hasta techo (Fig. 2), *A. tepida* es minoritaria. La asociación dominante la forman *A. angulosa*, *Cibicidoides lobatulus* (Walker y Jacob), *Liebusella soldanii* (Jones y Parker) y *U. peregrina*, siendo abundantes los foraminíferos planctónicos (<40%). Estos datos confirman un ambiente de plataforma externa al comienzo del Holoceno (9720 años cal BP).

En el testigo KS23 de la plataforma media, el limo beige (Fig. 2) (9683 años cal BP) representa esta unidad. Las especies más abundantes son *H. concentrica*, *Q. lamarckiana* y *S. schlumbergeri*. La presencia de *A. tepida*, con muchos caparazones cubiertos por una pátina de óxidos de hierro, en especial al comienzo de este episodio (Fig. 2) señala un ambiente marino costero con alteraciones *in situ* importantes.

El testigo KS15 (6°39.630N-57°30.620W, 16 m de profundidad) (Fig. 1) presenta de la base a 110 cm un limo gris dividido por un depósito de turba (Fig. 2). No aparecen foraminíferos pero sí abundantes mineralizaciones, en especial siderita en pequeñas bolas epigenéticas con núcleos formados por foraminíferos. También aparecen cristalizaciones sobre fragmentos de raíces, indicando abundante materia orgánica. Esto sugiere un paleoambiente de sabanas pantanosas, manglares y marismas costeras, separadas del océano por un chenier, cordón arenoso extensamente desarrollado en el litoral (Anthony *et al.*, 2019). La presencia de óxidos de hierro y siderita indica un medio reductor. Este ambiente carente de oxígeno provocaría la muerte del manglar y el consiguiente depósito de turba datado en 3908 años cal BP. Los limos grises posteriores (Fig. 2) presentan laminaciones carbonosas negras y abundantes cristales de yeso, indicando un medio confinado con una fase evaporítica. Tras una superficie de erosión se deposita limo gris y arena (Fig. 2) que contiene numerosos fragmentos de moluscos y escasos foraminíferos bentónicos (riqueza nF<39; nº de especies S<4), siendo *A. tepida* la especie dominante (>83%). Esto señala un ligero aumento del nivel del mar y de las condiciones hidrodinámicas suficientes para desmantelar el chenier, permitiendo a las aguas oceánicas invadir el espacio lagunar hace 1086 años cal BP.

En el testigo KS105 (4º45.277N-51º30.773W, 38 m de profundidad) (Fig. 1), la unidad 2 se encuentra en limo beige y arena fina (Fig. 2). Estos sedimentos son ricos en materia orgánica, yeso y pirita, lo que indica ambientes reductores y localmente evaporíticos. Escasos ejemplares de *A. tepida* (<1%) mal conservados y cubiertos de óxidos están presentes en algunos de los niveles (Fig. 2). La especie mayoritaria es *Q. lamarckiana*, acompañada por *C. lobatulus*, *Eponides repandus* (Fichtel y Moll) y *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus). Los foraminíferos, escasos, cubiertos por óxidos, retrabajados y mal conservados (80% de rotura), se encuentran intercalados entre niveles azoicos. El limo gris ha sido datado en 2783 y 1414 años cal BP.

Unidad 1 (1086 años cal BP-Actualidad). Se encuentra en la parte superior de los testigos KS15, KS105 y KS23. Las asociaciones de foraminíferos bentónicos varían de acuerdo a la batimetría. En el testigo KS15, sobre limo gris, aumenta la riqueza y diversidad de los foraminíferos bentónicos, siendo *A. tepida* mayoritaria (Fig. 2), señalando la fuerte influencia de los aportes amazónicos en la zona litoral, a menos de 20 m de profundidad (Pascual *et al.*, 2009). A techo del testigo KS105 se encuentra limo gris (Fig. 2) con numerosos fragmentos de cuarzo y abundantes briozoos en su base. Domina *A. tepida* acompañada de *Ammonia beccarii* (Linnaeus) y *Pseudononion japonicum* Asano. El nivel 190 cm tiene una edad de 1015 años cal BP y el nivel 20 cm de 523 años cal BP. En el testigo KS23 sobre limo gris y arena no aparece *A. tepida*, dominando *E. repandus*, *H. concentrica* y *Q. lamarckiana*, Por tanto, la unidad 1 representa la sedimentación actual y reciente donde están presentes los bancos de lodos creados por la

carga en suspensión de origen amazónico y que se extienden hasta los 30 o 40 m de profundidad.

CONCLUSIONES

El foraminífero *A. tepida* pone de manifiesto la presencia de aguas de origen amazónico a lo largo de la plataforma marina de las Guayanas. El análisis de la distribución de esta especie, junto con las asociaciones de foraminíferos bentónicos, ha permitido identificar cuatro unidades que caracterizan cambios oceanográficos registrados a lo largo del Cuaternario.

La unidad 4 (42.350-37.377 años cal BP) se encuentra en el testigo de la plataforma media (47 m de profundidad). No aparece *A. tepida*, dominando *Q. lamarckiana* con ejemplares rotos y fuertemente retrabajados. Señala un medio litoral con activa dinámica costera, libre de la influencia amazónica

La Unidad 3 (26.071-13.302 años cal BP) se sitúa en la base del testigo de la plataforma externa (87 m de profundidad). *Ammonia tepida* es minoritaria, dominando *R. globularis* y *Q. lamarckiana*. Esta asociación confirmaría la existencia de una antigua línea de costa sin influencia amazónica en la actual plataforma externa. Pone de manifiesto el descenso del nivel del mar durante el MIS 2.

La unidad 2 (9720-1086 años cal BP) aparece en los 4 testigos. Los más antiguos corresponden a lodos de la plataforma media y los más modernos a los de la plataforma interna litoral. Los foraminíferos, escasos y mal conservados, se encuentran intercalados entre niveles azoicos. Los caparazones de *A. tepida* cubiertos de óxidos y retrabajados y un sedimento rico en materia orgánica, yeso y pirita, indican condiciones someras, reductoras y localmente evaporíticas, mucho más acusadas en los testigos obtenidos a menos profundidad.

En la unidad 1 las asociaciones de foraminíferos bentónicos varían de acuerdo a la batimetría, dominando a menos de 20 m de profundidad *A. tepida*. Esta unidad representa la sedimentación actual y reciente (1086 años cal BP-Actualidad), donde están presentes en el litoral los bancos de lodos creados por la carga en suspensión de origen amazónico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por HAREA-Coastal Geology Research Group (EJ/GV; IT976-16).

REFERENCIAS

Anthony, E.J., Gardel, A., Gratiot, N., Proisy, C., Allison, M.A., Dolique, F y Fromard, F. (2010): The Amazon-influenced muddy coast of South America: a review of mud bank-shoreline interactions. *Earth Science Reviews*, 103: 99–121.

Anthony, E.J., Brunier, G., Gardel, A. y Hiwat, M. (2019): Chenier Morphodynamics on the Amazon-Influenced Coast of Suriname, South America: Implications for Beach Ecosystem Services. *Frontiers In Earth Science*, 7(35): 20.

Debenay, J.P., Guiral, D. y Parra, M. (2004): Behaviour and Taphonomic Loss in Foraminiferal Assemblages of Mangrove Swamps of French Guiana. *Marine Geology*, 208: 295-314.

Margerel, J.P. (1977): Les Foraminiferes du plateau et du talus continental de la Guyane. *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 41 (4): 403-416.

Pascual, A. y Pujos M. (1996): Análisis micropaleontológico del sedimento holoceno de la plataforma de las Guayanas: interpretación paleoceanográfica. *Geogaceta*, 20: 213-216.

Pascual, A. y Pujos M. (1997): Asociaciones de foraminíferos bentónicos cuaternaríos de la plataforma del rio Maroni (Guayana francesa): contribución paleogeográfica. *Geogaceta*, 22: 141-144.

Pascual, A., Martínez García, B., Rodríguez Lázaro, J. y Pujos, M. (2009): Asociaciones de foraminíferos bentónicos recientes en la plataforma marina de las Guayanas. *Geogaceta*, 46: 75-78.

Pujos, M. y Odin, G. (1986): La sédimentation au Quaternaire terminal sur la plate-forme continentale de la Guyane française. *Oceanologica Acta*, 9 (4): 363-382.

Pujos, M. y Pascual, A. (1992): Los paleoambientes costeros de la plataforma continental de Guyana y Suriname en el Cuaternario terminal. En: *III Congreso Geológico de España*. Comunicaciones, 2, 161-165.

Pujos, M. y Pascual, A. (2015): Apports terrigènes et sédimentation épicontinentale en régime tropical équatorial sud-américain (Guyanes, Colombie caraïbe et Pacifique): paléogéographie et paléoclimatologie depuis le dernier Maximum Glaciaire. *Physio-Géo*, 9: 1-71.

Espeleosismología de la Cueva de los Casares, Guadalajara: evidencias de un posible paleoterremoto.

Speleoseismology of Los Casares Cave: evidence of a paleoearthquake.

R. Pérez-López[1], M. Alcaraz-Castaño[2], M.Á. Rodríguez-Pascua[1], P.G. Silva[3], L. Luque[2], M.A. Perucha-Atienza[1], J. Elez[3], J.L. Giner-Robles[4], E. Roquero[5] y J. Alcolea-González[2]

1 Área de Riesgos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. r.perez@igme.es, ma.rodriguez@igme.es, ma.perucha@igme.es
2 Área de Prehistoria, Universidad de Alcalá de Henares. C/ Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares. manuel.alcaraz@uah.es, luis.luque@uah.es
3 Dpto. Geología Universidad Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila. pgsilva@usal.es;jelez@usal.es
4 Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. jorge.giner@uam.es
5 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. elvira.roquero@upm.es

Palabras clave: paleoterremoto, Cueva de los Casares, estalactitas, Guadalajara.

Resumen

La Cueva de los Casares (Riba de Saelices, Guadalajara), constituye un magnífico yacimiento con evidencias de ocupación humana (Neandertal – Sapiens) desde el Paleolítico medio (ca. 45±3 ka BP, Alcaraz-Castaño *et al.*, 2017). A pesar de ser un sistema de corto desarrollo, unos 250 m de orientación E-W, presenta un nivel de destrucción de estalactitas en una galería colgada que se encuentra a escasos 100 m desde la entrada. Su ubicación como un techo colgado a unos 6 m de altura sin acceso por gradas laterales, hace muy difícil que el nivel de destrucción sea debido a la acción antrópica. Se ha llevado a cabo una medida sistemática de la geometría de ruptura de estalactitas, y se han recogido muestras para un posterior análisis geoquímico de series de Uranio – Torio, con el fin de intentar fechar el paleoevento. Los análisis preliminares indican que dicho nivel es compatible con un paleoterremoto cuya magnitud mínima para campo lejano (superior a 50 km de distancia) podría ser superior a M 6, y para un terremoto cercano (menor a 10 km de distancia del epicentro con la cueva) podría ser superior a M 4,5.

Abstract

Los Casares Cave (Riba de Saelices, Guadalajara) represents an excellent Middle Palaeolithic archaeological site with evidence of Neanderthal –Sapiens different occupational stages (ca. 45±3 ka BP, Alcaraz-Castaño et al., 2017). Despite of the small karstic system spatial development (250 m length and E-W trend), a destruction layer was recognized affecting the speleothems. Different apparently coetaneous soda-straws, stalactites and even one stalagmite were broken. The location of this destruction layer is placed out from possible anthropogenic manipulation, in a hanging roof 6 m high. We have carried out a systematic measurement of broken soda-straws and samples were collected to be analysed by Uranium series. Preliminary results suggest the occurrence of a paleoearthquake either from far-field seismic source (> 50 km) of minimum magnitude M > 6, or near-field seismic source (< 10 km), and with magnitude M > 4.5. The age of this event could seed light about the hypothesis that the human communities living into the cave were affected by this earthquake.

Referencias

Alcaraz-Castaño M., Alcolea-González J., M. Kehl, R.-M. Albert, J. Baena-Preysler, R. de Balbín-Behrmann, F. Cuartero, G. Cuenca-Bescós, F. Jiménez-Barredo, J.-A. López-Sáez, R. Piqué, D. Rodríguez-Antón, J. Yravedra y G.-Ch. Weniger. (2017). A context for the last Neandertals of interior Iberia: Los Casares cave revisited. *PLoS ONE* 12(7): e0180823. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180823

Flujos de aire fresco en cuevas tectónicas y gravitacionales: una aproximación multidisciplinar

Cool airflows in tectonic and gravitational caves: a multidisciplinary approach

M. Sánchez-Gómez[1], D. Gil[1], JM. Gómez-López[2], J. Tovar-Pescador[3], JL. Pérez-García[2], T. Fernández[2], T. Guerra[1], G. Garrido[4] y JR. Jiménez-Pérez[4]

1 Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. msgomez@ujaen.es, dgil@ujaen.es, tguerra@ujaen.es
2 Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. jglopez@ujaen.es, jlperez@ujaen.es, tfernan@ujaen.es,
3 Departamento de Física, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. jtovar@ujaen.es
4 Departamento de Informática, Universidad de Jaén, Campus las Lagunillas s/n, 23071, Jaén. ggluque@ujaen.es, rjimenez@ujaen.es

Resumen: Los flujos descendentes de aire fresco que salen al exterior de las cavidades son un proceso conocido, pero poco estudiado. La presente comunicación incorpora los resultados preliminares de las investigaciones de un equipo multidisciplinar para caracterizar y analizar estos flujos, sus implicaciones medioambientales y la información que suministran del interior de macizos kársticos fracturados. Se han realizado medidas in situ de temperatura, humedad y velocidad del viento, y medidas de temperatura mediante cámaras de infrarrojo térmico (TIR) terrestres y transportadas en drones. Se han estudiado dos sectores con diferentes características geológicas en Sierra Mágina (Jaén). En ambos sectores, la salida de aire fresco ha resultado ser un fenómeno generalizado que se produce durante más de 4 meses al año en múltiples puntos. La temperatura del aire saliente es casi constante para cada boca a lo largo de la estación cálida, pero en cambio pueden variar de una boca a otra próxima. El estudio de este fenómeno tiene aplicaciones directas en espeleología y análisis de riesgos, mediante la localización de bocas y fracturas preferentes. Son necesarias posteriores investigaciones, que incluyan su modelización, para poder determinar los factores del interior del macizo que controlan la temperatura y caudal de salida.

Palabras clave: cuevas tectónicas, TIR, dron, microclima subterráneo.

Abstract: *The downflowing cool air that goes outside the cavities is a known process, but barely studied. This communication incorporates preliminary results of a multidisciplinary-team research to characterize and analyze these airflows, their environmental implications and the information they provide from the interior of fractured karst massifs. In situ measurements of temperature, humidity and wind speed, have been carried out together with image captures by handheld and carried-UAV thermal infrared (TIR) cameras. Two sectors in Sierra Mágina (Jaén, S. Spain) with different geological characteristics have been studied. In both sectors, the expelled cool airflow has turned out to be a widespread phenomenon that occurs for more than 4 months a year at multiple points. The temperature of the outgoing air is almost constant for each entrance throughout the warm season, but instead it can vary from one entrance to the next. The study of this phenomenon has direct applications in speleology and risk analysis, by locating entrances and preferential fractures. In order to determine the factors inside the rock massif that control the process characteristics, future research is necessary, including its modeling.*

Keywords: *tectonic caves, TIR, UAV, cave microclimate.*

INTRODUCCIÓN

El Medio Subterráneo supone una parte muy importante del Medio Ambiente, aunque poco conocida y estudiada. Por ello suele ser obviada, si bien cada vez adquiere mayor relevancia. Las cavidades por su parte constituyen una parte significativa de este medio, en donde los pasajes conocidos son en realidad una fracción pequeña de todos los espacios subterráneos teóricamente accesibles, y estos a su vez corresponden a una ínfima parte de todos los huecos en los que el karst puede albergar fluidos. Esta circunstancia ha hecho que se ensayen diversas técnicas geofísicas con las que descubrir y caracterizar los huecos (Martínez-Moreno *et al.*, 2013 y referencias allí incluidas). Sin embargo, la mayor parte de las técnicas geofísicas convencionales, por ejemplo, gravimetría, sólo son útiles para los espacios mayores y sólo para determinadas geometrías (Gambetta *et al.*, 2011).

Uno de los procesos más dinámicos en ciertos tipos de cavidades es el flujo de aire. Los flujos de aire ascendente se producen cuando el aire del interior de la cavidad, que mantiene una temperatura promedio durante todo el año, está relativamente más cálido que el del exterior y es, por lo tanto, menos denso (Faimon y Lang, 2013). Este hecho ha sido utilizado tradicionalmente en el ámbito espeleo-

lógico-deportivo para localizar entradas de cavidades, por ejemplo, durante las primeras nevadas. Diversos trabajos científicos han testeado la utilidad del uso de cámaras térmicas, también con un fin esencialmente localizador (Rinker, 1975; Wynne *et al.*, 2008), aunque recientemente, y gracias al avance del uso de los drones, ha sido posible la obtención de ortoimágenes térmicas que abren la posibilidad de un análisis cuantitativo de este fenómeno (Pérez-García *et al.*, 2018).

Por el contrario, el flujo descendente de aire relativamente fresco, aunque igualmente conocido (Dematteis, 1972) ha sido mucho menos estudiado. Estos flujos, se deben a la misma razón que los flujos de aire relativamente templado: el aire en el interior de las cavidades a una temperatura casi constante se vuelve más pesado que el aire exterior durante el verano. No hay una razón clara para la diferencia del número de estudios sobre uno u otro proceso, pero sería esperable encontrar causas que hicieran del flujo descendente de aire fresco algo menos frecuente, intenso o evidente.

Este trabajo pretende ser una primera aproximación al conocimiento de estos flujos descendentes de aire fresco y su interacción con la atmósfera en la superficie. Proponemos su estudio mediante diversas metodologías: (a) una monitorización microclimática de las entradas a las cavidades y su entorno; (b) una caracterización a través de imágenes térmicas terrestres, una zonación espacial mediante ortoimágenes térmicas obtenidas por cámaras transportadas en drones; y (c) técnicas informáticas de evaluación que determinen de forma semiautomática el peso de los diferentes factores en el control microclimático de las cavidades.

Hemos escogido para este estudio cavidades generadas por a fracturación denominadas cavidades tectónicas, pues su desarrollo esencialmente vertical formando simas, acentúan mediante el efecto chimenea los flujos de aire. Dentro de este tipo de cavidades, hemos considerado también las cuevas dilatacionales formadas en escarpes rocosos por tensión, que deben considerarse en sentido estricto como gravitacionales (Margielewski y Urban, 2017). Ambos tipos de cuevas son abundantes en la Cordillera Bética, y a diferencia de otras cavidades su formación es independiente de las condiciones climáticas (pluviométricas) en las que se encuentren, y en cierta medida de la litología. Además, la existencia en toda la extensión de la cordillera de un clima mediterráneo con un fuerte contraste de temperaturas verano-invierno, hace suponer a priori que los flujos de aire fresco son un fenómeno generalizado que controla una parte importante del intercambio de gases entre el subsuelo y la atmósfera.

SITUACIÓN Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Para la presente comunicación se presentan dos zonas de estudio en Sierra Mágina, en la provincia de Jaén (Fig. 1). Una en la Serrezuela de Pegalajar, como ejemplo de un sistema complejo de simas debidas a fracturas puramente tectónicas (fallas y diaclasas), formando ángulos altos respecto a la orientación de la ladera (Fig. 1), y otra en el Torcal de Arbuniel, como ejemplo de simas dilatacionales debidas a la distensión de un escarpe en retroceso.

La Serrezuela de Pegalajar constituye un acuífero kárstico fracturado sobre calizas prebéticas de edad Cretácica (González-Ramón, 2007). Presenta una alta densidad de simas, accesibles hasta 10-40 m de profundidad, aunque existe un gran número de fracturas no practicables, pero con circulación de aire. Por su parte El Torcal de Arbuniel está formado a partir de un cuerpo tabular de travertinos Pliocuaternarios, con más de 50 m de espesor formado sobre materiales triásicos impermeables (Fig. 1). Se observan abundantes abrigos asociados a la propia formación de la toba calcárea y simas desarrolladas sobre fracturas subparalelas al perímetro de la meseta de travertinos.

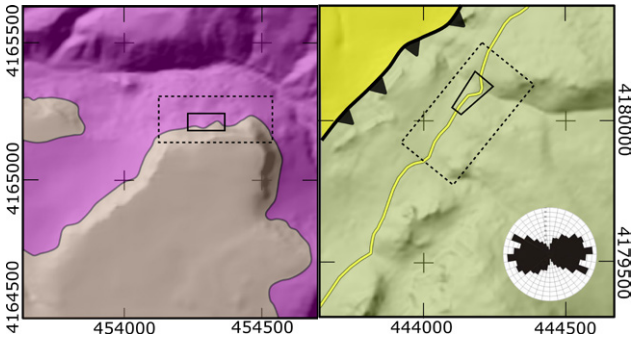


FIGURA 1. Geología sobre el modelo de sombras de las zonas de estudio en el Torcal de Arbuniel (izquierda) y la Serrezuela de Pegalajar (derecha). Cuadrícula UTM30 de 500 m. Leyenda: Morado= Triásico; verde= carbonatos cretácicos; amarillo= margas miocenas; castaño= travertinos pliocuaternarios. Las zonas de vuelo dron con cámaras TIR corresponden a los rectángulos de líneas discontinuas. Se indica la posición de la ortoimagen y fotografía de la Fig. 2. La distribución de fracturas de la Serrezuela está tomada de González-Ramón (2007).

METODOLOGÍA

La caracterización microclimática de las cavidades se ha realizado siguiendo dos protocolos. Según se midiera la temperatura (T) y humedad, o la velocidad del flujo de aire. La temperatura in situ se ha obtenido de forma continua, mediante registradores de datos comerciales con una precisión de 0.5 ºC y una resolución de 0.1 ºC, con los que se realiza una calibración cruzada cada campaña de medidas, alcanzando una precisión relativa de ± 0.1 º C. Un sensor en una campaña típica registra un dato de T cada 10 minutos durante 3 meses. Los sensores se sitúan en tres posiciones normalizadas, en la entrada, a 2 m y a 7-10 m de profundidad. Cuando es posible se sitúan sensores a mayor profundidad, buscando la zona homotérmica de la cavidad. La velocidad de flujo de aire se toma de forma discreta, mediante sensores de molinete o de hilo caliente, con una resolución mínima de 0.1 m/s y un umbral de 0.4 m/s. En cada sector se han monitorizado varias bocas a diferentes alturas, con una diferencia de hasta 60 m; concretamente 5 en el Torcal y 8 en la Serrezuela. Además, se ha situado un sensor en el exterior de cada sector para establecer una referencia de T, presión y humedad.

Para la obtención de ortoimágenes térmicas se ha seguido la metodología propuesta en Pérez-García *et al.* (2018), consistente en realizar una captura de imágenes mediante UAV

con sensor fotográfico convencional y otra con sensor térmico. Una vez procesado fotogramétricamente las fotografías del vuelo visible, se puede pasar la georreferenciación de este bloque, al bloque de imágenes térmicas mediante el uso de puntos homólogos. Finalmente, una vez orientado el bloque de imágenes térmicas se procede a la obtención de la ortoimagen térmica a partir del modelo de detalle obtenido en el vuelo visible y las imágenes correspondientes al vuelo térmico. Las imágenes térmicas terrestres se han adquirido empleando una cámara FLIR SC660 equipada con un microbolómetro con un rango espectral de 7,5-13 µm.

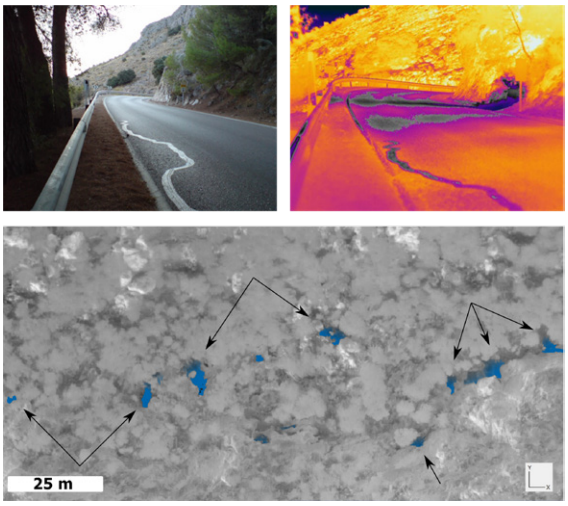


FIGURA 2. Ejemplo de imágenes en infrarrojo térmico, Situación en Fig. 1. Arriba: Imagen con cámara de mano en la Serrezuela de Pegalajar (arriba), donde se observa el efecto de un chorro de aire fresco sobre la carretera (las fotografías visible y TIR están tomadas a la vez por la cámara). Tonos más oscuros a 10ºC, más brillantes a 30ºC. Abajo: Ortoimagen del Torcal de Arbuniel (abajo), los tonos azules indican zonas con menos de 12ºC mientras que el fondo de la imagen la escala de grises oscila entre 20ºC y 40ºC (puntos brillantes).

Por último, se ha realizado un tratamiento de los datos microclimáticos para generar un modelo descriptivo del fenómeno estudiado. Este tratamiento de los datos se ha desarrollado utilizando la herramienta KNIME y siguiendo un proceso clásico de minería de datos. En primer lugar, se pre-procesan los datos para eliminar redundancias, valores anómalos y tratar valores perdidos. Una vez validados los datos por atributo, se lleva a cabo un proceso de normalización que unifica las métricas de cada sensor y las adecúa a una misma escala temporal. A continuación, se seleccionan los atributos más relevantes mediante un proceso semiautomático de reducción de dimensionalidad que tiene en cuenta el conocimiento experto. Sobre el conjunto de datos resultante, se realiza un análisis exploratorio que permite reconocer patrones destacados en relación con los parámetros que controlan el flujo de aire.

RESULTADOS

Los sectores estudiados fueron escogidos por conocerse en ellos sendas simas denominadas del Aire o Viento, sin embargo, las primeras ortoimágenes térmicas (Fig. 2) mostraron que la salida de aire relativamente frío no era una singularidad de las entradas conocidas, sino que era un proceso generalizado en ciertas posiciones de las laderas. Por ejemplo, en el Torcal de Arbuniel, se encontraron 9 salidas adicionales de aire fresco en la ladera norte. Esto permitió una monitorización in situ más exhaustiva considerando bocas antes desconocidas o impracticables, pero que permitían la colocación de al menos dos sensores siguiendo el protocolo establecido. Estas salidas de aire fresco dejan una marca térmica ostensible en superficie (Fig. 2) ocasionada por el escurrimiento del aire más pesado ladera abajo. Estas marcas suelen perderse si hace viento o hay una insolación directa que enmascara el efecto del aire fresco.

El comportamiento térmico de la bocas muestra diferencias muy marcadas en cada estación (Fig.3). Durante el invierno, la distribución de T del sensor a 0 m, sigue un patrón normal, similar al del sensor exterior, con la misma moda, pero sin los valores extremos. En cambio, durante el verano la T del exterior tienen una fuerte oscilación de más de 30ºC, mientras que la entrada de la cueva la oscilación es de sólo unos pocos grados, con modas extremadamente marcadas (Fig. 3), que pueden considerarse la T característica de esa entrada.

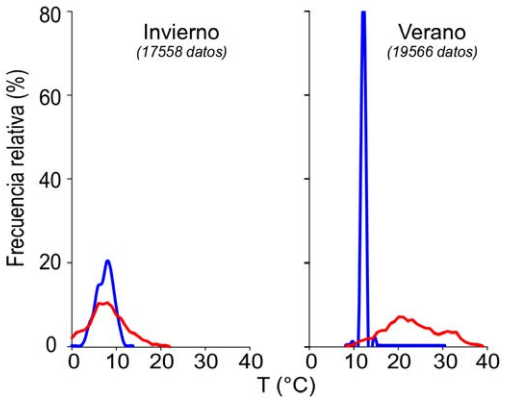


FIGURA 3. Comparación entre los histogramas de T a la entrada de la Sima del Aire (azul) y en su exterior (rojo) en la Serrezuela de Pegalajar. Los histogramas corresponden al registro de temperatura cada 10 min durante dos años, cuatro meses cada estación, aunque muchos datos se pierden por problemas con los sensores.

La velocidad de salida del aire oscila entre una brisa inapreciable con los sensores empleados, es decir, por debajo de 0.4 m/s, y ráfagas de 4 m/s en los momentos de más calor. No obstante, la velocidad promedio en ambas zonas de estudio para una salida típica es de 2 m/s con una T exterior de 35ºC. Este valor puede variar también en función de la geometría de la boca.

La estabilidad de la T de salida de una boca concreta contrasta con la variabilidad observada en distintas bocas próximas de un mismo sector. Así en la Serrezuela de Pegalajar donde la cavidad mostrada en la Figura 3 tiene una T característica de 12ºC, existen salidas de aire a 15-16ºC y a 9ºC, situadas a menos de 100 m de distancia. La distribución de

la T característica no depende de la altura topográfica de la salida. Por el contrario, salidas a diferentes alturas, pero alineadas según una posible fractura, presentan T características similares.

El análisis de los factores que condicionan las T y velocidad del flujo está todavía en un estadio preliminar, aunque se están obteniendo algunos resultados prometedores. Como ejemplo, la Figura 4 muestra la relación entre la T interior de una cavidad en el Torcal de Arbuniel, donde se concentra un flujo fresco, y la T del exterior. Se observa que en invierno la T del interior se corresponde con la exterior. Por el contrario, en el resto de estaciones, especialmente verano, la T interior se desliga de la exterior, estabilizándose a la T característica de esa cueva. No obstante, en verano y otoño existen "excursiones de T", que analizadas corresponden a entradas de aire por fuertes vientos del W, predominantes en la región, que homogenizan la T del interior.

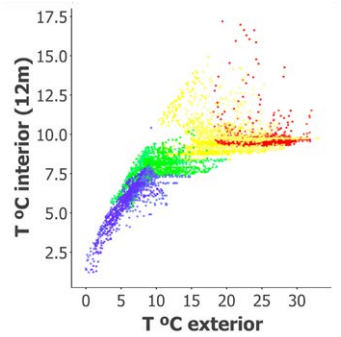


FIGURA 4. Comparación entre las temperaturas del exterior y el interior de una cavidad del Torcal de Arbuniel, durante 2019. Tonos: azul= invierno, verde= primavera, rojo= verano, amarillo= otoño. La línea superpuesta corresponde a la pendiente igual a 1.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las salidas de aire relativamente frío (fresco) desde cavidades ha demostrado ser un fenómeno generalizado a todas las escalas. El avance tecnológico de sensores, cámaras y drones permite descubrir, observar y monitorizar el proceso en amplias extensiones y durante largos periodos de tiempo. En los días de verano, el flujo de aire del interior estabiliza la T de los sensores situados en las entradas independientemente del calor que haga en el exterior. De hecho, un análisis más pormenorizado indica que a mayor T exterior, menos oscilaciones en la T del sensor, ya que está afectado por un volumen mayor de aire.

Se han observado velocidades del flujo sostenidas de 2 m/s, valor muy por encima de los registrados en otras cavidades, principalmente turísticas. Esto es debido al desarrollo esencialmente vertical de las simas tectónicas, incluyendo las que se originan tras los escarpes de procesos gravitacionales.

Las diferencias de T observadas en salidas próximas no pueden explicarse por razones climatológicas, pues se encuentran en las mismas laderas y a alturas similares. La causa más probable debe ser la diferente geometría de la red de fracturas por la que circula el aire descendente. Esto abre la puerta a utilizar el análisis espacio-temporal de las salidas de aire fresco para conocer mejor el interior del karst tectónico.

Por otra parte, las ortoimágenes térmicas, que ya se han demostrado útiles para la detección y caracterización de salidas de aire templado (Pérez-García *et al.*, 2018), son igualmente útiles para detectar el número y distribución de las salidas de aire fresco. Este trabajo muestra por primera vez su existencia en sectores amplios utilizando esta técnica. La exploración espeleológica y medioambiental, y los estudios de peligrosidad en macizos rocosos, podrán beneficiarse de esta metodología para identificar cavidades y resaltar las fracturas más importantes.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha financiado mediante una ayuda del Instituto de Estudios Giennenses y los grupos RNM-325 y TEP-213 de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

Dematteis, G. (1972). *Manuale di esplorazione sotterranea.* (P. Gribaudi, Ed.) (1st ed.). Turín.

Faimon, J., & Lang, M. (2013). Variances in airflows during different ventilation modes in a dynamic U-shaped cave. *International Journal of Speleology,* 42(2), 115–122.

Gambetta, M., Armadillo, E., Carmisciano, C., Stefanelli, P., Cocchi, L., & Tontini, F. C. (2011). Determining geophysical properties of a near-surface cave through integrated microgravity vertical gradient and electrical resistivity tomography measurements. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73(1), 11–15.

González-Ramón, A. (2007). *Hidrogeología de los Acuíferos Kársticos de las Sierras de Pegalajar y Mojón Blanco (Jaén).* Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 304 p.

Margielewski, W., & Urban, J. (2017). Gravitationally induced non-karst caves: Tectonic and morphological constrains, classification, and dating; Polish Flysch Carpathians case study. *Geomorphology*, 296, 160–181.

Martínez-Moreno, F. J., Pedrera, A., Galindo-Zaldívar, J., López-Chicano, M., Azor, A., Martín-Rosales, W., *et al.* (2016). The Gruta de las Maravillas (Aracena, South-West Iberia): Setting and origin of a cave in marbles from dissolution of pyrite. *Geomorphology*, 253, 239–250.

Pérez-García, J. L., Sánchez-Gómez, M., Gómez-López, J. M., Guerra, T., Gil, D., & Fernández, T. (2018). Georeferenced thermal infrared images from UAV surveys as a potential tool to detect and characterize shallow cave ducts. *Engineering Geology,* 246, 277–287.

Rinker, J. N. (1975). Airborne infrared thermal detection of caves and crevasses. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 41, 1391–1400.

Wynne, J. J., Titus, T. N., & Chong Diaz, G. (2008). On developing thermal cave detection techniques for earth, the moon and mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 272, 240–250.

Análisis de los elementos geomorfológicos fluviales del río Jerte mediante teledetección SAR.

Analysis of fluvial landforms in Jerte river by SAR remote sensing.

Sánchez- Sánchez, Y[1]. y Martínez-Graña, A[1]

1 Departamento de geología. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced s/n. Salamanca, España. yolanda.ss@usal.es; amgranna@usal.es

Palabras clave: *Inundación, geomorfología, teledetección, SAR, Extremadura, Spain*

Resumen

Las altas precipitaciones provocan eventos extraordinarios generando inundaciones, dando lugar a efectos catastróficos. Para el análisis de la exposición y vulnerabilidad al riesgo de inundación es necesario el estudio evolutivo multitemporal de algunas zonas que por eventos puntuales causan grandes daños materiales e incluso pérdidas humanas. Algunos sectores del río Jerte (Cáceres, Extremadura) presentan condicionantes geomorfológicos que permiten un análisis detallado de la génesis de los elementos fluviales (Lombana y Martinez-Graña, 2021), influyendo en los procesos geodinámicos de erosión-sedimentación.

En este estudio, se analizan los cambios geomorfológicos del sistema fluvial generados por el efecto de las intensas precipitaciones ocurridas el 21 noviembre de 2020 en el Valle del Jerte. A partir de imágenes SAR (Sentinel 1), se delimita el perímetro y la distribución de la lámina de agua durante el evento máximo de inundación (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2019), para posteriormente con imágenes Sentinel 2 analizar los cambios morfodinámicos ocurridos en cada sector del cauce fluvial. Como resultado destacamos: (1) las modificaciones en la conectividad hidrológica causadas por fenómenos de traslación y corte de canales fluviales, actualmente abandonados; (2) el aumento de las dimensiones de barras fluviales centrales y laterales del cauce por fenómenos de acreción y; (3) procesos erosivos afectando a infraestructuras urbanas.

Abstract

Strong rainfall events trigger high flooding events, causing catastrophic effects on the environment and human facilities. In order to analyze exposure and vulnerability to flood risk, it is necessary to carry out a multi-temporal evolutionary study of some areas which, due to specific events, cause great material damage and even human losses. Some sectors of the Jerte River (Cáceres, Extremadura) present geomorphological conditions that allow a detailed analysis of the genesis of fluvial landforms (Lombana and Martinez-Graña, 2021), influencing the geodynamic processes of erosion-sedimentation.

In this study, we analyze the geomorphological changes on the fluvial system as a consequence of the strong rainfall event occurred on November 21, 2020 around the Jerte Valley. Based on the analysis of SAR images (Sentinel 1), the perimeter and distribution of the water-sheet are delimited during the maximum flood event (Sánchez-Sánchez et al., 2019). Subsequently, the analysis of post-flood Sentinel 2 images allow to identify the morphodynamic changes that occurred in different sectors of the riverbed. As a result, we highlight: (1) modifications in the hydrological connectivity caused by shifting and cutting of river channels, currently abandoned; (2) the increase in the dimensions of the central and lateral river bars due to accretion phenomena and; (3) erosive processes affecting urban infrastructures and facilities.

Referencias

Lombana, L. y Martinez-Graña, A. (2021). Environmental Earth Sciences.

Sánchez-Sánchez, Y., Quirós, E., Durán-Barroso, P., y Martinez-Graña, A. (2019). pp. 501–4 En *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático*, Valladolid.

Interpretación paleoambiental de los sedimentos holocenos de la ría de Suances (Cantabria) a través de su estudio micropaleontológico y geoquímico

Paleoenvironmental interpretation of the Holocene sediments in the Suances estuary (Cantabria) through its micropaleontological and geochemical study

H. Serrano[1], M.J. Irabien[1], A. Fernández Martín-Consuegra[1] y A. Cearreta[1]

1 Dpto. de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao, humberto.serrano@ehu.eus, mariajesus.irabien@ehu.eus, aitor.fernandez@ehu.eus, alejandro.cearreta@ehu.eus.

Palabras clave: Holoceno, estuario, foraminíferos, polen, metales pesados.

Resumen

Se han analizado las asociaciones de foraminíferos bentónicos, el contenido polínico y las concentraciones de metales pesados del relleno sedimentario holoceno de la ría de Suances (Cantabria), a partir de un sondeo largo (17 m) perforado en la zona supramareal del estuario medio. Se han reconocido tres tramos distintos que pueden ser identificados con las fases (cortejos sedimentarios) que configuran la secuencia estratigráfica típica de los estuarios cantábricos durante el ciclo transgresivo holoceno: (1) un tramo basal (cortejo de nivel marino bajo o LST) formado por facies fluviales sin foraminíferos y escaso contenido polínico; (2) un tramo intermedio (cortejo transgresivo o TST) constituido por sedimentos estuarinos fangosos depositados durante la inundación del valle fluvial por la subida del nivel del mar (7.980 -7.380 ± 30 años BP); y (3) separado por un hiato, un tramo superior (cortejo de nivel marino alto o HST) compuesto por sedimentos recientes correspondientes a un ambiente de marisma intensamente antropizado, en los que se observa un incremento de las concentraciones de metales pesados como consecuencia de la intensa actividad minera e industrial desde mediados del siglo XIX, así como la presencia de taxones polínicos exóticos (*Eucalyptus* sp.).

Abstract

Benthic foraminiferal assemblages, palynological and heavy metal contents in the Holocene sedimentary record of the Suances estuary (Cantabria) have been analyzed from a borehole (17 m) taken at a supratidal area in the middle estuary. The results obtained have allowed the identification of three sections, which can be associated with the depositional sets that constitute the typical stratigraphic sequence of the Cantabrian estuaries during the Holocene marine transgressive cycle: (1) a basal section (lowstand systems tract or LST) formed by fluvial facies without foraminifera and low palynological content; (2) an intermediate section (transgressive systems tract or TST) that consists of muddy estuarine sediments deposited during the flooding of the river valley due to sea level rise (7.980 - 7.380 ± 30 years BP); and (3) after a stratigraphic hiatus, an upper section (highstand systems tract or HST) formed by recent sediments corresponding to a strongly anthropized salt-marsh, including increased concentrations of heavy metals as a consequence of the intensive mining and industrial activities since mid-19th century, as well as the presence of exotic pollinic taxa (Eucalyptus sp.).

Phases of sedimentation and soil formation in SE Spain during the Holocene (Eastern Betic Cordillera).

Fases de sedimentación y formación de suelos en el SE de España (Cordillera Bética Oriental) durante el Periodo Holoceno.

P.G. Silva[1], E. Roquero[2], J. Eléz[1], T. Bardají[3], A. Medialdea[4]

1 Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior. Ávila, Spain. pgsilva@usal.es; j.elez@usal.es
2 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain. elvira.roquero@upm.es
3 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), Spain. teresa.bardaji@uah.es
4 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Burgos, Spain. alicia.medialdea@cenieh.es

Abstract: *This work gathers the set of available regional geochronological data (^{14}C, Th/U, OSL, TL) on alluvial sediments, calcretes and soils for the semiarid SE Spain to build a theoretical timescale for the most important phases of sedimentation and soil formation occurred in the zone during the Holocene. Most of the data come from the set of paleoseismological and paleoclimatic research in the Murcia–Almería region during the last 15 years. The gathered geochronological data set includes approximately 60 dates, covering the last 11 ka, of which 12 data corresponds to calcretes and carbonate soils. The robust data set of ^{14}C ages allows to construct a detailed ages frequency distribution function discriminating periods (bins) of 500 years. The analysis clearly identifies the climatic events of 8.2 and 2.4 ka, recently considered as GSSP for the Northgrippian and the Meghalayan ages, as drier periods with minor sedimentation, but enhanced calcrete formation, especially the first one. The analysis also identifies the Holocene optimum, as well as the Roman and Medieval warm periods as phases of major sedimentation.*

Keywords: *Alluvial sedimentation, calcretes, chronology, Holocene, SE Spain.*

Resumen: Este trabajo utiliza el conjunto de datos geocronológicos regionales disponibles (^{14}C, Th/U, OSL, TL) sobre sedimentos aluviales, calcretas y suelos para el SE semiárido de España con el fin de construir una escala temporal teórica de las fases más importantes de sedimentación y formación de suelos ocurridas en la zona durante el Holoceno. La mayoría de los datos proceden del conjunto de investigaciones paleosismológicas y paleoclimáticas realizadas en la región de Murcia - Almería durante los últimos 15 años. El conjunto de datos geocronológicos recogidos es de unas 60 fechas, cubriendo los últimos 11 ka, de los cuales 12 fechas corresponden a calcretas y suelos carbonatados. El robusto conjunto de datos de edades de ^{14}C permite construir una función detallada de distribución de frecuencia de edades discriminando periodos (bins) de 500 años. El análisis, identifica claramente los eventos climáticos de 8.2 y 2.4 ka, recientemente considerados como GSSP para el Norgripiense y el Meghalayense, como períodos más secos con menor sedimentación, pero con mayor desarrollo de calcretas, especialmente el primero. El análisis también identifica el Óptimo Climático Holoceno, así como los periodos cálidos romano y medieval como fases de mayor sedimentación.

Palabras clave: Sedimentación aluvial, calcretas, cronología, Holoceno, SE España.

INTRODUCTION

Main data on Holocene sedimentation in the semi-arid SE Spain come from the Guadalentín Depression (Calmel-Avila, 2002; Silva et al., 2008, Silva, 2015) in the Murcia region and from the Almanzora and Aguas rivers (Schulte et al., 2008; Candy et al., 2009). These studies identify broad phases of increased sedimentation during Holocene Optimum, early Bronze Age, and the Ibero-Roman warm period (i.e. Silva, 2015). On the other hand, important episodes of calcrete development and aridification have been identified at the early Holocene, during the initial stages of the present interglacial (OIS 1; Candy et al., 2009). However, in SE Spain another important episode of soil formation (carbonate accumulation) concurs with the collapse of the calcolithic populations in the area and the transit to the Early Bronze Age (i.e. Calmel-Avila, 2002; Silva et al., 2008), nearly coinciding with the initial phases of the newly recognized Meghalayan age after c. 4.2 ka (Walker et al., 2019). Despite all the existing studies, these reach local conclusions hardly extrapolable to the entire semiarid SE Spain.

This work uses the set of available regional geochronological data (OSL, TL, ^{14}C, Th/U) on fan sediments, calcretes and soils from the eastern Betic Cordillera during the Holocene Period in order to construct a theoretical time-framework for discriminate major periods of sedimentation, erosion and soil formation in SE Spain. Chronological data come from palaeoclimatic and paleoseismological trenching studies carried out along the last fifteen years in Holocene deposits from Murcia and Almería (i.e.

Calmel-Avila, 2002; Masana et al., 2004; 2005; Schulte et al., 2008; Silva et al., 2008; Candy et al., 2009; Ortuño et al., 2012; Insua et al., 2015; Ferrater et al., 2017; Masana et al., 2018).

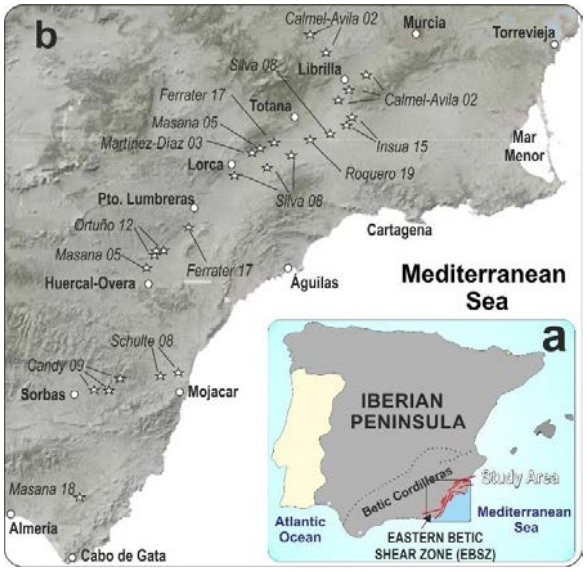


FIGURE 1. Location of the more relevant outcrops for the age data sets used in this study. (a) Location within the Iberian Peninsula; (b) Location in SE Spain. The stars indicate the papers (first author and year of publication) in which the age data sets appeared.

MATERIAL AND METHODS

The gathered geochronological data set is of about 75 dates, covering the last 11 ka, 15 of which correspond to calcretes and carbonate soils. The applied method is based on the implementation of "geochronological frequency distribution" functions like those used by Candy et al. (2019) for Quaternary calcrete development in the SE Spain. The wide and robust number of ^{14}C data existing in the zone allows to construct age-frequency functions discriminating periods (bins) of 500 years (0.5 ka).

The Holocene timespan covered by the geochro-nological dataset has been subdivided into bins of 0.5 ka and the occurrence of ages and uncertainties in each bin is weighted through a score (value = 3), following a methodology like that used by Candy et al. (2009). The score considers the mean age itself and the maximum and minimum ages covered by its associated uncertainty (three ages: value = 3). Since most of the data are derived from ^{14}C ages with associated uncertainty of 2σ, lower or equal to 0.05 ka (50 years) the individual scores hardly overlap three or two time-bins. For instance, that bin that contains the minimum, mean and maximum ages is scored with a value of three (3). In the case, that the bin only holds the minimum and the mean age is scored with a value of 2 and subsequent bin holding the maximum age has only a score of 1. In this way, a bin scored with 3 overlapped by uncertainties (value =1) of other age-data would receive a score of 4, 5, 6, etc. depending on the number of age-data overlapping the bin. Consequently, the resulting frequency distribution will display peaks or lows indicating main periods of sedimentation or soil development. Table 1 displays the obtained scores for soils and sediments during the considered time-bins. Due to the important misbalance between the number of age-data for soils (15) and sediments (50), as well as for maximum and minimum individual and total values of their respective scores (172 sediment vs 59 soil data) both datasets were normalized to provide a weighted comparison (Table 1). Normalization is a statistical operation commonly used in morphometric analyses and digital map algebra in order to scale numeric or spatial datasets for its comparison (i.e. river log-profiles). This operation converts numeric datasets between values of 1.0 (maximum) and 0.0 (minimum) leading their comparison or computation by algebra functions.

The resulting function is eventually scaled and compared with the different climatic periods and events (i.e. Bond events) occurred during the Holocene, in order to find relationships between sedimentation, soil development with warm/cold periods or events. Figure 2 displays the obtained age-frequency distribution curves.

Time (Bin) Years BP	*Mean Age (BP)*	*Soil score*	*Soil N*	*Sediment score*	*Sedm N*
0-500	250	0	0.00	9	0.38
500 – 1000	750	0	0.00	16	0.71
1000 – 1500	1250	0	0.00	18	0.81
1500 – 2000	1750	2	0.20	12	0.52
2000 -2500	2250	2	0.20	17	0.76
2500 – 3000	2750	5	0.50	12	0.52
3000 – 3500	3250	2	0.20	9	0.38
3500 – 4000	3750	3	0.30	12	0.52
4000 – 4500	4250	3	0.30	6	0.24
4500 – 5000	4750	1	0.10	11	0.48
5000 – 5500	5250	4	0.40	1	0.00
5500 – 6000	5750	2	0.20	2	0.05
6000 – 6500	6250	2	0.20	6	0.24
6500 – 7000	6750	1	0.10	7	0.29
7000 – 7500	7250	2	0.20	2	0.05
7500 – 8000	7750	5	0.50	2	0.05
8000 – 8500	8250	5	0.50	1	0.00
8500 – 9000	8750	**10**	1.00	2	0.05
9000 – 9500	9250	6	0.60	1	0.00
9500 – 10000	9750	2	0.20	4	0.14
10000 – 10500	10250	1	0.10	15	0.69
10500 – 11000	10750	2	0.20	**22**	1.00
Máximum score/Total scores		10 / **59**		22 / **172**	

TABLE I. Age data for the construction of age frequency distribution functions and curves displayed in figure 2. Mean ages (yr BP), soil and sediment bulk scores and normalized values (N) are displayed. Shaded bins are those closely related to the 8.2 and 4.2 ka climatic events.

RESULTS AND DISCUSSION

Seventy-five geochronological data (^{14}C, Th/U, OSL, TL ages) have been gathered for the studied region covering

the last 11 ka, fifteen of which correspond to calcretes and carbonate soils. The robust data set of ^{14}C ages allows to construct a detailed age frequency distribution function discriminating periods (bins) of 500 years. The analysis clearly identifies the climatic events of 8.2 and 4.2 ka, recently considered GSSP for the base of Northgripian and Megalayan ages respectively, as drier periods where minor sedimentation but enhanced calcrete formation took place, especially during the first event. The analysis also identifies the Holocene optimum, as well as the Roman and Medieval warm periods as phases of major sedimentation.

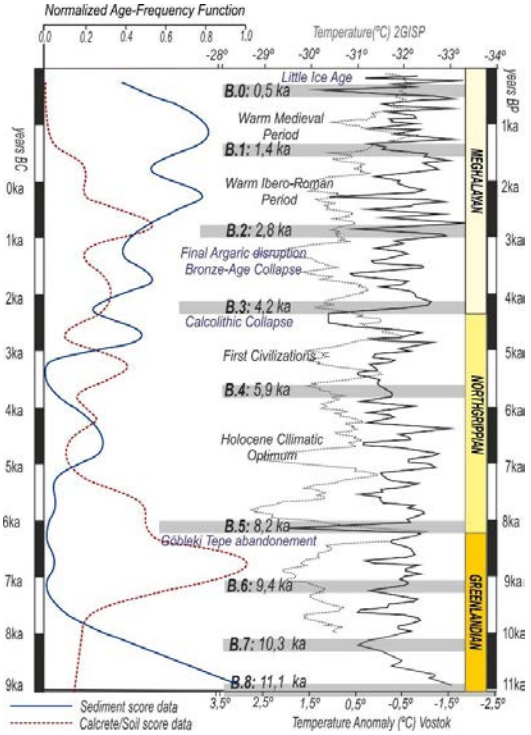


FIGURE 2. Normalized frequency distribution curve for sediment (solid line) and soil calcrete (dotted line) scores calculated in this study. Maximum sediment score before normalization was 28 in bin 10.5-11 ka. Maximum soil score was 22 in bin 8.5-9.0 ka. Climatic framework modified from Silva et al. (2017). B.1, B.2, etc. denote Bond Events.

The obtained frequency age curves clearly display an overlapping and alternating pattern of sediment production vs soil development from c. 11 to c. 4 ka, coinciding with the two first ages (Northgrippian and Greenlandian) of the Holocene. This initial timespan of the Holocene peaks (maximums) of sedimentation clearly coincides with troughs (minimums) of soil formation. Sedimentation reaches its maximum value during the end of the deglaciation between c. 11 and 10.5 ka, whilst soil formation reaches its maximum in the following timespan between 9.5 and 7.0 ka (Fig. 2). It is along this time span, when sediment production reaches its lowest values during the entire Holocene, with minimum score (value = 0) during Bond events B6 and especially during B5 at 8.2 ka. The latter is one of the driest periods of the Holocene being the boundary between the Northgrippian and the Greenlandian ages at global scale (Walker et al., 2019) being clearly identified as the most important period of soil/calcrete development in SE Spain during the Holocene and, consequently, of landscape stabilization.

The alternating pattern of sediment and soil development frequency curves continues after 7 ka and sediment production is recovered during the Holocene Climatic Optimum, but with score values about 70 - 60% lower than those recorded during the first period (Fig. 2; Table 1). Sedimentation peaks are also clearly related to other Holocene warm intervals, showing increasing values. This is the case of those linked to the dawn of the first civilizations (c. 5 ka), the Early Bronze Age (c. 3.5 ka), the Roman and the medieval warm periods (Fig. 2). During this second period of increasing sedimentation of the Holocene, peaks of soil development occur almost coincident or immediately soon after the Bond events B4, B3 and B2 (Fig. 2).

Although it is not the most relevant peak, the second one of these Bond events (B3) fairly coincides with the Northgrippian and Meghalayan boundary at 4.2 ka. In many middle to low latitude regions, this transition coincides with an abrupt aridification period at 4.2 ka, having in some areas profound societal effects, with rain-fed region abandonments and societal collapses archaeo-logically visible across the eastern Mediterranean (Greece, Palestine, Egypt), Mesopotamia, the Indus Valley and also in Spain (Walker et al., 2019). In detail, the 4.2 ka event in Spain coincides with the abrupt end of the Chalcolithic settlements (i.e. Los Millares) and their sharp replacement by the Argaric culture of the Early Bronze Age as displayed by "summed calibrated radiocarbon date range distributions" (SCRDRDs) for archaeological sites in SE Spain (Blanco-Gonzalez et al., 2018). In this sense, well developed Chalcolithic soil horizons dated to ~4400 to 4200 cal. yr BP are actually prominent features across the Guadalentín Depression (Murcia) topping early Holocene sequences of palustrine deposits (Calmel-Avila, 2002). This chalcolithic soil coincides with a period of fan surface stabilization (no deposition), the initial stages of fan dissection (Silva et al., 2008) and a sharp population drop in the area (Calmel-Avila, 2002).

The last peak of soil development occurred immediately after Bond Event B2 (2.8 ka BP). This event is not globally significant, but relevant in the semiarid SE Spain linked to the eventual collapse of the Argaric Bronze Age societies in the area (i.e. La Bastida de Totana; Blanco-Gonzalez et al., 2018), and the general desiccation and dissection of the palustrine environments in the Murcia region (Silva et al., 2008). This episode of soil development is characterized by the recarbonation of organic soils and sediments deposited during the early Bronze Age (Roquero et al., 2019) and an important depopulation of the zone, which is not recovered again until Ibero-Roman times (2.2 - 2.0 ka; Calmel-Avila, 2002; Blanco-Gonzalez et al., 2018). From this episode onward, no significant soil development occurs, and major sedimentary inputs are linked to both the Warm Roman and Medieval periods (Fig. 2). During the Little Ice Age, sedimentation is related both to terrace development in entrenched fan surfaces and to dissected ancient palustrine wetlands (Silva et al., 2008).

It is noteworthy to point out that the set of ages used in this study comes from very different studies, with different objectives. However, the obtained age frequency distribution curves depict not only the most important climatic fluctuations occurred during the antiquity, but also identify the 4.2 and 8.2 ka climatic events as dry periods prompt to develop carbonate soils, specially the 8.2 ka event (Fig. 2).

CONCLUSIONS

This study uses the set of available regional geochronological data (^{14}C, Th/U, OSL, TL) on alluvial sediments, calcretes and soils published for the semiarid SE Spain to build "Age Frequency Distribution Functions" for the last 11 ka. Most of the used data come from the set of paleoseismological and paleoclimatic research in the Murcia – Almería regions during the last 15 years. The gathered geochronological data set is of about 60 dates, of which 15 data correspond to calcretes and carbonate soils. The robust data set of 14C ages allows to construct a detailed age frequency distribution function discriminating periods (bins) of 500 years. The analysis clearly identifies the climatic events of 8.2 and 2.4 ka, recently considered as GSSP for the Northgrippian and the Meghalayan ages, as drier periods with minor sedimentation, but enhanced calcrete formation, especially the first one. The analysis also identifies the Holocene optimum, as well as the Roman and Medieval warm periods as phases of major sedimentation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The MINECO-FEDER Research Project CGL2015-67169-P (QTECTSPAIN –USAL) has funded this work.

REFERENCES

Blanco-González, A., Lillios, K. T., López-Sáez, J.A., Drake, B. L. (2018): Cultural, Demographic and Environmental Dynamics of the Copper and Early Bronze Age in Iberia (3300–1500 BC): Towards an Interregional Comparison at the Time of the 4.2 ky BP Event. *Journal of World Prehistory*, 31:1–79

Calmel-Avila, M. (2002): The Librilla "rambla" an example of morphogenetic crisis in the Holocene (Murcia, SE Spain). *Quaternary International*, 93-94: 101–108.

Candy, I., Black, S. (2009): The timing of Quaternary calcrete development in semi-arid southeast Spain: Investigating the role of climate on calcrete genesis. *Sedimentary Geology*, 218: 6–15.

Ferrater, M., Ortuño, M., Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Pallàs, R., Perea, H., Baize, S., García Meléndez, E., Echevarría, A., Rockwell, T., Sharp, W., Arrowsmith, R. (2017): Lateral slip rate of Alhama de Murcia fault (SE Iberian Peninsula) based on a morphotectonic analysis. *Quaternary International*, 451: 87-100.

Insua Arevalo, J.M., García-Mayordomo, J., Salazar, A., Rodríguez-Escudero, E., Martín-Banda, R., Álvarez Gómez, J. A., Canora, C., Martínez Díaz, J. (2015): Paleoseismological evidence of Holocene activity of the Los Tollos Fault (Murcia, SE Spain): A lately formed Quaternary tectonic feature of the Eastern Betic Shear Zone. *Journal of Iberian Geology* 41 (3): 333-350

Martínez-Díaz, J.J., Masana, E., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P. (2003): Effects of repeated paleo-earthquakes on the Alhama de Murcia fault (Betic Cordillera, Spain) on the Quaternary evolution of an alluvial fan system. *Annals of Geophysics*, 46 (5): 775–792.

Masana, E., Martínez Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P. (2004): The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. *Journal of Geophysical Research*, 109, B01301: 1-17.

Masana, E., Pallàs, R., Perea, H., Ortuño, M., Martínez-Díaz, J.J, García-Meléndez, E., Santanach, P. (2005): Large Holocene morphogenic earthquakes along the Albox fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Geodynamics*, 40: 119-133.

Masana, E., Moreno, X., Gràcia, E., Pallàs, R., Ortuño, M., López, R, Gómez-Novell, O., Ruano, P., Perea, H., Stepancikova, P.,Khazaradze, G. (2018): First evidence of paleoearthquakes along the Carboneras Fault Zone (SE Iberian Peninsula): Los Trances site. *Geologica Acta*, 16 (4): 461-476.

Ortuño, M., Masana, E., García-Meléndez, E., Martínez-Díaz, J.J., Stepancikova, P., Proença Cunha, P., Sohbati, R., Buylaert, J.P.,Canora, C., Murray, A.S. (2012): Paleoseismic study of a slow-moving and silent fault termination: The Alhama de Murcia-Góñar system (Eastern Betics, Spain). *Geological Society of America Bulletin*, 124 (9/10): 1474 – 1494.

Roquero, E. Silva, P.G., Élez, J., Rodríguez-Pascua, M.A., Medialdea, A. (2019). Registro edáfico de los cambios paleoambientales en la Depresión del Guadalentín durante el Holoceno (Murcia, SE España). En: *XV Reunión Nacional de Cuaternario*: 235 – 237.

Schulte, L., Julià, R., Burjachs, F., Hilgers, A. (2008): Middle Pleistocene to Holocene geochronology of the River Aguas terrace sequence (Iberian Peninsula). *Geomorphology,* 98: 13-33.

Silva, PG., Bardají, T., Calmel-Ávila, M., Goy, J.L., Zazo, C. (2008): Transition from alluvial to fluvial systems in the Guadalentín Depression (SE Spain) during the Holocene: Lorca Fan versus Guadalentín River. *Geomorphology*, 100: 140-153.

Silva, P.G., Roquero, E., Bardají, T. Baena-Presley, J. Cearreta, A., Rodríguez Pascua, M.A.; Rosas, A.; Zazo, C., Goy, J.L. (2017): El Periodo Cuaternario: La Historia Geológica de la Prehistoria. *Cuaternario y Geomorfología*, 31 (3-4): 113-154

Walker, M., Head, M.J., Berkelhammer, M., Svante, B, Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D., Gkinis, V., Long, A., Lowe, J., Newnham, R., Rasmussen, O., Weiss, H. (2019): Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period). *Episodes,* 41 (4): 213 – 223.

The timing of Quaternary phases of fan development and soil formation in the semi-arid SE Spain (Eastern Betic Cordillera).

Fases cuaternarias de sedimentación y formación de suelos en el SE semiárido de España (Cordillera Bética Oriental).

P.G. Silva[1], E. Roquero[2], T. Bardají[3], J. Eléz[1]

1 Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior. Ávila Spain. pgsilva@usal.es; j.elez@usal.es
2 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain. elvira.roquero@upm.es
3 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), Spain. teresa.bardaji@uah.es

Abstract: *This work uses the set of available regional geochronological data (OSL, TL, ^{14}C, Th/U) on alluvial sediments, calcretes and soils for the semiarid SE Spain to build a theoretical timescale for the most important phases of sedimentation and soil formation occurred in the zone from the Middle Pleistocene to the Holocene. Most of the data come from the set of paleoseismological and paleoclimatic research carried out in the regions of Murcia and Almeria over the past 15 years. The gathered geochronological data set has 122 dates, 36 for calcic soils and calcretes and 86 for sediments and covers the last 400 ka. The analysis is based on the construction of age-frequency distribution functions discriminating periods of 5 ka, which offer sufficient resolution to distinguish among different Oxygen Isotopic Stages (OIS) occurred during the period of analysis. The analysis excludes age-data for the last 5 ka, since the large number of records published for this time-period will produce an anomalous peak. A detailed study of the Holocene data is presented in another contribution. Calcretes appears as elements developed during the last stages of warm isotopic stages (OIS 9 to 1), whilst sedimentation dominated during the transition between warm-cold isotopic stages, especially during terminations II to I, coinciding with deglaciation periods.*

Keywords: *Fan sediments, calcretes, chronology, isotopic stages, SE Spain.*

Resumen: Este trabajo usa el conjunto de datos geocronológicos (OSL, TL, ^{14}C, Th/U) sobre sedimentos aluviales, calcretas y suelos existentes para el SE semiárido de España con la finalidad de construir una escala temporal teórica de las fases de sedimentación y formación de suelos más significativas ocurridas en la zona desde el Pleistoceno medio hasta el Holoceno. La mayoría de los datos proceden del conjunto de investigaciones paleosismológicas y paleoclimáticas realizadas en la zona de Murcia y Almería durante los últimos 15 años. El conjunto de datos geocronológicos publicados recoge 122 fechas, 36 para suelos calizos y calcretas y 86 para sedimentos y cubre los últimos 400 ka. El análisis se basa en la construcción de funciones de distribución de edad-frecuencia discriminando períodos de 5 ka, que ofrecen suficiente resolución para distinguir entre los diferentes estadios isotópicos de oxígeno (OIS) ocurridos durante el período de análisis. El análisis excluye los datos de edad de los últimos 5 ka, ya que la gran cantidad de registros publicados para este periodo de tiempo producirá un pico anómalo. El análisis indica que las calcretas son elementos que preferentemente se desarrollan durante las últimas etapas de los estadios isotópicos cálidos (OIS 9 al 1), mientras que la sedimentación es dominante durante la transición entre los estadios isotópicos fríos a cálidos, especialmente durante las terminaciones II a I, coincidiendo con los periodos de deglaciación.

Palabras clave: Sedimentación aluvial, calcretas, cronología, estadios isotópicos, SE España

INTRODUCTION

Main analysis of Quaternary sedimentation and soil formation in the semiarid SE Spain comes from the Murcia and Almería regions (Schulte et al., 2008; Silva et al., 2008; Candy et al., 2009; Roquero et al., 2019). These studies indicate that calcretes are primarily interglacial stage elements (warm Oxygen Isotopic Stages; OIS) and sedimentation is commonly attributed to increased sediment supply during glacial to interglacial transitions (cold to warm OIS). However, most of these works use limited geochronological databases and their coverage is normally local.

This work uses the set of available regional geochronological data (OSL, TL, Th/U, ^{14}C) on alluvial sediments, calcretes and soils for the semiarid SE Spain to build a theoretical timescale for the most important phases of sedimentation and soil formation occurred in the zone from the Middle Pleistocene to the Holocene. More recent geocronological data (< 400 ka) mainly come from paleoseismological and paleoclimatic research in the zone over the past 15 years (i.e. Calmel-Avila, 2002; Masana et al., 2004; 2005; Schulte et al., 2008; Silva et al., 2008; Candy et al., 2009; Ortuño et al., 2012; Insua et al., 2015; Ferrater et al., 2017; Masana et al., 2018). Older date estimations (>400 ka) come from theoretical paleoclimatic analogues recently developed in the zone by the authors in paleosol sequences offset by the Palomares fault in Murcia (Roquero et al., 2019).

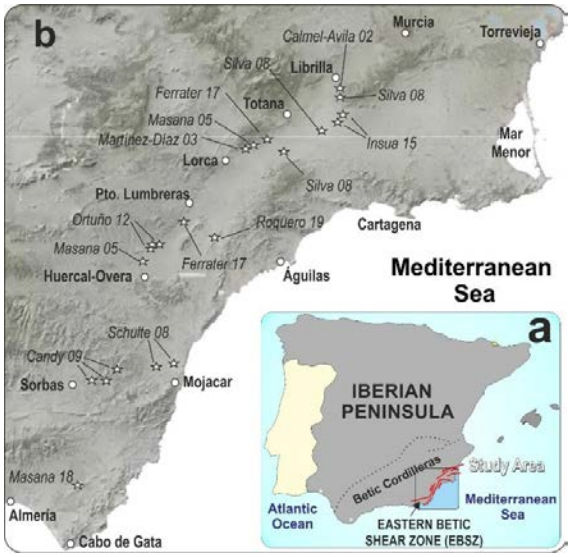


FIGURE 1. Location of the more relevant outcrops for the age data sets used in this study. (a) Location within the Iberian Peninsula; (b) Location in SE Spain. The stars indicate the papers (first author and year of publication) in which the age data sets appeared.

MATERIAL AND METHODS

The gathered geochronological data set includes 122 dates, 36 for calcic soils and calcretes and 86 for sediments and covers, the last 400 ka. The used method is based on the "geochronological frequency distribution" functions like those used by Candy et al. (2009) in the same zone, discriminating periods (bins) of 5 ka. This analysis considers not just the mean ages themselves resulting of the different dating methods, but the uncertainties associated with each age estimate (± errors). This is especially relevant here, as we are comparing ages resulting from diverse analytical methods with different dating precision. The collected database of ages and related uncertainties cover the last c. 400 ka for both calcretes and fan sediments (Table 2) imposed by the common age-limits of the used analytical methods. The calcrete dataset is nearly the same than those used by Candy et al. (2009), but updated with new Th/U ages published for the studied zone (i.e. Ferrater et al., 2017; Masana et al., 2018).

Following the method proposed by Candy et al. (2019) the timespan covered by the geochronological dataset has been subdivided into bins of 5 ka and the occurrence of ages and uncertainties in each of the bins is weighted through a score attached to the mean age itself (value =3) and the timespan covered by its associated uncertainty (value=1). For instance, a bin that contains one mean age (value =3) and is overlapped by an uncertainty of other sample (value =1) would receive a score of 4, whilst a bin that contains two mean ages and overlapped by two uncertainties would receive a score of 8 (Candy et al., 2009; page 10). The resulting frequency distribution for SE Spain (Murcia-Almeria regions) is shown in Fig.2. The oldest calcrete age is 304 ± 24 ka and the youngest one 6.6 ± 1.2 ka. The fan sediments dataset is newly analyzed in this study and the oldest age is 324 ± 24 ka (maximum age of 348 ka). In the analyzed dataset, several age data have been excluded:

(1) Ages younger than 5 ka (last 5000 years) since most of these ages, coming from the numerous paleoseismological studies in the zone, largely overpass the amount of data for previous time-bins and would generate an artificial peak during the Late Holocene. The Holocene geochronologic data set is analyzed in another study of this same volume.

(2) Ages with oversized uncertainty ranges over ± 50 ka, since they can overlap several isotopic stages, especially those occurred after OIS6. This is the case of some age data published by Candy et al. (2009) and Schülte et al. (2008).

(3) Ages from travertine deposits, since these carbonate bodies are difficult to assign to phases of sedimentation or soil formation. This is the case of many of the dates reported by Shülte et al. (2008) and other papers on travertines not considered in this study.

Due to the important misbalance between the number of age-data for soils and sediments (36 vs 86), as well as for maximum and minimum individual and total values of their respective scores (410 sediment vs 266 soil data) both datasets were normalized to provide a weighted comparison. Normalization is a statistical operation commonly used in morphometric analyses and digital map algebra in order to scale numeric or spatial datasets for its comparison (i.e. river log-profiles). This operation converts numeric datasets between values of 1 (maximum) and 0 (minimum) leading their comparison or computation by algebra functions.

RESULTS AND DISCUSSION

The age distribution displayed in Fig. 2 suggests that pedogenic processes leading the formation of calcrete horizons and carbonate soils in SE Spain primarily occur during 'warm' isotope stages from OIS 9 to 1, with very few calcrete ages occurring during cold glacial/stadial stages (OIS 2 to 8). From 300 to 150 ka calcrete development and sediment production display a clear alternating pattern of peaks of calcrete scores coinciding with troughs of sediment and vice-versa. Due to the major amount of age data for the last 150 ka, in this period normalized age-frequency curves exponentially growth and overlap. However, the pattern of peaks of calcrete scores coinciding with through of sediment is still visible during the entire last interglacial period (OIS 5), especially during the stadials 5a, 5c. In contrast, the warm stadial of the OIS3 displays a large anomaly with a significant drop in both sediment production and soil formation between 60 and 30 ka (Fig. 2).

Calcrete/soil development seems to be a function of the environments that existed during 'warm' isotope stages in SE Spain, which favored pedogenic processes for carbonate leaching and accumulation. These favorable conditions are enhanced during the last phases of these warm isotope stages, as visibly occur during OIS1, OIS5, OIS7 and OIS9 (Fig. 2). As proposed by previous authors (i.e.

Candy et al., 2009; Roquero et al., 2019) in semiarid regions it is likely that increased aridity during the intervening glacial stages, coupled with reduced vegetation and accelerated landscape instability, was crucial in reducing rates of calcrete formation. The aforementioned "OIS 3 anomaly" occurred during the last glacial cycle and aridity, from the hydric point of view, would be extreme. There was no sufficient water for sediment production neither for the activation of pedogenic processes. Maybe enhanced erosion and large-scale landscape instability dominated this period (60 to 30 ka), during which Neanderthals become eventually extinct in southern Spain. In the case of the present interglacial, soil formation dominated during its first 5000 years, after a period of significant sedimentation between 15,000 and 10,000 years (Fig. 2). Soil data for the Late Holocene are significantly small, and only soil development correlative to the collapse of Chalcolithic populations in the area (c. 4.2 ka climatic event) was relevant (Calmel-Avila, 2002; See Silva et al., this volume).

On the other hand, sediment production primarily occurs during the intervening cold periods, but especially during the glacial-interglacial transitions and initial phases of warm stages. This is especially visible during the so-called Terminations I, II and III (deglaciations), related to the end of the cold isotope stages OIS2, OIS6 and OIS 8 respectively (Fig. 2). OIS 6 represents a probable anomaly, since during the first half of this cold stage (c. 180 – 150 ka) soil development dominates (Fig. 2). This anomaly could be related with some findings in the eastern Mediterranean indicating the occurrence of very low $\delta^{18}O$ (6‰ to 12‰) and $\delta^{13}C$ values (11‰) typical of warm intervals during the period c.178 to 152 ka (Ayalon et al., 2002). These authors indicate that rainfall increased dramatically due to the northwards shift of the African monsoons. These isotopic records indicate that climate was as cold as much of the last glacial, but the conditions were never as dry. Paleoeco-logical data from Spain indicate that precipitation was sufficient in southern Mediterranean Europe during OIS 6 for the persistence of temperate trees (Blain et al., 2017), and therefore favoring soil development.

The last identified peak of calcrete development is related with the last phases of the warm isotopic stage OIS9, around 300 ka (Candy et al., 2009; Roquero et al., 2019). During this period, mature calcretes topping the oldest preserved fan surfaces in SE Spain developed (Silva 2015). Fluvial terraces of this age and oldest ones also show the development of similar mature calcretes (Candy et al., 2009), which could be up to 2-3 m thick, with nice laminar horizons (Silva, 2015). This phase of sedimentation, ending at c. 300 ka, marks the end of the most relevant phase of uplift along the faulted mountain front of the zone (relief generation) and coincides with the second phase of alluvial fan development of Silva (2015). The first phase the alluvial fan sediments are tectonised and incorporated to the marginal reliefs. From this period onward, tectonic modification of the relief is very limited, and restricted to relatively small surface faulting events of metric scale (Silva, 2015).

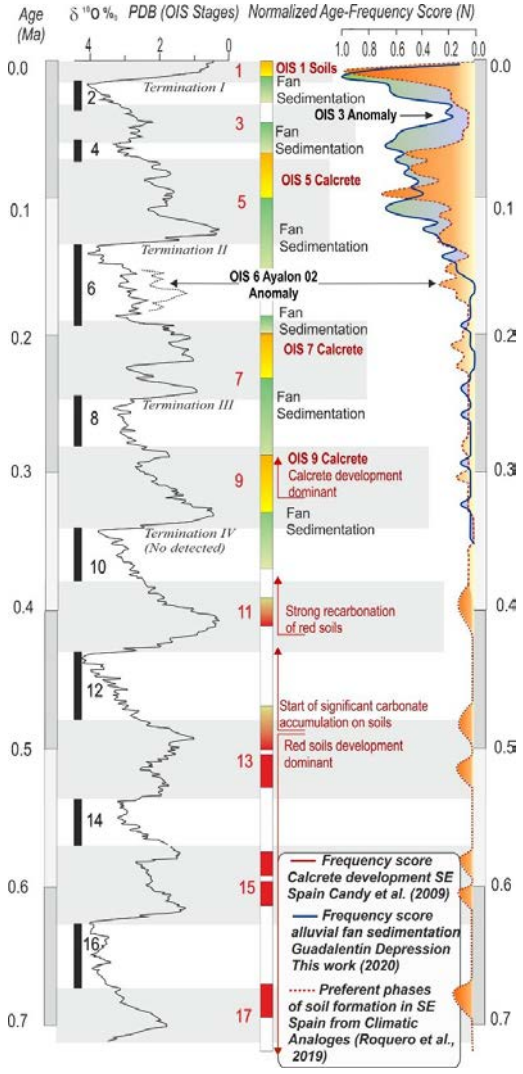


FIGURE 2. Normalized frequency distribution curve for sediment (solid line) and soil calcrete (dotted line) scores calculated in this study. Climatic framework modified from Roquero et al. (2019).

Using the paleoclimatic analogues for soil sequences proposed for the zone (Roquero et al., 2019) is possible to infer periods of soil development up to the latest stages of OIS 17 around 700-710 ka (Fig. 2). These data imply that the second fan sedimentation phase of Silva (2015) would start around the isotope stage OIS 17, soon after the Middle-Lower Pleistocene boundary at 780 ka BP. Climatic analogues proposed for the zone also match with published paleomagnetic data for soil sequences in the zone, all of them developed during the Brunhes Normal Chron (Roquero et al., 2019). Data from these last authors indicate that carbonate accumulation and recarbonation of previous red soils (Bt, argilic horizons) developed in the zone start to be significant from isotope stage OIS 11, which presents similar environmental conditions to OIS 1 in the Mediterranean region (Ayalon et al., 2002). From OIS 9 onwards widespread calcrete development dominated (Fig. 2). Less mature calcretes occur during the OIS 5 and carbonate soils (calcic horizons) developed during the early Holocene.

CONCLUSIONS

The study gathers 122 dates, 36 for calcic soils and calcretes and 86 for sediments, covering the last 400 ka. The analysis is based in the construction of age-frequency distribution functions discriminating periods of 5 ka, which offer sufficient resolution to distinguish among different Oxygen Isotopic stages (OIS) occurred during the period of analysis. The study excludes age-data for the last 5ka, since the big number of records published for this time-period would produce an anomalous peak.

The study identifies alternating periods of sedimentation and soil formation from the Brunhes-Matuyama boundary (OIS 17 – OIS 18). Calcretes and carbonate soils appear as elements developed during the last stages of warm isotopic stages, whilst sedimentation dominated during the transition between warm-cold isotopic stages, especially during terminations III to I, coinciding with deglaciation periods. Climatic anomalies detected in isotope stages OIS 3 (warm) and OIS 6 (cold) seem to be related to regional anomalies in the Mediterranean region linked to anomalous shifts of the African monsoons (to be studied).

ACKNOWLEDGEMENTS

The MINECO-FEDER Research Project CGL2015-67169-P (QTECTSPAIN –USAL) has funded this work.

REFERENCES

Ayalon, A., Bar-Matthews, M., Kaufman, A. (2002): Climatic conditions during marine oxygen isotope stage 6 in the eastern Mediterranean region from the isotopic composition of speleothems of Soreq Cave, Israel. *Geology*, 30 (4): 303 – 306.

Blain, H.A., Cruz Silva, J.A., Jiménez Arenas, J.M., Margari, V., Roucoux, K. (2018): Towards a Middle Pleistocene terrestrial climate reconstruction based on herpetofaunal assemblages from the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 191: 167-188

Calmel-Avila, M. (2002): The Librilla "rambla" an example of morphogenetic crisis in the Holocene (Murcia, SE Spain). *Quaternary International,* 93-94: 101–108.

Candy, I., Black, S. (2009): The timing of Quaternary calcrete development in semi-arid southeast Spain: Investigating the role of climate on calcrete genesis. *Sedimentary Geology*, 218: 6–15.

Ferrater, M., Ortuño, M., Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Pallàs, R., Perea, H., Baize, S., García Meléndez, E., Echevarría, A., Rockwell, T., Sharp, W., Arrowsmith, R. (2017): Lateral slip rate of Alhama de Murcia fault (SE Iberian Peninsula) based on a morphotectonic analysis. *Quaternary International,* 451: 87-100.

Insua Arevalo, J.M., García-Mayordomo, J., Salazar, A., Rodríguez-Escudero, E., Martín-Banda, R., Álvarez Gómez, J. A., Canora, C., Martínez Díaz, J. (2015): Paleoseismological evidence of Holocene activity of the Los Tollos Fault (Murcia, SE Spain): A lately formed Quaternary tectonic feature of the Eastern Betic Shear Zone. *Journal of Iberian Geology* 41 (3): 333-350

Martínez-Díaz, J.J., Masana, E., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P. (2003): Effects of repeated paleo-earthquakes on the Alhama de Murcia fault (Betic Cordillera, Spain) on the Quaternary evolution of an alluvial fan system. *Annals of Geophysics,* 46 (5): 775–792.

Masana, E., Martínez Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L., Santanach, P. (2004): The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary. *Journal of Geophysical Research*, 109, B01301: 1-17.

Masana, E., Pallàs, R., Perea, H., Ortuño, M., Martínez-Díaz, J.J, García-Meléndez, E., Santanach, P. (2005): Large Holocene morphogenic earthquakes along the Albox fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Geodynamics*, 40: 119-133.

Masana, E., Moreno, X., Gràcia, E., Pallàs, R., Ortuño, M., López, R, Gómez-Novell, O., Ruano, P., Perea, H., Stepancikova, P., Khazaradze, G. (2018): First evidence of paleoearthquakes along the Carboneras Fault Zone (SE Iberian Peninsula): Los Trances site. *Geologica Acta,* 16 (4): 461-476.

Ortuño, M., Masana, E., García-Meléndez, E., Martínez-Díaz, J.J., Stepancikova, P., Proença Cunha, P., Sohbati, R., Buylaert, J.P., Canora, C., Murray, A.S. (2012): Paleoseismic study of a slow-moving and silent fault termination: The Alhama de Murcia-Góñar system (Eastern Betics, Spain). *Geological Society of America Bulletin*, 124 (9/10): 1474 – 1494.

Roquero, E. Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A., Bardají, T., Élez, J., Carrasco-García, P, Giner-Robles, J. (2019). Geomorphology and pedology of faulted fan surfaces and paleosols in the Palomares Fault Zone (Betic Cordillera, SE Spain). *Geomorphology*, 342: 196 – 209.

Schulte, L., Julià, R., Burjachs, F., Hilgers, A. (2008): Middle Pleistocene to Holocene geochronology of the River Aguas terrace sequence (Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 98: 13-33.

Silva, P.G. (2015): The Guadalentín Tectonic Depression, Betic Cordillera, Murcia. En: *Landscapes and landforms of Spain* (Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. eds.). Springer Science, World Geomorphological Landscapes Series, Elsevier, Amsterdam, 25 -35.

Silva, PG., Bardají, T., Calmel-Ávila, M., Goy, J.L., Zazo, C. (2008): Transition from alluvial to fluvial systems in the Guadalentín Depression (SE Spain) during the Holocene: Lorca Fan versus Guadalentín River. *Geomorphology*, 100: 140-153.

Tabla Cronoestratigráfica del Cuaternario de la Península Ibérica v 3.0

Chronostratigraphic Chart for the Quatemary of the Iberian Peninsula v 3.0

P.G. Silva[1], T. Bardají[2], J. Baena[3], J.L. Giner-Robles[4], J. van der Made[5], C. Zazo[6], A. Rosas[5] y J. Lario[7]

1 Dpto. Geología, Universidad de Salamanca (USAL), Escuela Politécnica Superior Ávila, Ávila, España.; pgsilva@usal.es
2 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), España. teresa.bardaji@uah.es
3 Depto. Prehistoria y Arqueología. Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco, Madrid. javier.baenal@uam.es
4 Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco, Madrid. jorge.giner@uam.es
5 Dpto. Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid. jvdm538@mncn.csic.es; arosas@mncn.csic.es
6 Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Madrid. mcnzc65@nncn.csic.cs
7 Dpto. Ciencia Analíticas, Facultad de Ciencias, UNED. Madrid; Javier.Lario@ccia.uned.es

Palabras clave: Cuaternario, Cronoestratigrafía, fauna, prehistoria, yacimientos, Península Ibérica.

Resumen

La tercera edición de la Tabla Cronoestratigráfica del Cuaternario de la Península Ibérica (v 3.0) sustituye a las versiones más antiguas editadas en 2007 y 2009 (Silva *et al.*, 2009). Desde esta fecha la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS), y más concretamente la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (SQS), ha estado trabajando tanto en la definición del Periodo Cuaternario como en sus subdivisiones, aportando nuevos GSSP (Global Stratotype Section and Points) para los mismos. La nueva tabla incluye los GSSPs recientemente aprobados para la subdivisión del Holoceno (Groenlandiense, Norgripiense y Meghalayense; Walker *et al.*, 2018), así como el nuevo piso Chibaniense (0,774-0,129Ma) ratificado por la IUGS a principios de año (Head *et al.*, 2020), que sustituye al Pleistoceno Medio. Esta tercera edición también incluye todas las modificaciones y correcciones que han surgido desde entonces, y una lista de referencias actualizada. La tabla 3.0 incluye también una versión digital para ser consultad desde dispositivos electrónicos (ordenadores, tablets, teléfonos móviles, etc.). La tabla se implementará en la plataforma "Genially" para la generación de archivos interactivos (https://www.genial.ly/es) que permitan el acceso a toda la información presente en la misma. Las ventajas más importantes son la interactividad del material, así como los enlaces a información complementaria (sitios web y artículos sobre el Cuaternario) contenidos en la nueva tabla.

Abstract

The third edition of the Chronostratigraphic Chart for the Quatemary of the Iberian Peninsula (v 3.0) substitutes the older 2007 and 2009 versions (Silva et al., 2009). The International Commission on Stratigraphy (ICS), and more specifically the Subcommission on Quatemary Stratigraphy (SQS), has been working since 2009 both in the formal definition of the Quatemary status and its subdivisions, based on formally approved GSSPs (Global Stratotype Section and Points). This new Chart includes the recently approved GSSPs for the subdivisions of the Holocene epoch (Northgrippian, Greenlandian and Meghalayan; Walker et al., 2018) and the Chibanian, that replaces the former Middle Pleistocene (0,774-0,129 Ma) ratified by the IUGS this year (Head et al., 2020). This third edition also includes all the modifications and corrections that have arisen since then, and an updated reference list. The 3.0 chart also includes a digital version to be consulted from electronic devices (computers, tablets, mobile phones, etc.), The chart will be implemented in the Genially platform (https://www.genial.ly/es) for the generation of interactive files that allow access to all the information present in the table. The most important advantages will be the interactivity of the online chart as well as the links to complementary info (Quaternary websites and papers) to the data present in the table.

Referencias

Head, M.J., Pillans, B. Zalasiewicz, J.A. *et al.* (2020). Episodes. https://doi.org/10.18814/epiiugs/2020/020084

Silva, P.G., Zazo, C., Bardají, T., Baena, J., Lario, J., Rosas, A., Van der Made, J. (2009). En: *VII Reunión de Cuaternario Ibérico*, 259 – 263.

Walker, M., Head, M.J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H. *et al.* (2018). *Episodes* 41 (4), 213-223.

Las terrazas cuaternarias de los valles del Júcar y del Cabriel en su zona de confluencia en del corredor de Ayora-Cofrentes (Valencia).

Quaternary terraces of the Júcar and Cabriel valleys at their confluence zone within the Ayora-Cofrentes corridor (Valencia).

F. Tapias[1], P.G. Silva[1], J. Élez[1], E. Roquero[2] T. Bardají[3], J.L. Giner-Robles[4] y F. Gutiérrez[5]

1 Dpto. Geología. Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila. España. ftapias@usal.es; pgsilva@usal.es; j.elez@usal.es
2 Dpto. Edafología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid (Madrid), España. elvira.roquero@upm.es
3 U.D. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid), España. teresa.bardaji@uah.es
4 Dpto. Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco (Madrid), España. jorge.giner@uam.es
5 Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza (Zaragoza), España. fgutier@unizar.es

Palabras clave: Cuaternario, geocronología, terrazas fluviales, Júcar, Cabriel.

Resumen

El presente estudio, presenta los datos recopilados para la caracterización de la secuencia de terrazas cuaternarias de los valles de los ríos Júcar y Cabriel en su zona de confluencia. La zona de estudio abarca un radio de 10 km desde la zona de confluencias de ambos ríos en las inmediaciones de la población de Cofrentes (Valencia). Geológicamente se encuadra dentro del corredor tectónico de Ayora-Cofrentes en las estribaciones más nororientales de la Zona Externa Prebética y cerca de la Cordillera Ibérica meridional. Se analizaron 284 puntos de control en los sistemas de terrazas y se realizaron 23 dataciones (CENIEH) mediante distintos métodos (OSL, ESR, Th/U), pudiéndose documentar un total de 14 niveles de terrazas entre +130 m (T1) y +3-4 m (T14) de cota relativa sobre los cauces. La T1 posee una edad media de entre 1,5 – 2,0 M.a. ya que se encuentra atravesada por los materiales volcánicos datados del volcán de Agras (Sáenz-Ridruejo y López-Mariñas, 1975; Lendínez y Tena, 1980; Silva *et al.*, 2015). Las determinaciones geocronológicas realizadas indican que el tránsito Pleistoceno inferior-medio se sitúa ligeramente por encima de la T6 (+60m) que posee una edad ESR de c. 600 ka y que el comienzo del Pleistoceno superior se sitúa en el nivel T9 (+25-30 m) donde se han realizado numerosas dataciones OSL con edades comprendidas entre 180 y 82 ka. Toda esta información se está terminando de completar, reelaborar y sintetizar para intentar obtener un modelo evolutivo del desarrollo de estos valles principales y de sus tributarios (Jarafuel-Cautabán, Murell, Sácaras, etc.) durante el Cuaternario.

Abstract

This work presents the characterization of the sequence of Quaternary terraces in the confluence zone of the rivers Júcar and Cabriel river valleys. The study area covers a radius of 10 km from the river confluence near the locality of Cofrentes (Valencia). The zone is within the northern area of the Ayora-Cofrentes tectonic corridor in the northeastern sector of the External Prebetic Zone adjacent to southern Iberian Cordillera. Two hundred eighty four control points were analyzed in the terrace system and 23 dates (CENIEH) were obtained by means of different dating methods (OSL, ESR, Th/U). Fourteen terrace levels were identified between +130 m (T1) and +3-4 m (T14) of relative height above the thalwegs. The T1 has an average age of c. 1.5 - 2.0 M.a. as is disrupted by dated volcanic materials from the Agras volcano (Sáenz-Ridruejo and López-Mariñas, 1975; Lendínez and Tena, 1980; Silva et al., 2015). The obtained geochronological determinations indicate that the Lower-Middle Pleistocene transit is slightly above T6 (+60 m) which has an ESR age of c. 600 ka and that the beginning of the Upper Pleistocene is located at the T9 terrace (+25-30 m) where numerous OSL data have been achieved with ages between 180 and 82 ka. All this information is being completed, reworked and synthesized to obtain an evolutionary model of the development of these main valleys and their southern tributaries (Jarafuel-Cautabán, Murell, Sácaras, etc.) during the Quaternary. The MINECO-FEDER Research Project CGL2015-67169-P (QTECTSPAIN) has funded this work.

Referencias

Lendínez, A., Tena, M. (1980). *Mapa Geológico de España a escala 1:50,000, hoja nº 745 (Jalance) y memoria*. IGME, 28 p.

Sáenz-Ridruejo, C. y López-Mariñas, J.M. (1975). *Tecniterrae*, 6, 8-14

Silva, P.G., Giner-Robles, J.L., Elez, J., Rodríguez-Pascua, M.A., Perucha, M.A., Roquero, E., Huerta, P., Martínez-Graña, A. (2015). En: *XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada,* 162-166.

Facies sedimentarias en lagos de alta montaña del Pirineo central durante el Holoceno tardío: tipología e interpretación deposicional

Late Holocene sedimentary facies in high mountain lakes of the Central Pyrenees: types and environmental interpretation

A.Vicente de Vera[1], M. Leunda[2], O. Sociats[3], M.P. Mata-Campo[4], B.L. Valero-Garcés[1]

1 Instituto Pirenaico de Ecología (IPE) – CSIC, Avda. Montañana 1005, 50015 Zaragoza (Zaragoza) a.vicentevera@csic.es ; blas@ipe.csic.es
2 Institute of Plant Sciences & Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern. Altenbergrain 21, CH-3013, Bern (Switzerland). maria.leunda@ips.unibe.ch
3 Dpto. Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona 08028 Barcelona. onasociats@gmail.com
4 Instituto Geológico y Minero de España, IGME. Calle Ríos Rosas 23. 28003 Madrid, España. p.mata@igme.es

Palabras clave: Facies lacustres, Antropoceno, Holoceno, Análisis multiproxy.

Resumen

En este trabajo se caracterizan sedimentológica y geoquímicamente los sedimentos depositados durante el Holoceno tardío en varios lagos de alta montaña del Pirineo Aragonés, de oeste a este: Acherito, La Sierra, Sabocos, Marboré, Urdiceto y Cregueña, todos ellos entre 1870 y 2630 msnm, y situados en cuencas con diferente geología, tanto silíceas (Vicente de Vera, 2017; Sociats, 2018) como carbonatadas (Leunda, 2019). Las facies sedimentarias se han caracterizado mediante un análisis multidisciplinar incluyendo técnicas sedimentológicas (granulometría, texturas, color, composición, y láminas delgadas), geoquímica elemental (ICP) y scanner de XRF de sondeos de gravedad recuperados en las zonas más profundas del lago. Las tasas de sedimentación y modelos de edad se han obtenido mediante ^{210}Pb, ^{137}Cs y ^{14}C. El análisis de facies permite reconstruir la evolución de los procesos de transporte de sedimentos desde la cuenca y la producción de materia orgánica en el lago durante los últimos 2000 años. Las secuencias sedimentarias muestran cambios asociados a periodos climáticos y actividad humana (minería, explotación hidroeléctrica).

Abstract

In this work, sediments deposited during the late Holocene in several high mountain of the Aragonese Pyrenees are characterized sedimentologically and geochemically, from west to east: Acherito, La Sierra, Sabocos, Marboré, Urdiceto and Cregueña, all of them between 1870 and 2630 masl, and located in basins with different geology, siliceous (Vicente de Vera, 2017; Sociats, 2018) and carbonated (Leunda, 2019). The sedimentary facies have been characterized through a multidisciplinary analysis including sedimentological techniques (granulometry, textures, color, composition, and thin sections), elementary geochemistry (ICP) and XRF scanner of gravity cores recovered in the deepest areas of the lake. Sedimentation rates and age models have been obtained using ^{210}Pb, ^{137}Cs and ^{14}C. Facies analysis allows the reconstruction of the evolution of sediment transport processes from the basin and production of organic matter in the lake during the last 2000 years. The sedimentary sequences show changes associated with climatic periods and human activity (mining, hydroelectric exploitation).

Referencias

Leunda, M. (2019). *Millennial scale vegetation and fire dynamics at high altitudes in the Central Pyrenees.* Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 241 p.

Sociats, O. (2018). *Reconstrucción de la dinámica sedimentaria y productividad del ibón de Cregueña en los últimos 2000 años.* Trabajo Fin Máster, Univ. de Barcelona, 27 p.

Vicente de Vera, A. (2017). *Respuesta sedimentaria en un lago de alta montaña ante el impacto climático y antrópico: El Lago Urdiceto (Huesca).* Trabajo Fin Máster, Univ. de Zaragoza, 39 p.

La respuesta heterogénea de los glaciares pirenaicos entre 2011 y 2020.

The heterogeneous response of Pyrenean glaciers between 2011-2020.

I.Vidaller[1], J. Revuelto[1], E. Izagirre[2], E. Alonso-González[1], S. Gascoin[3], P. Rene[4], E. Berthier[3]; F. Rojas-Heredia[1], I. Rico[2], A. Moreno[1]; J.I López-Moreno[1]

1 Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Avda. Montaña 1005 Zaragoza. Correos electrónicos de los autores: ixeia@ipe.csic.es; revuelto@ipe.csic.es; e.alonso@ipe.csic.es; frojash@ipe.csic.es; amoreno@ipe.csic.es; nlopez@ipe.csic.es.
2 Dept. of Geografía, Prehistoria and Arqueología, Universidad del País Vasco, Vitoria-Gasteiz. Correos electrónicos de los autores: izagirre.enaut@gmail.com; ibai.rico@ehu.eus.
3 CESBIO, Universidad de Toulouse, CNES/CNRS/IRD/UPS, Toulouse, Francia. Correos electrónicos de los autores: simon.gascoin@cesbio.cnes.fr; etienne.berthier@legos.obs-mip.fr
4 Asociación Moraine, Luchon, Francia. pierre.rene@wanadoo.fr

Palabras clave: glaciares, Pirineos, drones, balance de masas.

Resumen

Los glaciares pirenaicos se encuentran en un claro retroceso desde la Pequeña Edad de Hielo (PEH) y este se ha acelerado en las últimas décadas. El uso de tecnologías modernas como son los drones (UAVs), láser-escáner terrestre (TLS) o LiDAR nos ha permitido realizar un balance de masas entre los años 2011 y 2020, así como analizar la respuesta de estos glaciares al cambio climático. Se observa que las pérdidas de área superan el 20% (24.15%) y la pérdida media de espesor de es de 7.27m, lo que supone que algunos de estos glaciares han perdido en estos nueve últimos años la mitad del espesor que les queda en la actualidad. A estas pérdidas se les suma las que ya se conocían del 88.25% de su superficie entre 1850 y 2016 (Rico *et al.*, 2017), por lo que las pérdidas totales desde el final de la PEH ascienden a un 95.91%.

Este acelerado retroceso causa en estos glaciares, unos de los más meridionales de Europa, hace que estos pequeños glaciares ya no estén controlados por las condiciones climáticas regionales, si no que responden a factores topoclimáticos. Ofreciendo una respuesta muy heterogénea al calentamiento global que depende de factores como la orientación, la altitud y morfología del circo. Así, estos pequeños glaciares, muy retraídos y protegidos a las paredes de los circos pueden existir en zonas donde la temperatura media anual está en torno a 0ºC (Grunewald y Scheithauer, 2010).

Abstract

Pyrenean glaciers are in an evident shrinkage since Little Ice Age (LIA) with a marked tendency of glacier retreatment, and this decline has been accelerated in the recent decades. The use of modern technologies such as drones (UAVs), terrestrial laser scanner (TLS) and LiDAR has allowed us to obtain a mass balance between the years 2011 to 2020. We observed more than 20% area loss (24.15%) and 61.43hm3 of volume loss. Besides that, the mean thickness loss in all the glaciers studied is 7.27m, which means that some of these glaciers have lost half of their current thickness in the last nine years. To these losses we must add the shrinkage between 1850 to 2016, when glaciers loss the 88.25% of its area (Rico et al., 2017), so the total losses since the end of the LIA mounts up to 95.91%.

This accelerated shrinkage cause that these glaciers, ones of the southernmost glaciers in Europe, has now a topoclimatic control instead of directly responding to the regional climatic conditions, thus causing a heterogeneous response to the climate change that depends on altitude, orientation and cirque morphology. As a result, those small and retreated glaciers, protected to the cirque walls, may exist today in areas where average annual temperature is about 0ºC (Grunewald and Scheithauer, 2010).

Referencias

Grunewald, K. y Scheithauer, J. (2010). *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 195, 129-142.

Rico, I., Izagirre, E., Serrano, E. and López-Moreno, L. M. (2017). *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña,* doi: http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2017.172004

Mineralogía magnética del depósito beachrock de Tunelboca (Ría de Bilbao, norte de España): Interrelación entre procesos sedimentarios naturales y desechos industriales ricos en hierro.

Magnetic mineralogy of Tunelboca beachrock deposit (Bilbao estuary, northern Spain): Interplay between natural sedimentary processes and industrial Fe-rich waste materials.

V. Villasante-Marcos[1], A. Cearreta[2], M.J. Irabien[2]

1 Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/Alfonso XII, 3, 28014 Madrid. vvillasante@mitma.es

2 Dpto. de Geología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao, alejandro.cearreta@ehu.eus, mariajesus.irabien@ehu.eus

Palabras clave: Tunelboca, magnetismo de rocas, contaminación industrial, beachrock.

Resumen

Se han estudiado las propiedades magnéticas del depósito beachrock de Tunelboca (desembocadura de la Ría de Bilbao, norte de España) para caracterizar su mineralogía magnética y obtener información sobre su formación y evolución. Esta caracterización se ha realizado de dos modos complementarios: por un lado, mediante la medida in situ de perfiles, tanto estratigráficos como superficiales, de la susceptibilidad magnética; y por otro, mediante el análisis en laboratorio de muestras discretas, determinándose su susceptibilidad magnética, curvas de histéresis y remanencia, y comportamiento termomagnético a alta temperatura. Los resultados indican una gran abundancia de magnetita, formada a partir del hierro presente en los desechos industriales originales, así como la presencia de otros oxi-hidróxidos de hierro. Parte del hierro no oxidado original sigue detectándose claramente en los materiales, especialmente en los más recientes. Esta caracterización magnética permite usar el depósito de Tunelboca como caso límite de material extremadamente rico en residuos industriales de hierro con el que comparar los datos de magnetismo ambiental obtenidos en los sedimentos intermareales recientes de la Ría de Bilbao y otras rías altamente contaminadas del norte peninsular. Debido a la naturaleza fuertemente magnética de los materiales de Tunelboca, el magnetismo de rocas se revela como una herramienta muy útil para el estudio de este caso singular y espectacular de depósito formado por la interrelación de procesos sedimentarios naturales con materiales industriales antropogénicos.

Abstract

Rock-magnetic properties of the Tunelboca beachrock deposit (Bilbao estuary mouth, northern Spain) have been investigated to characterize its magnetic mineralogy and to obtain information about its genesis and evolution. This magnetic characterization has been performed by two complementary methods: on one side, in situ measurement of stratigraphic and surface magnetic susceptibility profiles; and on the other, a laboratory analysis of discrete samples (magnetic susceptibility, hysteresis, remanence and high temperature thermomagnetic curves). The results indicate great abundance of magnetite derived from the iron present in the original industrial iron slag materials, as well as other iron oxy-hydroxides. Part of the original iron is also clearly detected in the samples, especially the most recent. This magnetic characterization allows us to use Tunelboca as an end-member of extremely Fe-rich industrial waste products when comparing with our environmental magnetism data from modern intertidal sediments along the Bilbao estuary and other highly polluted estuarine settings in northern Iberia. Due to the highly magnetic character of the Tunelboca materials, rock-magnetism reveals itself as a very useful tool to investigate this singular and spectacular example of a deposit formed by the interplay between natural sedimentary processes and anthropogenic industrial materials.

Propiedades magnéticas de los sedimentos recientes de los lagos Ausente e Isoba (Cordillera Cantábrica, norte de España) como trazadores de cambios ambientales e influencia antrópica.

Magnetic properties of recent sediments from Ausente and Isoba lakes (Cantabrian Range, northern Spain) as tracers of environmental changes and anthropic influence.

V. Villasante-Marcos[1], R. González[2], F. Martín[2], M. Morellón[3], J. Gardoki[3]

1 Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/Alfonso XII, 3, 28014 Madrid. vvillasante@mitma.es
2 Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. ricarg01@ucm.es , fatima@ucm.es
3 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. mmorello@ucm.es , jgardoqu@ucm.es

Palabras clave: magnetismo ambiental, cambio ambiental, influencia antrópica, sedimentos lacustres, Holoceno.

Resumen

Se han estudiado las propiedades magnéticas de dos testigos de sedimentos recientes perforados en los fondos de los lagos Ausente (altitud ~1750 m) e Isoba (altitud ~1400 m) en la Cordillera Cantábrica (norte de España), analizándose tanto la susceptibilidad magnética de los testigos enteros (sensores core-through y de barrido superficial), como los parámetros magnéticos de muestras discretas, obtenidas submuestreando los testigos con resolución estratigráfica centimétrica (susceptibilidad magnética, ciclos de histéresis y remanencia, curvas termomagnéticas). Los resultados de esta caracterización magnética se han correlacionado con datos de contenido en materia orgánica y datos geoquímicos de abundancia de elementos mayoritarios y metales pesados. Se ha obtenido un modelo de edades para los testigos mediante datación precisa con ^{210}Pb y ^{137}Cs. Todos estos datos permiten reconstruir los cambios ambientales, tanto naturales como de origen antrópico, en esta zona, y que han quedado registrados en los sedimentos de los dos lagos durante los últimos cuatro siglos en el caso de Isoba y los últimos dos milenios en el caso de Ausente. La comparación entre ambos lagos, debido a su diferencia de altitud, permite además obtener información sobre diferencias en el tipo e intensidad de los impactos antrópicos que han afectado a cada uno de ellos.

Abstract

Two cores of recent sediments from Lake Ausente (altitude: ca. 1750 masl) and Lake Isoba (altitude: ca. 1400 masl), both in the Cantabrian Range (northern Spain), have been investigated for their rock-magnetic properties. We have measured magnetic susceptibility of whole cores (core-through and surface sensors), as well as magnetic parameters of discrete subsamples recovered from the cores at 1 cm stratigraphic resolution (magnetic susceptibility, hysteresis and remanence cycles, thermomagnetic cycles). The results of this magnetic characterization have been correlated with organic content and geochemistry data, both major element and heavy metal abundances. An age model has been obtained for the cores based on ^{210}Pb and ^{137}Cs precise dating. All these data allow the reconstruction of the environmental changes, being natural or anthropogenic, recorded in these lacustrine sediments during the last four centuries in Isoba and the last two millennia in Ausente. The comparison between both lakes, due to their difference in altitude, allows also to infer some information about differences in the type and intensity of the anthropic impacts experimented by each lake.

Generación de litosfera oceánica en ciclos de 100 Ma en peri-Gondwana: Ofiolitas de Marruecos e Iberia

100 Ma cycles of oceanic lithosphere generation in peri-Gondwana: Ophiolites from Morocco and Iberia

R. Arenas[1], S. Sánchez Martínez[1], R. Albert[2], F. Haissen[3], J. Fernández-Suárez[1], N. Pujol-Solà[4], P. Andonaegui[1], R. Díez Fernández[5], J.A. Proenza[4], A. Garcia-Casco[6], A. Gerdes[2]

1 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. rarenas@ucm.es, s.sanchez@geo.ucm.es, jfsuarez@geo.ucm.es, andonaeg@gucm.es

2 Institut für Geowissenschaften, Goethe-University Frankfurt, 60438 Frankfurt, Germany. albertroper@em.uni-frankfurt.de, gerdes@em.uni-frankfurt.de

3 LGAGE, Dpt. de Géologie, Université Hassan-II de Casablanca, Casablanca, Morocco. faouziya.haissen@gmail.com

4 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. nurpss@gmail.com, japroenza@ub.edu

5 Dpt. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense. 28040 Madrid, Spain. rudiez@ucm.es

6 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Inst. Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR, CSIC), Universidad de Granada. 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es

Palabras clave: Peri-Gondwana, supra-subduction zone ophiolites, Anti-Atlas and Iberian Massif, 100.

Resumen

El Orógeno Varisco en Iberia y el Anti Atlas de Marruecos contiene un conjunto de ofiolitas generadas entre el Neoproterozoico y el Devónico. Durante este intervalo temporal, el margen de Gondwana evolucionó desde un margen activo (c. 750-500 Ma, el arco Avaloniense-Cadomiense), hasta la colisión final con Laurussia para formar Pangea. En este contexto, diferentes ofiolitas han sido datadas en c. 700, 600, 500 y 400 Ma. La composición de todas estas ofiolitas peri-Gondwánicas es de tipo zona de supra-subducción, sin preservación de litosferas oceánicas de tipo MORB. En consecuencia, estas ofiolitas fueron generadas durante la apertura de cuencas de tipo fore-arc o back-arc. El ámbito peri-Gondwánico ha sido pues un dominio donde la generación de litosfera oceánica o transicional se produjo en intervalos de c. 100 Ma. Estos intervalos temporales parecen indicar episodios cíclicos de ascenso astenosférico (mantle upwelling) en las dorsales oceánicas peri-Gondwánicas, con un incremento asociado de la velocidad de subducción en las trincheras peri-Gondwánicas y concomitantes mayores tasas de fusión parcial en las cuñas de manto litosférico asociadas.

Abstract

The Variscan Orogen in Iberia and the Anti-Atlas mountains in Morocco contain a set of ophiolites formed between Neoproterozoic and Devonian times during the complex evolution of the NW African margin of Gondwana. During this time interval the margin evolved from an active margin (c. 750-500 Ma, the Avalonian-Cadomian arc), to the final collision with Laurussia to form Pangea. In this context, different ophiolites have been dated at c. 700, 600, 500 and 400 Ma. The composition of all these peri-Gondwanan ophiolites is of supra-subduction zone type, showing no evidence for preserved MORB-type oceanic lithosphere. Consequently, these ophiolites were generated in the peri-Gondwanan realm during the opening of fore-arc or back-arc basins. The peri-Gondwanan realm has been a domain where generation of oceanic or transitional lithosphere seems to have occurred at intervals of c. 100 Ma. These regularly spaced time intervals may indicate cyclic events of mantle upwelling in the peri-Gondwanan mid-ocean ridges, with associated higher subduction rates at the peri-Gondwanan trenches and concomitant higher rates of partial melting in the associated mantle wedges.

Exhumación rápida de un canal de subducción: el ejemplo de la mélange de Cuba Central

Fast exhumation of a subduction channel: the example of Central Cuba mélange

I.F. Blanco-Quintero[1], A. Garcia-Casco[2,3], A. Beranoaguirre[4,5], J.I. Gil Ibarguchi[5], C. Lazaro[2], G. Millan[6], J.A. Proenza[7]

1 Departamento de Ciencias de la Tierra y Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 Alicante, Spain. if.blanco@ua.es
2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es, clazaro@ugr.es
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain.
4 Institut für Geowissenschaften, Goethe-University Frankfurt, 60438 Frankfurt, Germany. aratz.beranoaguirre@ehu.eus
5 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 48940 Leioa, Spain. josei.gil@ehu.es
6 Instituto de Geología y Paleontología, 11100 San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
7 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Univ. de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. japroenza@ub.edu

Palabras clave: eclogita, Cuba Central, datación Lu-Hf, datación Ar-Ar.

Resumen

Eclogitas y otras rocas de alta presión aparecen como bloques exóticos en la mélange de matriz serpentinítica de Cuba Central. Esta mélange está incluida como escamas dentro de rocas ofiolíticas (predominando peridotitas serpentinizadas) que se encuentran en una posición tectónica entre unidades de la Plataforma de Bahamas (bloque de muro) y unidades del arco volcánico Cretácico (bloque de techo). Las rocas de alta presión y su matriz serpentinítica registran la subducción oceánica durante la convergencia entre las placas Norteamericana y Caribe durante el Mesozoico. Las eclogitas poseen composiciones de basaltos de dorsal medio oceánica lo que sugiere que los protolitos fueron fragmentos de la corteza del Protocaribe subducida. La asociación mineral de las eclogitas consiste de granate rico en almandino y grosularia, piroxeno onfacítico, anfíboles de composición cálcica y sodio-cálcica, epidota, fengita, albita y clorita y como accesorios aparece rutilo, titanita y apatito, lo que indica la parcial retrogresión en facies de anfibolitas con epidota y, eventualmente, esquistos verdes. Cálculos termobarométricos indican condiciones de pico metamórfico de unos 680 °C y 16 kbar. La datación Lu-Hf en granate y Ar-Ar en mica fengítica de los mismos bloques da edades de 125.09±0.59 Ma (interpretado como la edad del pico metamórfico) y 119.32±0.15 Ma (edad de enfriamiento por debajo de 350 °C durante la exhumación), respectivamente. Estos datos indican una rápida exhumación (5-6 km/My) de los bloques subducidos/acreccionados más tempranamente (Cretácico Temprano) en el canal de subducción del Caribe activo hasta el Cretácico terminal (ca. 70 Ma).

Abstract

Eclogites and other high-P metamorphic rocks appear as exotic blocks within a serpentinite-matrix mélange in Central Cuba. This mélange is included as slices in ophiolitic rocks (mostly serpentinized peridotites) that occur in a tectonic position and is located in between units of the Bahama platform (foot wall) and units of the Cretaceous arc volcanic rocks (hanging wall). These high-pressure rocks document subduction of oceanic lithosphere associated with the convergence between the North American and Caribbean plates in Mesozoic times. The protoliths of eclogite have mid-ocean-ridge basalt composition and represent fragments of the subducted Protocaribbean crust. The mineral assemblage consists of Fe- and Ca-rich garnet, omphacite, amphibole with calcic and sodic-calcic composition, epidote, phengite, albite and chlorite and rutile, titanite and apatite as accessory minerals, pointing to partial retrogression under epidote amphibolite to greenschist facies conditions. Thermobarometric calculations indicate peak metamorphic conditions at 680 ºC and 16 kbar. Lu-Hf garnet and Ar-Ar phengite geochronological data indicate 125.09±0.59 Ma and 119.32±0.15 Ma for peak conditions and cooling below 350 °C during exhumation, respectively. These data indicate fast exhumation (5-6 km/My) of the earliest (Early Cretaceous) subducted/accreted blocks in the Caribbean subduction channel, which was active until latest Cretaceous times (ca. 70 Ma).

El cinturón ofiolítico Tarma-Huánuco en la Cordillera Oriental Andina (9º30'-11º30'), Perú

The Tarma-Huánuco ophiolitic belt in the Eastern Andean Cordillera (9º30'-11º30'), Perú

R. Castroviejo[1], J. Acosta[2], J.F. Rodrigues[3], C.G. Tassinari[4], A. Willner[5]

1 ETSI Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid, 28003 Madrid, Spain. ricardo.castroviejo@upm.es
2 INGEMMET, San Borja-Lima 41, Perú. jacosta@ingemmet.gob.pe
3 LNEG, Lab. Nacional de Energia e Geologia, 4466-956 San Mamede de Infesta, Porto, Portugal. felic@fe.up.pt
4 Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, CEP 05508-080 São Paulo, Brasil. ccgtassi@usp.br
5 Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität, 44801 Bochum, Germany. arne.willner@rub.de

Palabras clave: Ofiolitas, geoquímica, geocronología, petrogénesis, Perú

Resumen

El cinturón discontinuo de peridotitas serpentinizadas, cromititas podiformes, rodingitas, metagabros y anfibolitas de la Cordillera Oriental (9º30'-11º30') corresponde a secuencias ofiolíticas desmembradas (Castroviejo *et al.* 2010), cabalgantes sobre un sustrato de metasedimentos pre-cámbricos (**CM**, Complejo de Marañón) y depósitos detríticos paleozoicos (**GA**, Grupo Ambo). Afloran principalmente en el **MT**, Macizo de Tapo (Tarma), Huancapallac, Huamalli, Andas-Raccha (Huánuco). Ultramafitas y gabros de MT son neoproterozoicos (718±47 Ma, Sm-Nd, Tassinari *et al.* 2011) y de la misma fuente mantélica; registran un evento orogénico ordovícico (448±26 Ma, K-Ar: cierre hornblenda, 500ºC). El metamorfismo de alta presión (11-13 kbar/500-540 ºC) en anfibolitas granatíferas MT, con pico ≈600 ºC hace 465±24 Ma (Sm-Nd, rodingitas) y **GM**, geoterma metamórfica, de 12-13 ºC/km (Willner *et al.* 2014) sugiere subducción/colisión (sutura), en contraste con el bajo grado de las filitas del sustrato-CM (2.4-2.6 kbar/300-330 ºC) y GM: 32-40 ºC/km, típico de arco magmático. Estos datos implican *rifting* neoproterozoico de Rodinia, colisión ordovícica (¿orógeno famatiniano?) y posterior *unroofing* de la cadena pre-andina, antes del emplazamiento de las ofiolitas en su ubicación actual, puesto que el macizo de Tapo aflora actualmente, cabalgante y en contacto directo, sobre los sedimentos del Grupo Ambo, exentos de metamorfismo.

Abstract

*A discontinuous belt of scattered ultramafic (**UM**) and mafic (**M**) rocks is exposed along some 250 km in the Eastern Cordillera of the Peruvian Andes (Junín and Huánuco Departments). The most conspicuous UM body, also the only one with past chromite mining, is in the Tapo Massif, Tarma, comprising strongly deformed and serpentinized peridotites and podiform chromitites of Neoproterozoic age (718±47 Ma, Sm-Nd). M rocks are metagabros, amphibolites and mylonites, whose geochemistry suggests an ocean rift or ocean island protolith. Garnet amphibolites show an Ordovician event of high-P metamorphism (11-13 kbar/500-540 ºC) with a ≈600 ºC peak dated 465±24 Ma (Sm-Nd, rodingites) and MG, metamorphic geotherm (12-13 ºC/km) of a collisional environment (suture), in contrast with the low-P of underlying MC phyllites (2.4-2.6 kbar/300-330 ºC), with MG of 32-40 ºC/km typical of magmatic arc. This precludes their intrusive origin and support their interpretation (Castroviejo et al. 2010; Tassinari et al. 2011; Willner et al. 2014) as dismembered blocks of oceanic lithosphere (ophiolites) thrust on Precambrian metasediments and Palaeozoic siliciclastic sequences, during a microcontinent-arc collision in the Eastern Cordillera.*

Referencias

Castroviejo, R., Rodrigues, J.F., Tassinari, C.G., Pereira, E. and Acosta, J. (2010). En: *20th GeneralMeeting of the International Mineralogical Associationg (IMA), August 2010, Budapest*. Abs. GP83, 6, 587.

Tassinari, C.G., Castroviejo, R., Rodrigues, J.F., Acosta, J., and Pereira, E. (2011) *Journal of South American Earth Sciences,* 32, 429-437.

Willner A.P., Tassinari C.G., Rodrigues J.F., Acosta J., Castroviejo R. and Rivera M. (2014). *Journal of South American Earth Sciences,* 54, 71-81.

Estado del arte del Complejo Acatlán (sur de México)

State-of-the-art of the Acatlán Complex (south México)

V. Colás[1], M.M. Almazán-López[1], I.D. Garduño-Torres[2], F. Ortega-Gutiérrez[1], M. Elías-Herrera[1], E. Fitz-Díaz[1], J. Farré-de-Pablo[3] y J.A. Proenza[3]

1 Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, 04510 Ciudad de México, México. vcolas86@gmail.com; mar_Alopez@ciencias.unam.mx; fortega@unam.mx; elias@unam.mx; fitzde@gmail.com

2 Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Instituto Politécnico Nacional. Calz. Ticomán 600, 07340 Ciudad de México, México. israel_torres_95@yahoo.com.mx

3 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universidad de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, España. jfarredepablo@gmail.com; japroenza@ub.edu

Resumen: El Complejo Acatlán es el afloramiento metamórfico paleozoico más grande de México. Este complejo está constituido por una potente secuencia de rocas esencialmente metasedimentarias, polideformadas y metamorfizadas en facies de anfibolita a esquisto verde, superpuesta estructuralmente por una unidad de afinidad ofiolítica originada en un contexto de tras-arco (Unidad Xayacatlán) y metamorfizada en facies de eclogita-esquisto azul. Esta unidad se superpone, a su vez, por metagranitoides y migmatitas de alta presión. La Unidad Xayacatlán formada, probablemente, en el Proterozoico-Ordovícico Superior fue metamorfizada en condiciones de facies de eclogita (13-22 kbar y 560-830 °C) durante su subducción en el Devónico-Carbonífero inferior. Posteriormente, ésta fue afectada por un metamorfismo en facies de anfibolita-esquisto verde (1.9-9.5 kbar y 198-620 °C) durante su exhumación en el Carbonífero superior-Pérmico superior. Estas edades y eventos metamórficos sugieren que las ofiolitas pudieron estar relacionadas con la formación y evolución de los océanos Iapetus y/o Reico/paleo-Pacífico. Si bien, la ausencia aparente de un arco volcánico sincrónico a la formación de la secuencia ofiolítica, así como la presencia de esquistos azules, abren el debate si la inhumación-exhumación de las ofiolitas del Complejo Acatlán ocurrió como consecuencia de la colisión continental o por procesos puramente de acreción por subducción.

Palabras clave: secuencia ofiolítica, colisión continental, subducción, Complejo Acatlán, sur de México

Abstract: *The Acatlán Complex is the main paleozoic metamorphic outcrop in Mexico. This complex is built by a thick sequence of essentially metasedimentary and polideformed rocks affected by amphibolite-greenschist facies metamorphism, which are tectonically superimposed by a unit with ophiolitic affinity formed in a back-arc context (Xayacatlán Unit) and metamorphosed under eclogite-blueschist facies conditions, overlapped by high-P metagranitoids and migmatites. The Xayacatlán Unit, probably of Proterozic-Late Ordovician age, was affected by eclogite facies metamorphism (13-22 kbar y 560-830 °C) during its subduction between Devonian and early Carboniferous times. Subsequently, it was retrograded to amphibolite-greenschist facies (1.9-9.5 kbar and 198-620 °C) during its exhumation at late Carboniferous-late Permian. These ages and metamorphic conditions suggest that the ophiolitic sequence could be related to the origin and evolution of the Iapetus and/or Rheic/paleo-Pacific oceans. Nevertheless, the apparent absence of a synchronic volcanic arc, as well as the presence of blueschists, open the debate if the inhumation and exhumation of ophiolites at the Acatlán Complex, could have taken place in a continental collisional context or by purely subduction accretional processes.*

Keywords: *ophiolitic sequence, continental collision, subduction, Acatlán Complex, Southern Mexico*

INTRODUCCIÓN

La evolución tectónica de México ha estado condicionada por la amalgamación de fragmentos alóctonos de diferente edad (<2 Ga) y naturaleza geológica que se han denominado terrenos tectonoestratigráficos. La unión de estos terrenos durante las orogenias ocurridas desde el Paleozoico hasta el Cenozoico se manifiesta en la geología mexicana como contactos tectónicos importantes, incluyendo fragmentos de ofiolitas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018 y referencias en él). Actualmente se conocen al menos 20 complejos máfico-ultramáficos en México, de los cuales sólo una pequeña parte representa suturas oceánicas antiguas (i.e., ofiolitas) encajados en secuencias metasedimentarias. A estos complejos ofiolíticos se han atribuido diferentes contextos tectónicos de formación (ej., dorsales centro-oceánicas, cuencas de tras-arco o zonas de subducción y suprasubducción) y emplazamiento, incluyendo desde colisiones continente-continente, acreción intraoceánica, arco-continente, hasta canales de subducción (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018 y referencias en él). Si bien, solo en los orógenos donde la cubierta es escasa y los afloramientos continuos, que generalmente son aquellos de edad mesozoica, es donde se ha podido establecer con certeza el contexto y evolución tectónica de los complejos ofiolíticos (ej., Península del Vizcaíno, Baja California Sur). Por el contrario, en los orógenos más antiguos donde la cubierta es más potente y los afloramientos son incompletos y dispersos, ha sido más

difícil establecer el contexto paleogeográfico y la historia tectónica de dichos cuerpos máfico-ultramáficos (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018 y referencias en él).

El Complejo Acatlán está definido por un paquete de rocas (ca. 15 km de espesor estructural) que incluye unidades metasedimentarias y metaígneas (metagabros, metabasitas, serpentinitas, cromititas y metagranitoides) polideformadas y afectadas por diferentes grados de recristalización metamórfica, desde pizarras hasta migmatitas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Nance *et al.*, 2006; Fig. 1). Esta diversidad litológica evidencia procesos tectónicos múltiples que incluyen la apertura, subducción y cierre de uno o varios océanos durante el Paleozoico (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Nance *et al.*, 2006). A pesar de que el número y diversidad de trabajos geocientíficos realizados en el Complejo Acatlán se ha incrementado desde finales del siglo pasado, todavía se desconoce con certeza el contexto de formación y la evolución de las diferentes unidades. Por tanto, el objetivo de este trabajo es presentar una revisión de las unidades ofiolíticas del Complejo Acatlán, así como de las rocas espacialmente asociadas, haciendo énfasis en su litología, estructura y metamorfismo, así como en su contexto paleogeográfico y geológico y, finalmente, en los modelos tectónicos propuestos.

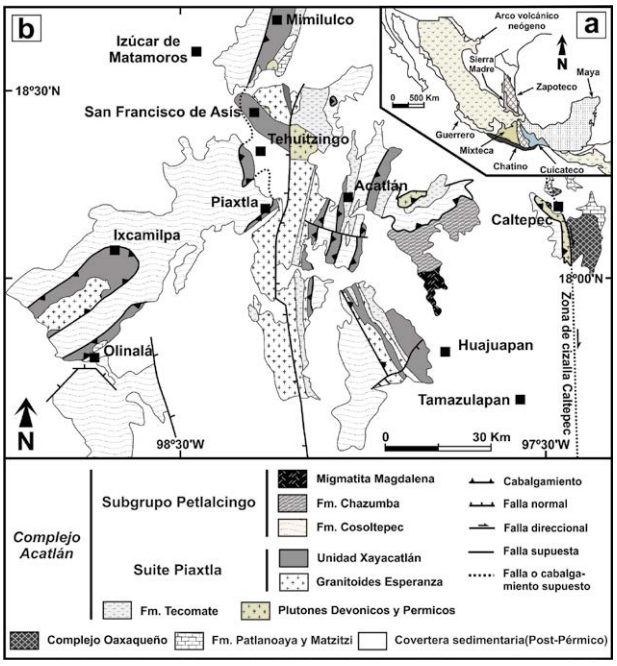


FIGURA 1. (a) Localización geográfica de los principales terrenos tectonoestratigráficos del Sur de México. (b) Mapa geológico simplificado del Complejo Acatlán. Mapas modificados de Galaz *et al.* (2013) y Ortega-Gutiérrez *et al.* (1999), respectivamente.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El Complejo Acatlán constituye el basamento paleozoico del terreno Mixteco en el sur de México, cuya estructura está compuesta por dos unidades tectónicas o subgrupos principales separados por un cabalgamiento: Subgrupo Petlalcingo y Suite Piaxtla.

El Subgrupo Petlalcingo (Yañez *et al.*, 1991) o asociación de bajo a alto grado (Nance *et al.*, 2006), comprende una potente secuencia de rocas metasedimentarias polideformadas que incluye, de base a techo: migmatitas constituidas por un neosoma granítico y un paleosoma rico en biotita y otros minerales máficos como anfíbol, piroxeno y escaso granate (Migmatita Magdalena), una alternancia de rocas metapsamíticas y esquistos metapelíticos en facies de anfibolita (Formación Chazumba), y metabasaltos almohadillados, diques básicos, esquistos, filitas y cuarcitas masivas (Formación Cosoltepec) (Fig. 1). Este Subgrupo representa una secuencia parautóctona que actualmente constituye la porción estructuralmente inferior del Complejo Acatlán. En cambio, la Suite Piaxtla (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018 y referencias en él) o asociación de alta presión (Nance *et al.*, 2006), representa la porción superior de la columna estructural del Complejo Acatlán y está constituida por rocas ultramáficas serpentinizadas y máficas eclogitizadas intercaladas con metasedimentos pelíticos y silícicos (Unidad Xayacatlán), estructuralmente superpuestos por metagranitoides y migmatitas de alta presión (Granitoides Esperanza) que ocasionalmente están intercalados con esquistos azules (Ixcamilpa y Mimilulco; Fig. 1). Tanto el Subgrupo Petlalcingo como la Suite Piaxtla incluyen diversos plutones graníticos Ordovícicos y Pérmicos como La Noria y Totoltepec en contacto tectónico con la Formación Tecomate, la cual representa una secuencia volcano-sedimentaria del Carbonífero superior-Pérmico inferior (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018).

En el Complejo Acatlán afloran numerosos cuerpos eclogíticos máficos y rocas ultramáficas que se interpretan como de afinidad ofiolítica. Estos cuerpos están compuestos por serpentinitas (predominantemente de antigorita) muy deformadas, cromititas ricas en Al, metagabros y anfibolitas con afinidad geoquímica que varía desde MORB, OIB hasta BABB, espacialmente asociadas a sedimentos metapelágicos (ej., Galaz *et al.*, 2013; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Colás *et al.*, 2019). Las ofiolitas de la Unidad Xayacatlán afloran a lo largo de varios cinturones de dirección NE-SW y N-S (Fig. 1), cuya deformación y edad general sugieren que se emplazaron en el Ordovícico-Carbonífero (ej., Yañez *et al.*, 1991; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Galaz *et al.*, 2013).

Las estructuras regionales en el Complejo Acatlán comprenden pliegues superpuestos a gran escala y zonas de cizalla que se han reactivado como cabalgamientos, fallas normales o fallas laterales con una dirección principal NE-SW (ej., Vega-Granillo *et al.*, 2007) (Fig. 1). Los pliegues a gran escala tienen una dirección SW-NE en la parte suroccidental del complejo y N-S en la parte central. Las zonas de cizalla se caracterizan por superponer litologías con diferentes grados metamórficos, generando foliación por cizalla, lineaciones y milonitización. Concretamente, la Unidad Xayacatlán muestra una sobreposición compleja de estructuras en la cual se han reconocido diferentes fases de deformación. Vega-Granillo *et al.* (2007) evidencia más de tres fases de deformación dúctil, con cuatro generaciones de foliación asociadas a su vez a un plegamiento isoclinal y subisoclinal. Por su parte, Galaz *et al.* (2013)

diferencia tres grupos de estructuras, las cuales incluyen tres generaciones de foliación penetrativa, así como, lineaciones paralelas y subparalelas a las foliaciones y el plegamiento isoclinal.

METAMORFISMO

Las rocas ofiolíticas de la Unidad Xayacatlán registran al menos dos eventos tectónicos profundos: uno ocurrido bajo condiciones de facies de eclogita (orogenia Acateca) y otro ocurrido bajo condiciones de facies de anfibolita, con deformación polifásica. La orogenia Acateca es un evento metamórfico cuyo pico ocurrió hace 352.5 ± 1.6 Ma (edades obtenidas con Lu-Hf en granate; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018 y referencias en él) y que quedó reflejado en las eclogitas *sensu stricto* bajo condiciones P-T para el pico metamórfico entre ca. 13 y 22 kbar y 560 y 830 °C (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Hernández-Uribe *et al.*, 2019) y, aparentemente, a menor presión y temperatura (7-17 kbar y 486-758 °C) en las rocas metasedimentarias (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Galaz *et al.*, 2013). Asimismo, otros autores obtuvieron condiciones entre 9 y 16.7 kbar y 440 y 609 °C para las anfibolitas granatíferas de Piaxtla, Mimilulco e Ixcamilpa (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Galaz *et al.*, 2013 y referencias en él). El segundo evento tectónico se definió a partir de características texturales (recrecimientos simplectíticos de Mg-hornblenda+albita±onfacita o bordes de pargasita alrededor de minerales de alta presión como onfacita y granate) y químicas (zonación en barroisita de hornblenda magnésica a más rica en edenita) observadas en las eclogitas y anfibolitas con granate de diferentes localidades del Complejo Acatlán (ej., San Francisco de Asís, Piaxtla, Mimilulco, Ixcamilpa, Tehuitzingo; Fig. 1). Este segundo evento metamórfico fue datado en 336 ± 6 Ma y alcanzó condiciones de presión y temperatura de 1.9-9.5 kbar y 471-620 °C (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Galaz *et al.*, 2013; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Posteriormente a estos dos eventos tectónicos, las rocas de la Unidad Xayacatlán sufrieron una etapa de retrogresión metamórfica hasta facies de esquisto verde, evidenciada por la presencia de clorita y epidota formando coronas alrededor de granate o como agregados dispersos en la matriz de las eclogitas máficas y anfibolitas con granate. Las condiciones de presión y temperatura determinadas para esta etapa de retrogresión son 3.5-4 kbar y 198-481 °C (Galaz *et al.*, 2013; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Colás *et al.*, 2019).

Por otro lado, el pico metamórfico de los granitoides Esperanza ha sido datado entre 440 y 422 Ma (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Galaz *et al.*, 2013), donde las condiciones de presión y temperatura varían de 5-15.5 kbar y 450-748 °C (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Galaz *et al.*, 2013; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Asimismo, se estima que el metamorfismo de los esquistos azules pudo haber ocurrido entre el Ordovícico Superior y el Silúrico inferior (ca. 458-420 Ma), para condiciones de presión y temperatura de 5-19 kbar y 200-566 °C (Vega-Granillo at al., 2007; Hernández-Uribe *et al.*, 2019; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). A pesar de guardar relaciones estructurales con las demás unidades de alta presión (ej., metagranitoides intruyendo a los metasedimentos, o lentes de esquistos azules embebidos en o formando bandas intercaladas con las anfibolitas con granate), los metagranitoides (Granitoide Esperanza) y los esquistos azules no comparten exactamente la misma historia tectónica que el resto de litologías de la Unidad Xayacatlán.

Por último, cabe señalar que Yáñez *et al.* (1991) y Vega-Granillo *et al.* (2007) dataron mediante Ar/Ar las fengitas de las eclogitas, esquistos pelíticos, metagranitoides y esquistos azules, obteniendo edades entre 318 y 374 Ma, las cuales varían dependiendo de la unidad. Estas edades han sido interpretadas como el enfriamiento de dichas litologías hasta la temperatura de cierre de la fengita (350 ± 50 °C), o como la edad del evento metamórfico en facies de anfibolita-esquisto verde que afectó a todas las unidades eclogíticas del Complejo Acatlán (Vega-Granillo *et al.*, 2007; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018).

MODELOS TECTÓNICOS

El Complejo Acatlán solía considerarse un complejo metamórfico simple de edad pre-Devónico, si bien ahora comprende varios orógenos yuxtapuestos de edad Precámbrico (?), Paleozoico Inferior, Paleozoico Superior y, probablemente, Mesozoico Inferior. En consecuencia, no es posible encontrar un solo modelo tectono-paleogeográfico que explique de forma general este sistema poliorogénico y tectónicamente prolongado.

El principal debate histórico sobre la formación del Complejo Acatlán está relacionado con el escenario tectónico clásico que relaciona al océano Iapetus y Laurentia (Yañez *et al.*, 1991; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999: Vega-Granillo *et al.*, 2007) frente a los escenarios más modernos que lo relacionan con el océano Réico/paleo-Pacífico y con Gondwana (Nance *et al.*, 2006; Keppie *et al.*, 2010). De hecho, ambos escenarios no pueden excluirse mutuamente ya que el Complejo Acatlán comprende al menos cuatro segmentos documentados: 1) el evento Proterozoico-Ordovícico Superior, registrado por el emplazamiento de granitoides, asociaciones máfico-ultramáficas de afinidad oceánica y el depósito de metasedimentos altamente aluminosos; 2) el desarrollo de tectonitas de alta presión relacionadas con la subducción de los protolitos oceánicos durante el Devónico-Carbonífero inferior; 3) la exhumación tectónica en el Carbonífero superior-Pérmico superior con el desarrollo de cuencas sedimentarias sinorogénicas; y 4) la modificación, probablemente en el Mesozoico Inferior, de la corteza inferior y media del Complejo Acatlán bajo un régimen extensional a baja P y alta T, incluyendo fenómenos intensos de fusión parcial de la corteza y la generación de grandes volúmenes de granitoides tipo S.

Además, un aspecto pertinente y pasado por alto de la historia poliorogénica del Complejo Acatlán es la ausencia aparente de un arco magmático completamente desarrollado y, necesariamente, asociado con la subducción y el cierre de los océanos Iapetus o Réico. La unidad metamórfica de El Rodeo se distribuye por todo el Complejo Acatlán y está intruída por granitoides ordovícicos. Sin embargo, no se ha

realizado ninguna investigación formal sobre esta secuencia, la cual podría llenar ese vacío que actualmente está atribuido a un oscuro proceso de erosión por subducción del arco y su antearco (Keppie *et al.,* 2010).

Finalmente, el descubrimiento reciente en el Complejo Acatlán de esquistos azules, el cambio de las condiciones de presión máximas de ca. 16 a 22 kbar (Uribe-Hernández *et al.,* 2019) en las tectonitas pre-Misisipiense (granitos, sedimentos y ofiolitas), así como la ausencia aparente de condiciones de alta presión en las rocas ultramáficas serpentinizadas, abren de nuevo el debate sobre cuáles fueron los procesos de inhumación y exhumación de las ofiolitas y, por tanto, su participación en un proceso de colisión continental y/o acreción por subducción para generar el terreno tectonoestratigráfico más complejo presente en la geología de México.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado los proyectos A1S14574 del CONACyT (México), IN105018 e IN107320 del PAPIIT (México), CGL2015-65824 del MICINN (España) a VC, FOG y JAP, respectivamente; así como la beca FPI concedida a JFdP por el MICINN y la beca de CONACyT concedida a MMAL.

REFERENCIAS

Colás, V., González-Jiménez, J.M., Camprubí, A., Proenza, J.A., Griffin, W.L., Fanlo, I., O'Reilly, S.Y., Gervilla, F. González-Partida, E. (2019): A reappraisal of the metamorphic history of the Tehuitzingo chromitite, Puebla state, Mexico. *International Geolological Review,* 61: 1706-1727.

Galaz, G., Keppie, J. D., Lee, J. K.W., Ortega-Rivera, A. (2013): A high-pressure folded klippe at Tehuitzingo on the western margin of an extrusion zone, Acatlán Complex, southern Mexico. *Gondwana Research*, 23: 641-660.

Hernández-Uribe, D., Gutiérrez-Aguilar, F., Mattinson, C.G., Palin, R.M., Neill, O.K. (2019): A new record of deeper and colder subduction in the Acatlán complex, Mexico: Evidence from phase equilibrium modelling and Zr-in-rutile thermometry. *Lithos,* 324-325: 551-568.

Keppie, J.D., Nance, R., Ramos-Arias, M., Lee, J., Dostal, J., Ortega-Rivera, A., Murphy, J. (2010): Late Paleozoic subduction and exhumation of Cambro-Ordovician passive margin and arc rocks in the northern Acatlán Complex, southern Mexico: geochronological constraints. *Tectonophysics*, 495: 213-229.

Nance, R.D., Miller, B.V., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Dostal, J. (2006): Acatlán Complex, southern Mexico: Record spanning the assembly and breakup of Pangea. *Geology*, 34: 857-860.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., López, R. (1999): Late Ordovician-Early Silurian continental collision orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections. *Geology*, 27: 719-722.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D. J., Solari, L., Weber, B., Luna-González, L. (2018): The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution. *Earth-Science Reviews,* 183: 2-37.

Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza-Figueroa, D.M., Vega-Granillo, R. Campa-Uranga, M.F. (2005): U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. *Earth and Planetary Science Letters,* 235: 682-699.

Vega-Granillo, R., Talavera-Mendoza, O., Meza-Figueroa, D., Ruiz, J., Gehrels, G.E., López-Martínez, M., de la Cruz-Vargas, J.C. (2007): Pressure-temperature-time evolution of Paleozoic high-pressure rocks of the Acatlán Complex (southern Mexico): implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans. *Geological Society of America Bulletin*, 9/10: 1249-1264.

Yañez, P., Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., Gehrels, G.E. (1991): Isotopic studies of the Acatlan complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 817-828.

Ofiolitas en el flanco occidental de la Cordillera Central, Andes Colombianos.

Ophiolites in the western flank of the Central Cordillera, Colombian Andes.

A.M. Correa-Martínez[1]

1 Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasil. Actualmente: Profesional Autónomo, Medellín, Colombia. amcorream@yahoo.com

Palabras clave: N-MORB, Cretácico, Triásico, Ordovícico, Suramérica.

Resumen

Ofiolitas fragmentadas principalmente mesozoicas y paleozoicas subordinadas, afloran a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, relacionadas con el sistema de Fallas de Romeral. Parte de estas ofiolitas han sido agrupadas en los Complejos: Ofiolítico del Cauca, Ofiolítico de Romeral, Arquía y Quebradagrande (Restrepo y Toussaint, 1976; Álvarez, 1983; Maya y González, 1995). Los fragmentos triásicos tienen protolitos N-MORB y posiblemente de arco de isla, metamorfismo hidrotermal de fondo oceánico y dinámico sobreimpuesto. En las ofiolitas cretácicas existe una mayor variación según la afinidad de los protolitos y los tipos de metamorfismo: 1) N-MORB con metamorfismo dinamo-térmico de media a alta presión entre 120-130 Ma, 2) N-MORB y metamorfismo de media presión a ~ 100 Ma; 3) N-MORB y calco-alcalinos, entre ~115-85 Ma, predominio de metamorfismo hidrotermal de fondo oceánico y dinámico sobreimpuesto, localmente metamorfismo dinamo-térmico de bajo grado a ~75 Ma; 4) protolito N-MORB+OIB, con metamorfismo de alta presión entre 70-60 Ma. El fragmento ofiolítico más antiguo exhibe un protolito ordovícico de afinidad N-MORB, con metamorfismo dinamo-térmico en facies anfibolita y edad metamórfica aún no determinada. Todos estos fragmentos registran una evolución mesozoica compleja de acreciones y fallamiento transformante en la margen NW de Suramérica.

Abstract

Fragmented ophiolites, mainly Mesozoic and subordinate Palaeozoic, crop out along the western flank of the Colombian Central Cordillera, related to the Romeral fault system. Some of these ophiolites have been grouped into the Cauca Ophiolitic, Romeral Ophiolitic, Arquía and Quebradagrande Complexes (Restrepo and Toussaint, 1976; Alvarez, 1983; Maya and Gonzalez, 1995). The Triassic fragments have N-MORB and possibly island arc protoliths, ocean floor hydrothermal and superimposed dynamic metamorphism. In the Cretaceous ophiolites, there is a major variation according to the affinity of the protoliths and the types of metamorphism: 1) N-MORB with medium to high-pressure dynamic-thermal metamorphism between 120-130 Ma, 2) N-MORB and medium pressure metamorphism at ~ 100 Ma; 3) N-MORB and calc-alkaline, between ~115-85 Ma, predominantly ocean floor hydrothermal and dynamic superimposed metamorphism, locally low-grade dynamo-thermal metamorphism at ~75 Ma; 4) N-MORB+OIB protolith, with high-pressure metamorphism between 70-60 Ma. The oldest ophiolitic fragment exhibits an Ordovician protolith of N-MORB affinity, with dynamo-thermal metamorphism in amphibolite facies and an undetermined age. All of those fragments record a complex Mesozoic evolution of accretion and transform margin on the NW corner of South America.

Referencias

Álvarez, J. (1985). *Ofiolitas y evolución tectónica del Occidente Colombiano*. INGEOMINAS. 30 p.

Maya, M. y González, H. (1995). *Boletín Geológico* 35, 43-51.

Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F. (1976). *Publicación Especial de Geología 6.* Facultad de Minas-Unal. 24 p.

Comparación geológica entre dos unidades de anfibolitas asociadas con ofiolitas de la Cordillera Central de Colombia.

Geological comparison between two ophiolite-related amphibolite units from the Central Cordillera of Colombia.

A.M. Correa-Martínez[1] y G. Rodríguez[1]

1 Grupo de Estudios Geológicos Especiales, Dirección de Geociencias Básica, Servicio Geológico Colombiano, Calle 75 n.° 79A–51, Medellín, Colombia. amcorream@yahoo.com; grodriguez@sgc.gov.co

Palabras clave: Anfibolitas de Santa Elena, Anfibolitas de La Aguadita, N-MORB, Ordovícico, Cretácico.

Resumen

Las Anfibolitas de Santa Elena y de La Aguadita afloran en el sector septentrional de la Cordillera Central de Colombia, al oriente de la ciudad de Medellín, limitadas por la falla de Rodas-La Acuarela. Las dos unidades eran consideradas como parte de la unidad cretácica Anfibolitas de Santa Elena (Restrepo, 2008; Restrepo *et al.*, 2012) por sus semejanzas mineralógicas, estructurales y químicas, cuyos protolitos fueron rocas básicas toleíticas N-MORB. Sin embargo, los estudios geocronológicos U-Pb en circón por LA-ICP-MS llevados a cabo por los autores, evidenciaron que son dos unidades diferentes. Las Anfibolitas de La Aguadita tienen un protolito Ordovícico con herencia cámbrica y precámbrica y un metamorfismo dinamotérmico en facies anfibolita probablemente silúrico o más joven, que podrían representar remanentes del océano Panthalassa. Por otro lado, las Anfibolitas de Santa Elena tienen un protolito jurásico, sin herencias anteriores, registran dos eventos metamórficos cretácicos de 120 Ma y 100 Ma, y pueden corresponder a un remanente del Mar Marginal Proto-Caribeño o Colombiano de Pindell y Kennan (2009). Las dos unidades de anfibolitas se interpretan como porciones máficas de la corteza oceánica de dos ofiolitas diferentes, dispersadas tectónicamente dentro de un antiguo sistema de fallas transformante.

Abstract

The Santa Elena and La Aguadita Amphibolites crop out in the northern sector of the Central Cordillera of Colombia, to the east of the city of Medellín, limited by the Rodas-La Acuarela fault. The two units were considered as part of the Cretaceous Santa Elena Amphibolites (Restrepo, 2008; Restrepo et al., 2012), because of their mineralogical, structural and chemical similarities, whose protoliths were basic tholeiitic N-MORB rocks. However, the U-Pb geochronological studies in zircon by LA-ICP-MS carried out by the authors, showed that they are two different units. The La Aguadita Amphibolites have an Ordovician protolith with Cambrian and Precambrian inheritance and an amphibolite facies dynamothermal metamorphism probably Silurian or younger that might represent remnants of the Panthalassa Ocean. On the other hand, the Santa Elena Amphibolites have a Jurassic protolith, with no older inheritance, that record two Cretaceous metamorphic events at 120 Ma and 100 Ma, and may correspond to a remnant of the Cretaceous Proto-Caribbean or Colombian Marginal Seaway of Pindell and Kennan (2009). The two amphibolites units are interpreted as mafic portions of the oceanic crust of two different ophiolites, tectonically dispersed within an ancient transform fault system.

Referencias

Pindell, J.L. y Kennan, L. (2009). *Geological Society, London, Special Publications,* doi:10.1144/SP328.1

Restrepo, J.J. (2008). *Boletín de Ciencias de la Tierra* 22, 49-100.

Restrepo, J.J., Ibáñez-Mejía, M. y García-Casco, A. (2012) En: *VIII Simposio Sudamericano de Geología Isotópica.* Memorias digitales.

El complejo ofiolítico Cretácico Inferior de Puerto Plata, República Dominicana: registro del inicio de la subducción intra-oceánica y de la evolución tectono-magmática del arco isla Caribeño

The Lower Cretaceous Puerto Plata ophiolitic complex, Dominican Republic: a record of intra-oceanic subduction initiation and Caribbean island-arc tectono-magmatic evolution

J. Escuder-Viruete[1], M. Castillo-Carrión[1], P. Valverde-Vaquero[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, Madrid, Spain. j.escuder@igme.es, m.castillo@igme.es, p.valverde@igme.es

Palabras clave: Ophiolite, suprasubduction zone, boninite, gabbroic cumulate, geochemistry, Caribbean.

Resumen

El complejo ofiolítico Cretácico Inferior de Puerto Plata (CPP) se sitúa encima de la sutura colisional entre el arco isla Caribeño y el margen continental de Norteamérica en la República Dominicana. Consiste en una sección tectónicamente desmembrada de 3,0 km de espesor de harzburgitas del manto superior, rocas gabroicas cumulado de la corteza inferior y lavas basálticas almohadilladas, brechas volcánicas y sedimentos pelágicos de la corteza superior. Los datos geoquímicos indican que las harzburgitas son el residuo de altas tasas de fusión en una zona de supra-subducción. Datos de campo, químico-minerales y geoquímicos establecen tres fases tectono-magmáticas en la secuencia cortical. La primera fase incluye las gabronoritas bandeadas inferiores, que cristalizaron a partir de fundidos toleíticos de arco isla (TAI) empobrecidos en LREE. La segunda fase engloba las troctolitas bandeadas intermedias (126 Ma), que cristalizaron de fundidos boniníticos. La tercera fase incluye los gabros y gabronoritas con olivino superiores, formadas desde fundidos similares a los basaltos TAI de la Fm Los Caños suprayacente. El CPP se interpreta formado durante el inicio de la subducción hacia el O/SO en un contexto de arco isla intra-oceánico. El rápido *rollback* de la lámina que subduce indujo extensión en la placa Caribeña superior y ascenso de manto ya empobrecido por generación de corteza oceánica. La fusión por descompresión de este manto empobrecido e hidratado en niveles someros originó los fundidos boniníticos. La secuencia de TAI se formó a partir del manto fértil impregnado por fluidos relacionados con la subducción a medida que continuó el *rollback*.

Abstract

The Lower Cretaceous Puerto Plata ophiolitic complex (PPC) occurs above the collisional suture between the Caribbean island-arc and North America continental margin in northern Dominican Republic. It consists of a 3.0-km-thick section of upper mantle harzburgites, lower crustal cumulate gabbroic rocks and upper crustal basaltic pillow lavas, volcanic breccias and pelagic sediments. Geochemical data indicates that harzburgites are residues after high-degrees of partial melting in a supra-subduction zone setting. Field, chemical-mineral and geochemical data establish three magmatic phases in the upper crustal sequence. The first phase is composed of the lower layered gabbronorites, which crystallized from LREE-depleted island-arc tholeiitic (IAT) melts. The second phase is compound of the intermediate layered troctolites (126 Ma), which crystallized from boninitic melts. The third phase is made-up of the upper olivine gabbros and gabbronorites, which formed from melts similar to the IAT basalts of the overlying Los Caños Fm. The PPC is interpreted to have formed during initiation of W/SW-directed subduction in an island-arc setting. Fast rollback of the subducting slab induced extension in the Caribbean upper plate, and upwelling of mantle already depleted by the generation of oceanic crust. Aided by fluid expelled from the downgoing plate, the decompression melting of this depleted mantle at shallow levels yielded boninitic melts. The SSZ tholeiite sequence formed from ascending fertile mantle fluxed with subduction-related fluids as rollback continued.

La ofiolita de Santa Elena, noroeste de Costa Rica: litosfera oceánica de ZSS emplazada sobre el margen meridional de Norte América durante el Cretácico Superior

The Santa Elena ophiolite, northwest Costa Rica: SSZ oceanic lithosphere emplaced onto the southern North America margin during the Late Cretaceous

J. Escuder-Viruete[1], M. Castillo-Carrión[1], P. Valverde-Vaquero[1], J. Gabites[2], P.O. Baumgartner[3]

1 Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, Madrid, Spain. j.escuder@igme.es, p.valverde@igme.es, m.castillo@igme.es
2 PCIGR. University of British Columbia, Vancouver BC V6T-1Z4, Canada. jgabites@eos.ubc.ca
3 Institut des Sciences de la Terre, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland. peter.baumgartner@unit.ch

Palabras clave: Ophiolite, suprasubduction zone, boninite, gabbroic cumulate, geochemistry, Caribbean.

Resumen

La ofiolita de Santa Elena (OSE) es un alóctono ultramáfico de más de 270 km^2 superpuesto a una mélange tectónica de matriz serpentinítica en el noroeste de Costa Rica. Está principalmente compuesto de harzburgitas ricas y pobres en Cpx (~2,5 km de espesor), con subordinadas lherzolitas, dunitas y cromititas, así como intrusiones máficas de sills y diques subverticales, que coalescen en un complejo de sill gabroico superior de Isla Negritos (^{40}Ar/^{39}Ar age of 124.0±8.5 Ma). Las harzburgitas ricas en Cpx son interpretadas como producto de un primer estado de fusión y bajos grados de interacción fundido-roca en un medio de dorsal meso-oceánica, y las harzburgitas pobres en Cpx y dunitas como el resultado de un segundo estado de fusión y refertilización en una zona de supra-subducción (ZSS), produciendo fundidos de tipo IAT pobres en Ti y boniníticos. Los sills máficos y los gabros de Isla Negritos están relacionados genéticamente y pueden ser explicados desde la cristalización de líquidos (IAT) que fueron extraidos desde niveles más bajos del manto de ZSS y emplazados en condiciones someras. La OSE es un fragmento de un arco isla intra-oceánico de origen Pacífico que colisionó con el margen meridional de Norte América durante el Cretácico Superior temprano (^{40}Ar/^{39}Ar age of 99.9±4.7 Ma).

Abstract

The Santa Elena ophiolite (SEO) is an ultramafic nappe of more than 270 km^2 overlying a tectonic serpentinite-matrix mélange in northwest Costa Rica. It is mainly composed of Cpx-rich and Cpx-poor harzburgites (~2.5 km-thick), with minor lherzolite, dunite and chromitite, as well as intrusive mafic sills and subvertical dikes, which coalesce into an upper Isla Negritos gabbroic sill complex (^{40}Ar/^{39}Ar age of 124.0±8.5 Ma). Cpx-rich harzburgites are interpreted as product of first-stage melting and low-degrees of melt-rock interaction in a mid-ocean ridge environment, and Cpx-poor harzburgites and dunites as the result of second-stage melting and refertilization in a supra-subduction zone (SSZ) setting, producing low-Ti IAT and boninite-like melts. The mafic sills and the Isla Negrito gabbros are genetically related and can be explained as crystallization from the liquids (IAT) that were extracted from lower SSZ mantle levels and emplaced at shallow conditions. The SEO is a fragment of a Pacific-derived intra-oceanic island-arc that collided to southern North America margin during the early Late Cretaceous (^{40}Ar/^{39}Ar age of 99.9±4.7 Ma).

Diamantes en cromititas ofiolíticas

Diamonds in ophiolitic chromitites

J. Farré-de-Pablo[1], J.A. Proenza[1], J.M. González-Jiménez[2], A. García-Casco[2,3], V. Colás[4], J. Roqué-Rosell[1], A. Camprubí[4], A. Sánchez-Navas[2,3], X. Llovet[5]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. jfarredepablo@gmail.com, japroenza@ub.edu
2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18002 Granada, Spain. jmgonzj@ugr.es, agcasco@ugr.es, asnavas@ugr.es
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es, asnavas@ugr.es
4 Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 04510 Ciudad de México, México. vcolas86@gmail.com, camprubitaga@gmail.com
5 Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiT-UB), 08028 Barcelona, Spain. xavier@ccit.ub.edu

Palabras clave: Cromititas, serpentinización, metaestabilidad, diamante

Resumen

Los depósitos de cromita constituyen un rasgo característico de las secuencia mantélicas de las ofiolitas. Los modelos clásicos propuestos para su formación asumen sistemáticamente procesos a baja presión en el manto (<30 km). Sin embargo, en los últimos años, el descubrimiento de minerales típicamente asociados a ambientes de ultra-alta presión (UAP) y súper reductores (SuR) en las cromititas ofiolíticas y sus peridotitas encajantes han puesto en duda estos modelos. Este es el caso del diamante. Varios autores han intentado explicar el hallazgo de estos minerales mediante modelos geodinámicos que implican la formación y/o reciclado de las cromititas y sus peridotitas encajantes cerca de la zona de transición del manto (410-600 km), donde se incorporarían los diamantes. Sin embargo, estudios de detalle de diamantes identificados in situ en fracturas selladas en las cromititas de Tehuitzingo (Sur de México) han demostrado que la formación de diamante puede darse de forma metaestable a baja presión y temperatura. En estos casos los diamantes precipitarían a partir de fluidos C-O-H en microambientes súper-reductores en los primeros estadios de alteración (serpentinización) de las rocas espacialmente asociadas. En conclusión, es necesario un estudio detallado de las inclusiones de diamante, así como de su paragénesis mineral, antes de considerar una historia geodinámica compleja que implique ambientes de UAP para la formación/evolución de las cromititas y peridotitas ofiolíticas que los contienen.

Abstract

Chromitite deposits are a common feature of many mantle portions of ophiolites. Classic formation models of these deposits systematically assume low-pressure processes in the mantle (<30 km). However, in recent years, these models have been challenged by the discovery of minerals typically associated to ultra-high pressure (UHP) and super-reducing (SuR) environments found as inclusions in the ophiolitic chromitites and their hosting peridotites. This is the case for diamond. In order to explain these findings, several authors proposed geodynamic models implying the formation and/or recycling of the ophiolitic chromitites and hosting peridotites near the mantle transition zone (410-600 km), where they would incorporate the diamonds. However, detailed studies of in situ diamonds in sealed fractures in the Tehuitzingo chromitites (Southern Mexico) showed that they formed at low pressure and temperature. In this scenario, metastable diamonds would crystallize from C-O-H fluids in super-reducing micro-environments during the first stages of alteration (serpentinization) of the spatially associated rocks. Therefore, a detailed study of the diamond inclusions and their parageneses is necessary before considering a complex geodynamic history at UHP environments for the formation/evolution of their hosting ophiolitic chromitites and peridotites.

Cinturones metamórficos ofiolíticos de Cuba

Ophiolitic metamorphic belts of Cuba

A. Garcia-Casco[1,2], G. Millán[3], M. A. Iturralde-Vinent[4], K. Núñez Cambra[3], Y. Rojas-Agramonte[5], C. Lázaro[1], I. F. Blanco-Quintero[6], J. Cárdenas-Párraga[1], J. A. Proenza[7]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es, clazaro@ugr.es, jcardenas_1@ugr.es
2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es
3 Instituto de Geología y Paleontología, 11100 San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. kenya@igp.minem.cu
4 Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba. maivcu@gmail.com
5 Institut für Geowissenschaften Christian Albrechts, Universität of Kiel, 24118 Kiel, Germany. yamirka.rojas@ifg.uni-kiel.de
6 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03609 Alicante, Spain. if.blanco@ua.es
7 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. japroenza@ub.edu

Palabras clave: Ofiolitas, metamorfismo, Cuba.

Resumen

Todos los tipos de secciones litosféricas contenidas en el orógeno acrecionario Mesozoico-Terciario de Cuba están afectadas, parcialmente, por metamorfismo como resultado de procesos geodinámicos de orden mayor, como la formación del arco oceánico, subducción oceánica y de margen pasivo, acreción de terrenos de arco, obducción de unidades ofiolíticas y colisión arco-continente. Todo ello tuvo como consecuencia la formación de cinturones metamórficos de edad y razón P/T variadas. Dos de ellos, estrechamente asociados a las unidades ofiolíticas, se formaron sincrónicamente y definen un cinturón metamórfico pareado a lo largo de ca. 1200 km. Se caracteriza por bloques tectónicos en mélanges de matriz serpentinítica, incluyendo: a) rocas de baja P en facies de esquistos verdes hasta casi-granulíticas desarrolladas bajo condiciones estáticas como resultado de metamorfismo de fondo oceánico de secciones de litosfera oceánica suprasubducción y b) eclogitas, anfibolitas con granate y, localmente, jadeititas, que representan fragmentos del canal de subducción con bloques de litosferas oceánica y de arco subducidas. La formación de este cinturón pareado fue disparada por el inicio de subducción hace ca. 135 Ma. Bloques más jóvenes de baja y alta P de las melanges dan cuenta de la larga actividad del sistema subductivo (130-70 Ma). Suelas metamórficas bajo las unidades ofiolíticas y unidades del arco en facies de esquistos verdes/azules (Cuba oriental) se relacionan con un nuevo evento de inicio de subduccción en el retroarco (ca. 85 Ma) cuando el sistema subductivo principal del Caribe estaba aún activo.

Abstract

Metamorphism affects parts of all types of lithospheric sections represented in the Mesozoic-Tertiary Cuban accretionary orogen. It was triggered by major geodynamic processes, including formation of the oceanic island-arc, oceanic and passive margin subduction, oceanic arc terrane accretion, obduction of ophiolitic units and arc-continent collision, which led to the formation of metamorphic belts with varied age and P/T ratio. Two of them, closely related to the ophiolitic units, formed synchronously and define a paired metamorphic belt along ca. 1200 km. It is characterized by tectonic blocks in serpertinitic matrix mélanges that include: a) low P greenschist to near-granulite facies rocks developed under static conditions as a result of ocean-floor metamorphism of suprasubduction oceanic lithosphere and b) eclogite, garnet amphibolite and, locally, jadeitite, that represent fragments of the subduction channel containing subducted oceanic and arc lithospheres. The formation of this paired belt was triggered by subduction initiation at ca. 135 Ma. Younger low- and high-P blocks within the mélanges attest for the long-lasting activity (135-70 Ma) of the corresponding subduction system. Metamorphic soles below ophiolitic units and green/blueschist arc-related units (Cuba Oriental) relate to a new subduction initiation event in the back-arc at ca. 85 Ma while the main Caribbean subduction system was still active.

Metabasitas, metaultrabasitas y mineralizaciones asociadas de la zona Sur de la Cordillera de la Costa Chilena

Metabasic, metautrabasic and associated ores from the south Chilean Coastal Cordillera

J.M. González-Jiménez[1], G. Plissart[2], L.N.F. Garrido[3], J.C., Moral[2], J. Berger[4], C. Marchesi[1], H. Diot[5], R. Piña[6], M. Ramón[1], C. Monnier[5], J.A. Padrón-Navarta[7], F. Gervilla[1]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18001 Granada, Spain. jmgonzj@ugr.es, claudio@ugr.es, gervilla@ugr.es
2 Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. gaelle.plissart@uach.cl
3 Departamento de Geología y Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes, Universidad de Chile, Santiago, Chile. nicogc4@ug.uchile.cl
4 Laboratoire Géosciences Environnement Toulouse, Université de Paul Sabatier, 31330 Toulouse, France. juberger@ulb.ac.be
5 Nantes Univ., AngersUniv., CNRS, LPG, UMR6112, F-44000 Nantes, France. hdiot@univ-lr.fr
6 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. rpinagar@ucm.es
7 Géosciences Montpellier, CNRS, Univ.Montpellier &Univ. des Antilles (UMR5243), 34095 Montpellier, France. padron@gm.univ-montp2.fr

Palabras clave: Metabasitas, Metaultrabasitas, Ofiolita, Cordillera de la Costa, Chile

Resumen

La Cordillera de la Costa Chilena está constituida por dos cinturones metamórficos —Series Occidental y Oriental con metamorfismo de alta y baja P/T respectivamente— que representan diferentes partes de un complejo de acreción desarrollado en el margen sur de Gondwana durante el Paleozoico tardío. Los metasedimentos de la Serie Occidental albergan cuerpos pequeños (< 1 km^2) de metabasitas (metagabros y esquistos verdes) y metraultrabasitas (serpentinitas), estas últimas aflorando en las localidades de Tirúa, La Cabaña, Gorbea, Toltén, Palo Blanco, Caman, Los Ulmos, Morro Bonifacio, Madre de Dios, Quitratué y Voipire. Todas estas rocas preservan firmas geoquímicas indicativas de una litosfera oceánica originada en una cuenca marginal desarrollada en la trasera de un arco de islas intra-oceánico, en el cual se formaron depósitos de cromita en rocas mantélicas (p.ej. La Cabaña) y sulfuros masivos volcanogénicos en los sedimentos del fondo oceánico (p.ej. Tirúa). El conjunto registra metamorfismo progrado relacionado con enterramiento durante la subduccion, registrando diferentes profundidades, y una fase retrógrada posterior desarrollada durante la exhumación hacia la base del prisma dentro de un canal de subducción.

Abstract

The Chilean Coastal Cordillera comprise two parallel N–S trending metamorphic belts —Western and the Eastern series with metamorphism at high and low P/T ratios, respectively— that correspond to different portion of an accretionary complex developed at the southern margin of Gondwana during the Late Paleozoic. The metasedimentary rocks of the Western Series host small bodies of metamorphosed basic (metagabbros) and utrabasic (serpentinites) rocks (usually < 1 km^2), which crop out at the localities of Tirúa, La Cabaña, Gorbea, Toltén, Palo Blanco, Caman, Los Ulmos, Morro Bonifacio, Madre de Dios, Quitratué and Voipire. These rocks preserve oceanic geochemical fingerprints of an oceanic lithosphere formed in a marginal basin developed in the rear of an intra-oceanic island arc, in which were formed mantle-hosted chromite ores (e.g., La Cabaña) and ocean-floor sedimentary-hosted volcanogenic massive sulfides (e.g., Tirúa). Overall the rocks register a prograde metamorphism related with burial at different depth during subduction, and final exhumation through the bottom of the prism within a subduction channel.

Productos de fusión parcial de láminas ofiolíticas subducentes (Cuba oriental)

Partial melting products of subducted ophiolitic slabs (Eastern Cuba)

C. Lázaro[1], I.F. Blanco-Quintero[2], M. A. Iturralde-Vinent[3], K. Núñez Cambra[4], Y. Rojas-Agramonte[5, 6], J. Cárdenas-Párraga[1], J.A. Proenza[7], A. Garcia-Casco[1, 8]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. clazaro@ugr.es, jcardenas_1@ugr.es
2 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 Alicante, Spain. if.blanco@ua.es
3 Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba. maivcu@gmail.com
4 Instituto de Geología y Paleontología, 11100 San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. kenya@igp.minem.cu
5 Institut für Geowissenschaften Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55128 Mainz, Germany. rojas@uni-mainz.de
6 Institut für Geowissenschaften Christian Albrechts, Universität of Kiel, 24118 Kiel, Germany
7 Dpt. de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. japroenza@ub.edu
8 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es

Palabras clave: Ofiolitas, mélanges, Cuba

Resumen

La Ofiolita de Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental) se relaciona con mélanges de subducción de matriz serpentinítica (Sierra del Convento y La Corea-Sierra de Cristal) que incluyen bloques de rocas ultrabásicas, básicas y sedimentarias metamorfizadas en condiciones de alta P (Grt-anfibolitas, esquistos azules, antigorititas y esquistos zoisíticos). Las Grt-anfibolitas (protolito MORB) se formaron en los estadios tempranos de subducción (ca.120 Ma) llegando a condiciones de fusión parcial hidratada a 700-750ºC y 1.5GPa, indicando un escenario de subducción muy caliente relacionable con subducción de litosfera muy joven-dorsal medio-oceánica. Los productos de fusión primarios formaron trondhjemitas de bajo K (sin fengita) normales derivadas de protolito MORB y no reaccionaron de forma significativa con la cuña de manto u otras litologías subducidas. Sin embargo, existen trondhjemitas de alto K-Ba (con fengita) que indican que los procesos de fusión parcial en la lámina subducente fueron desencadenados por infiltración de fluidos derivados de fuentes subducidas variadas, incluyendo material juvenil (meta-MORB hidratado +/- meta-harzbugitas hidratadas) y metasedimentos. Los productos de fusión son comparables con adakitas y TTG, indicando procesos de formación comunes.

Abstract

The Mayarí-Baracoa Ophiolite, in eastern Cuba, is associated with subduction-related serpentinite matrix mélanges (Sierra del Convento and La Corea-Sierra de Cristal) that include blocks of ultrabasic, basic, and sedimentary rocks metamorphosed at high P (Grt-amphibolites, blueschists, antigoritites and zoisite schists). The Grt-amphibolites (MORB-derived) formed early in the subduction history (ca. 120 Ma) and reached water-saturated partial melting at 700-750ºC and 1.5GPa, indicating a very hot-subduction scenario related to subduction of very young oceanic lithosphere-ridge. The primary liquids formed normal low-K (phengite-free) trondhjemites derived from normal MORB protoliths and did not significantly react with the mantle wedge or other subducted lithologies. However, high-K-Ba (phengite-bearing) trondhjemites indicate that the partial melting processes in the subducting slab were triggered by infiltration of fluids derived from distinct subducted sources, including juvenile material (hydrated meta-MORB +/- hydrated metaharzburgite) and metasediments. The melting products compare to adakite and TTG compositions, pointing to common formation processes.

Evolución tectonotermal de paragneises de alta-P y alta-T (sutura Varisca, NO del Macizo Ibérico)

Tectonothermal evolution of high-P and high-T paragneisses (Variscan suture, NW Iberian Massif)

I. Novo-Fernández[1], R. Arenas[1], A. Garcia-Casco[2], R. Díez Fernández[3], R. Albert[4], S. Sánchez Martínez[1], A. Gerdes[4]

1 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. inovo@ucm.es, rarenas@ucm.es, s.sanchez@geo.ucm.es
2 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Instituto Andalúz de Ciencias de la Tierra (UGR, CSIC), Univ. de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es
3 Dpt. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. rudiez@ucm.es
4 Institut für Geowissenschaften and Frankfurt Isotope and Element Research Center (FIERCE), Goethe-Universität, 60438 Frankfurt, Germany. albertroper@em.uni-frankfurt.de, gerdes@em.uni-frankfurt.de

Palabras clave: Migmatitic paragneisses, high-P and high-T units, Variscan suture, NW Iberian Massif

Resumen

En el NO del Macizo Ibérico afloran una serie de complejos alóctonos que delinean una zona de sutura Varisca. A techo de los complejos, las Unidades Superiores representan los restos de un arco magmático Cámbrico generado en la periferia de Gondwana, que experimentó un metamorfismo de alta-P y alta-T en el Devónico Inferior (c. 389 Ma, U-Pb en circones), durante la colisión entre Gondwana y Laurrusia que ensambló Pangea. En el Complejo de Órdenes, la Unidad de Sobrado está compuesta por rocas ultramáficas, eclogitas, granulitas y paragneises migmatíticos de alta presión. Los paragneises migmatíticos están constituidos por granate + distena + biotita + plagioclasa + feldespato potásico + cuarzo + rutilo + ilmenita + fundido. La modelización termodinámica de la composición residual revela condiciones P-T para el pico metamórfico de 15 kbar y 825ºC. Para evaluar la trayectoria prograda se ha realizado una reintegración de fundido. Se ha calculado la composición de un líquido en equilibrio con el residuo y se ha reintegrado un 26 mol.% del líquido para simular la composición química de la roca pre-fusión parcial. La modelización termodinámica de esta composición pre-fusión revela la existencia inicial de un evento de alta presión de menor temperatura. La trayectoria propuesta incluye una subducción de las rocas a gran profundidad, donde experimentaron un fuerte calentamiento y una subsecuente descompresión drástica.

Abstract

The NW of the Iberian Massif is characterized by the presence of several allochthonous complexes that delineate a Variscan suture zone. The Upper Units crop out at top of the complexes and represent the remnants of a Cambrian peri-Gondwanan magmatic arc. They underwent an Early Devonian (c. 389 Ma, U-Pb on zircon) HP-HT metamorphic event during the convergence of Gondwana and Laurussia that assembled Pangea. In the Órdenes Complex, the Sobrado Unit is constituted by ultramafic rocks, eclogites, granulites and HP migmatitic paragneisses. The latter are composed of garnet + kyanite + biotite + plagioclase + K-feldspar + quartz + rutile + ilmenite + melt. Thermodynamic modelling of the residual composition reveals metamorphic peak conditions at 15 kbar and 825ºC. The prograde P-T path has been assessed by means of a melt-reintegration method. To do so, an appropriate composition of liquid in equilibrium with the residuum has been calculated to emulate the pre-melting composition of the rock. Thermodynamic modelling of this composition reveals the existence of an initial and colder high-P event. The geodynamic evolution proposed includes subduction to great depth of the rocks, where they were heated and then underwent almost isothermal decompression.

Petrogénesis de las ofiolitas cubanas

Petrogenesis of Cuban ophiolites

J.A. Proenza[1], A. García-Casco[2,3], Y. Rojas-Agramonte[4], M. Iturralde-Vinent[5], C. Marchesi[2], C. Lázaro[2], J.M. González-Jiménez[2], I.F. Blanco-Quintero[6], L. Butjosa[1], J. Cárdenas-Párraga[2], F. Gervilla[1,2], N. Pujol-Solà[1], J. Farré-de-Pablo[1], A.I. Llanes-Castro[7], K. Núñez Cambra[7]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. japroenza@ub.edu, npujolsola@ub.edu, jfarredepablo@ub.edu

2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es, claudio@ugr.es, clazaro@ugr.es, jmgonzj@ugr.es, jcardenas 1@ugr.es

3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es

4 Institut für Geowissenschaften Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55128 Mainz, Germany. rojas@uni-mainz.de

5 Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba. maivcu@gmail.com

6 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 Alicante, Spain. if.blanco@ua.es

7 Instituto de Geología y Paleontología, 11100 San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. isa19111961@gmail.com, kenya@igp.minem.cu

Palabras clave: Ofiolitas, geoquímica, petrogénesis, Cuba

Resumen

El cinturón ofiolítico Cubano, el más importante de Iberoamérica, está conformado por cuerpos de paleolitosfera oceánica (~138 a 90 Ma) emplazados tectónicamente sobre el margen continental de Norteamérica (Cretácico Terminal-Eoceno) como resultado de la colisión del arco intraoceánico del Caribe con los márgenes continentales pasivos (Jurásico-Cretácico) de Bahamas y el bloque Maya. La secuencia ofiolítica se encuentra muy desmembrada tectónicamente, aunque pueden reconocerse todos los niveles de una columna ofiolítica ideal (tectonitas mantélicas, zona de transición manto-corteza, gabros bandeados e isotrópicos, diques de diabasas y rocas volcánicas). Los datos geoquímicos indican que el cinturón ofiolítico contiene relictos de litosfera oceánica formada en contextos geodinámicos diversos: dorsal centro-oceánica (MOR), zona de fractura oceánica-falla transformante y zona de suprasubducción. Sin embargo, la composición de las peridotitas y las cromititas mantélicas, de las rocas plutónicas y de los materiales volcánicos [basaltos de antearco (FAB), boninitas, toleítas de arco pobres en Ti (LOTI), toleítas de arco (IAT), BABB y CAB] permite interpretar que las ofiolitas de Cuba se formaron mayoritariamente en el antearco durante el inicio de subducción de la cuenca oceánica del Proto-Caribe en el Cretácico Inferior. Estas ofiolitas tipo SSZ constituyen por tanto el basamento del frente de la placa del Caribe (de origen Pacífico) y están relacionadas con el nacimiento y la evolución del arco volcánico intraoceánico del Caribe (~135-70 Ma).

Abstract

The Cuban ophiolite belt, the largest in Iberoamérica, represents slices of oceanic lithosphere (~ 138 to 90 Ma) obducted onto the North American continental paleo-margin in Latest Cretaceous to Eocene times during the collision of the Caribbean volcanic arc with the Jurassic-Cretaceous passive margins of the continental Maya block and the Bahamas platform. The ophiolite assemblages are highly dismembered, but the mantle tectonites, Moho Transition Zone and crustal sections can be identified as in archetypical ophiolites. Geochemical data suggest that the ophiolitic complexes all along the island contain remnants of ancient oceanic lithosphere formed in a variety of geodynamic settings associated with active plate margins, such as mid-ocean ridges (MOR), oceanic fracture-zone–transform-fault, and supra-subduction zone. However, the composition of mantle peridotites, chromitites and plutonic rocks, as well as volcanic rocks (with FAB, boninite, LOTI, IAT, CAB and BABB affinities) clearly indicates a predominance of oceanic lithosphere produced in the forearc above the subducting Atlantic-related Proto-Caribbean oceanic basin during subduction initiation in the Early Cretaceous. These SSZ-type ophiolites hence form the basement of the leading edge of the Pacific-derived Caribbean plate and are related to the birth and evolution of the Caribbean intra-oceanic volcanic arc (~135-70 Ma).

Metasomatismo de Fe-Ti-Zr causado por infiltración de fundidos diferenciados tipo MORB en el manto ofiolítico de Cuba oriental

Fe-Ti-Zr metasomatism triggered by infiltration of an evolved MORB-like melt into the ophiolitic mantle of eastern Cuba

N. Pujol-Solà[1], J.A. Proenza[1], A. Garcia-Casco[2,3], J.M. González-Jiménez[2], M.J. Román-Alpiste[3], C.J. Garrido[3], J.C. Melgarejo[1], F. Gervilla[2,3], X. Llovet[4]

1 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. npujolsola@ub.edu, japroenza@ub.edu, joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu
2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. agcasco@ugr.es, jmgonzj@ugr.es, gervilla@ugr.es
3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), 18100 Armilla, Granada, Spain. mj.roman@csic.es, carlos.garrido@csic.es
4 Centres Científics i Tecnològics, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. xavier@ccit.ub.edu

Palabras clave: Cromitita, ofiolita, coronas de zircón, metasomatismo, manto oceánico.

Resumen

En la zona de transición manto-corteza (*Moho Transition Zone*, MTZ) del Macizo Ofiolítico de Moa-Baracoa (Cuba Oriental) se encuentran numerosos cuerpos de gabro cortando cuerpos de cromititas y las peridotitas asociadas. En el depósito de Potosí, se han observado fases minerales ricas en *High Field Strenght Elements* (HFSE) en la zona de interacción entre las intrusiones de gabros pegmatíticos y las cromititas pre-existentes. Estos minerales son: anfíbol rico en Ti, ilmenita rica en Mg con inclusiones de óxidos de Zr como baddeleyita, srilankita y zirconolita, y zircón formando coronas alrededor de los granos de ilmenita. Además de estas fases minerales, la zona de interacción se compone de cromita recristalizada rica en Fe^{3+} y Ti, olivino, clinopiroxeno, plagioclasa, ortopiroxeno, apatito rico en F y sulfuros de Fe-Ni.

Proponemos que la asociación mineral observada en Potosí se ha formado por: (1) cristalización de un fundido tipo MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalt*)/BABB (*Back-Arc Basin Basalt*) evolucionado que produce fundidos residuales ricos en agua y HFSE, y (2) reacción de los fundidos residuales con las cromititas en un sistema cerrado, dando lugar al metasomatismo modal de tipo Fe-Ti-Zr. La datación de cristales de baddeleyita (134.4 ± 14 Ma) indica que la edad del metasomatismo encaja (dentro del error) con la edad de formación de la corteza oceánica de la ofiolita de Cuba Oriental.

Abstract

The Moho Transition Zone (MTZ) in the Moa-Baracoa Ophiolitic Massif (Eastern Cuba) hosts numerous gabbroic bodies crosscutting chromitite bodies and the associated peridotites. In the Potosí deposit there is evidence of HFSE-bearing minerals in the interaction zone between pegmatitic gabbro intrusions and the pre-existing chromitite bodies. These minerals are: Ti-rich amphibole, Mg-rich ilmenite hosting Zr oxide inclusions such as baddeleyite, srilankite, and zirconolite, and zircon coronas surrounding the ilmenite grains. In addition to the HFSE-minerals, the minerals forming the interaction zone are Fe^{3+}- and Ti-rich recrystallized chromite, olivine, clinopyroxene, plagioclase, orthopyroxene, F-rich apatite, and Fe-Ni sulfides.

We propose that the mineral assemblage observed in Potosí formed after: (1) crystallization of and evolved MORB (BAB-B)-like melt producing residual water-rich melts enriched in HFSE, and (2) reaction of the residual melts with the surrounding chromitites in a closed system triggering the Fe-Ti-Zr modal metasomatism. Dating of baddeleyite crystals (134.4 ± 14 Ma) indicate that the age of the metasomatic event matches (within uncertainty) the formation age form the oceanic crust of the eastern Cuba ophiolite.

Planeta Rica, NW Colombia: una ofiolita de zona de supra-subducción del Jurásico Tardío

Planeta Rica, NW Colombia: a Late Jurassic supra-subduction zone ophiolite

C. Ramírez-Cárdenas[1,2], M. Weber[1], M. Tobón[1], J.A. Proenza[2], A. Beltrán-Triviño[3], N. Pujol-Solà[2], S. Betancur[1], A. von Quadt[4], J. Duque[3]

1 Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, 050035 Medellín, Colombia. cramirca52@alumnes.ub.edu, mweber@unal.edu.co, mtobon@unal.edu.co, sbetancurfigueroa@gmail.com
2 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain. npujolsola@ub.edu, japroenza@ub.edu
3 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, 050022 Medellín, Colombia. aibeltrant@eafit.edu.co, jduquetr@eafit.edu.co
4 Department of Earth Sciences, ETH Zurich, 8092 Zurich, Switzerland. albrecht.vonquadt@erdw.ethz.ch

Palabras clave: Planeta Rica, Caribe, Ofiolita, Zona de supra- subducción.

Resumen

En el noroccidente de Colombia, localidad de Planeta Rica, en el núcleo del Cinturón Plegado de San Jacinto, afloran fragmentos de una paleolitosfera oceánica de la que se preserva la zona de transición manto-corteza (MTZ). La MTZ está compuesta por serpentinitas, lherzolitas serpentinizadas, peridotitas impregnadas con plagioclasa y cromititas (Peridotitas de Planeta Rica) y gabros, gabros hornbléndicos y clinopiroxenitas (Gabro de Porvenir). Los datos de química mineral y geoquímica de roca total apuntan a un ambiente geotectónico de zona de supra- subducción (SSZ) y las dataciones U-Pb en circones recuperados del Gabro de Porvenir indican una edad de cristalización Jurásico Superior (149.7 ± 1.2 Ma, n = 31). Debido al escaso registro de rocas oceánicas Jurásicas en Colombia, la zona de transición manto-corteza (MTZ) de Planeta Rica es un ejemplo único para entender las condiciones de fragmentación en la parte occidental de Pangea durante el Jurásico y la evolución temprana del Caribe.

Abstract

In northwestern Colombia, Planeta Rica locality, in the core of the San Jacinto Fold Belt, there are outcrops of oceanic palaeolithosphere, where the mantle-crust transition zone (MTZ) is preserved. This MTZ is composed of serpentinites, serpentinized lherzolites, plagioclase-impregnated peridotites and chromitites (Planeta Rica Peridotites) and gabbros, hornblende gabbros and clinopyroxenites (Porvenir Gabbro). Mineral chemistry and whole-rock geochemistry data point to a supra-subduction zone (SSZ) environment and U-Pb zircon dating of the Porvenir Gabbro indicate a Late Jurassic age of crystallization (149.7 ± 1.2 Ma, n = 31). Due to the scarce record of Jurassic oceanic rocks in Colombia, the mantle-crust transition zone (MTZ) found in Planeta Rica is a unique example for understanding the fragmentation of western Pangaea during Jurassic times and the early evolution of the Caribbean.

¿Existió un basamento Mesoproterozoico en NW África? Geocronología U-Pb de la ofiolita de tipo back-arc de Vila de Cruces

Was there a Mesoproterozoic basement in NW Africa? U-Pb geochronology of the back-arc type Vila de Cruces Ophiolite

S. Sánchez Martínez[1], R. Arenas[1], R. Albert[2], A. Gerdes[2], J. Fernández-Suárez[1]

1 Dpt. de Mineralogía y Petrología e Instituto de Geociencias (UCM, CSIC), Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain. s.sanchez@geo.ucm.es, rarenas@ucm.es, jfsuarez@ucm.es

2 Institut für Geowissenschaften, Goethe-University Frankfurt, 60438 Frankfurt, Germany. albertroper@em.uni-frankfurt.de, gerdes@em.uni-frankfurt.de

Palabras clave: Peri-Gondwana, back-arc ophiolite, U-Pb geochronology, isotopic Hf geochemistry, NW Iberian Massif.

Resumen

El NW del Macizo Ibérico contiene una variedad de ofiolitas generadas durante el Cámbrico y el Devónico (c. 500 y 400 Ma, respectivamente). Nuevos datos de geocronología U-Pb de la Ofiolita de de Vila de Cruces, obtenidos en ortogneises (3 muestras) y gabros relacionados (1 muestra), proporcionan edades (LA-ICP-MS) comprendidas en el rango 506-491 Ma. Otras dos muestras de gabros contienen una población dispersa de circones con una edad media de c. 1150 Ma, que probablemente representan xenocristales incorporados en los magmas gabróicos durante su ascenso e intrusión. Teniendo en cuenta su arquitectura y composición química característica de un contexto del tipo zona de supra-subducción, esta ofiolita se interpreta como una sección de litosfera oceánica o transicional formada en una cuenca de tipo back-arc. La presencia de circones Mesoproterozoicos heredados, también descrita en otra ofiolita Devónica del NW del Macizo Ibérico, parece indicar la posible existencia en tiempos Paleozoicos de un basamento Mesoproterozoico en el margen NW Africano de Gondwana.

Abstract

The NW Iberian Massif shows a variety of ophiolites formed at two different stages in Cambrian and Devonian times (c. 500 Ma and c. 400 Ma, respectively). These ophiolites provide information about the complex Paleozoic evolution of the NW African margin of Gondwana. New U-Pb geochronology data of the Vila de Cruces Ophiolite obtained in zircons from orthogneisses (3 samples) and related gabbros (1 sample), provided ages (LA-ICP-MS) in the range 506-491 Ma. Moreover, two different gabbro samples contain a scattered population of zircons with an average age of c. 1150 Ma, which probably represent xenolitic material included in the gabbroic magma during its ascent and emplacement in the Gondwanan margin. Taking into account the architecture of the Vila de Cruces Ophiolite and its geochemical composition characteristic of a supra-subduction zone setting, this ophiolite must be considered a section of oceanic or transitional lithosphere formed in a back-arc basin opened in the peri-Gondwanan realm. Moreover, the presence of inherited Mesoproterozoic zircons, also described in another Devonian ophiolite from the NW Iberian Massif, suggests the existence of a Mesoproterozoic basement in the NW African margin of Gondwana during Paleozoic times. The current location and extent of such unexposed basement is unknown.

Petrografía, geoquímica y geocronología del cinturón ofiolítico Peltetec (Ecuador), implicaciones geodinámicas

Petrography, geochemistry, and geochronology of the Peltetec ophiolitic belt (Ecuador), geodynamic implications

F. Villares-Jibaja[1,2], I.F. Blanco-Quintero[3], P. Reyes[2], A. Garcia-Casco[1,4]

1 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain. fabianvillares@correo.ugr.es, agcasco@ugr.es
2 Departamento de Geología, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. fabian.villares@epn.edu.ec, pedro.reyes@epn.edu.ec
3 Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 Alicante, Spain. if.blanco@ua.es
4 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18100 Armilla, Granada, Spain. agcasco@ugr.es

Palabras clave: Peltetec, ofiolita, supra-subducción, corteza oceánica

Resumen

El cinturón ofiolítico de Peltetec aflora de forma discontinua a lo largo de la vertiente occidental de la Cordillera Real (Ecuador) por una distancia de 310 km (N-S a NNE-SSW; <2 km de ancho). Ha sido interpretado como una mélange de rocas de una secuencia ofiolítica desmembrada (Litherland *et al.*, 1994) de edad Cretácica (134 Ma; Spikings *et al.*, 2015). El cuerpo está limitado hacia el Oeste y Este por rocas metasedimentarias de edades Jurásico a Cretácico, si bien en el borde occidental aparecen escamas tectónicas de un granito tipo-S de edad Triásica (228 Ma, Unidad Tres Lagunas). Sus litologías, variablemente metamorfizadas/alteradas y deformadas, incluyen serpentinitas, gabros (localmente cumulados), diques basálticos, lavas basálticas, brechas hidrotermales y rocas sedimentarias. Los elementos traza inmóviles, tierras raras e isótopos de Nd de las rocas basálticas muestran una afinidad toleítica con influencia variable de fluidos/fundidos de una zona de subducción. Debido a su variación química, las rocas basálticas se clasifican en tres grupos, uno con afinidad de arco de islas y los otros dos con afinidad NMORB de retroarco. En una metadiabasa se obtuvo una edad U-Pb SHRIMP en circones de 230 Ma. Estos datos permiten interpretar a Peltetec como una sección litosférica oceánica generada en un ambiente de arco/retro-arco como consecuencia de la extensión de la litosfera continental en el Triásico Superior.

Abstract

The Peltetec ophiolitic belt is discontinuously exposed along ca.310 km (N-S to NNE-SSW directed, <2 km in width) in the western margin of the Cordillera Real (Ecuador). It has been interpreted as a mélange of a dismembered Cretaceous ophiolite (Litherland et al., 1994; 134 Ma, Spikings et al., 2015). To the West and East the body is in contact with Jurassic to Cretaceous metasedimentary sequences; however, tectonic slivers of S-type Triassic granites (228 Ma, Tres Lagunas Unit) also occur in the western boundary. The lithologies, variably metamorphosed/altered and deformed, include serpentinites, gabbros (locally cummulate), basalts, discordant basaltic dykes, hydrothermal breccias, and sedimentary rocks. Immobile trace elements, rare earth elements and Nd isotopes of basaltic rocks show tholeiitic affinity and variable imprint of subduction zone-derived fluids/melts. Geochemical considerations allow classifying these rocks in three groups, one with oceanic island arc affinity and other two with NMORB-like back-arc affinity. Zircon from a metadiabase yielded a U-Pb SHRIMP age of 230 Ma. These data allow interpreting Peltetec ophiolitic belt as an oceanic lithospheric section generated in an arc/back-arc setting as a consequence of Upper Triassic extension in the continental lithosphere.

Referencias

Litherland, M., Aspden, J., Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador. Overseas Memoir of the British Geological Survey*, (Nottingham, England), 11, 147 pp.

Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W. and Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangea collision of the Caribbean Large Igneous Province (290 – 75 Ma). *Gondwana Research*, GR-01278, 45.

Cambios en la evolución de los perfiles de ríos con el suministro de sedimentos no consolidados en el sur del Desierto de Atacama

Changes in the evolution of river profiles with the unconsolidated sediment supply in the southern Atacama Desert

G. Aguilar[1], K. Rossel[1], A. Cabré[1]

1 Advanced Mining Technology Center, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Avenida Tupper 2007, Santiago, Chile. german.aguilar@amtc.cl

Palabras clave: perfiles de ríos, suministro de sedimentos, incisión de valles, sedimentos no consolidados, Desierto de Atacama.

Resumen

Los modelos actuales indican que la eficiencia de la incisión de ríos está controlada por la tasa de alzamiento, la erodabilidad del sustrato, la geometría del canal, las propiedades y la disponibilidad de los sedimentos y las variables climáticas. En el Desierto de Atacama, donde predomina el clima más árido de la Tierra, la incisión de los valles ha variado en magnitud desde el Neógeno. También se observan variaciones en las tasas de incisión en los diferentes ríos que atraviesan el Desierto. En algunas laderas de los valles, quedan expuestos depósitos no consolidados que en ocasiones coinciden con segmentos de cañones profundos. En este trabajo se analizaron perfiles de ríos en la cuenca hidrológica de El Tránsito (29°S). Se efectuó una cuidadosa caracterización de las unidades litológicas subyacentes para evaluar cómo la incorporación de gravas desde los depósitos no consolidados afecta a la incisión de los canales de montaña. Los afluentes estudiados han estado sujetos a regímenes climáticos y entornos tectónicos similares. A pesar de esas similitudes, los canales presentan diferentes grados de incisión y diferentes índices de concavidad y pendiente. Los canales que atraviesan gruesos depósitos no consolidados de gravas neógenas están más incisos, presentan mayores celeridades de retroceso y tienen menores índices de inclinación, en relación con los canales escavados en sustrato cristalino descubierto. Los depósitos no consolidados son más fáciles de erosionar, y las gravas incorporadas como carga en los canales, proporcionan los materiales abrasivos que aparentemente llevó a una mayor incisión aguas abajo. Este estudio muestra que la incorporación de sedimentos en los canales desde depósitos no consolidados es un proceso relevante para los estudios geomórficos que utilizan perfiles fluviales para inferir información sobre la evolución tectónica y climática de los Andes Centrales, lo que sugiere la necesidad de realizar más estudios para determinar el papel de las tasas de suministro de sedimentos en la evolución de los perfiles fluviales.

Abstract

Current models indicate that the efficiency of river incision is controlled by the rate of rock uplift, soil erodibility, channel geometry, properties and availability of sediments and climatic variables. In the Atacama Desert, where of the arid climate on Earth prevails, valleys incision has varied in magnitude since the Neogene. Variations in incision rates are also observed in different rivers that cross the Desert. Unconsolidated deposits are exposed in some valley slopes, which occasionally coincide with deep canyon segments. In this work, we analyzed river profiles of the El Tránsito hydrological basin (29°S). We use a careful characterization of underlying lithologic units to assess how the incorporation of gravels from unconsolidated deposits affects the incision of mountain channels. The studied tributaries have been subject to similar climatic regimes and tectonic settings. Despite these similarities, channels exhibit different degrees of incision and different concavity and steepness indexes. Channels that cross thick unconsolidated deposits of neogene gravels are more incised, present higher retreat celerities and have lower steepness indexes, in relation to channels where the crystalline substrate is uncovered. Unconsolidated deposits are easier to erode and gravels incorporated in the bed load provide the abrasive materials, which apparently led to further incision downstream. This study shows that the incorporation of stream sediments from unconsolidated deposits is a relevant process for geomorphic studies that use river profiles to infer information about tectonic and climatic evolution of the Central Andes, suggesting the need for further studies to determine the role of sediment supply rates on river profiles evolution.

Abanicos aluviales en valles encajados: Consideraciones para el registro paleoclimático Holoceno de los Andes Centrales

Alluvial fans in narrow valleys: Considerations on the Holocene paleoclimatic archives of the Central Andes

A. Cabré[1,2], G. Aguilar[1] y F. Colombo[3]

1 Advanced Mining Technology Center, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Avenida Tupper 2007, Santiago, Chile. acabrec@gmail.com, german.aguilar@amtc.cl

2 Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Avenida Angamos 0610, Antofagasta, Chile

3 Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. colombo@ub.edu

Resumen: La evolución durante el Pleistoceno tardío-Holoceno de los sistemas fluviales, situados entre los 27-30ºS en los Andes de Chile, está determinada por los cambios en la conectividad longitudinal producidos por los abanicos aluviales tributarios. Los abanicos registran eventos episódicos en su estratigrafía representados por niveles de flujos de detritos cohesivos. La presencia de estos niveles se atribuye al transporte de sedimentos por augmento en la escorrentía durante tormentas extremas desde las cuencas tributarias a los cauces principales. Debido a la naturaleza convectiva de este tipo de tormentas, la cantidad e intensidad de precipitación puede variar en distancias cortas. Por lo tanto, si se consideran los abanicos aluviales con cuencas con áreas <100km^2, la sedimentología de los flujos que se depositan en estos abanicos reflejará las condiciones atmosféricas locales que han impactado a la Cordillera de los Andes durante el Holoceno. Las observaciones recientes de flujos de detritos generados por lluvias extremas, permite definir de forma completa las asociaciones de facies presentes en los abanicos aluviales tributarios asociadas a eventos extremos facilitando así la interpretación de los arreglos estratigráficos Holocenos. Considerando que los eventos episódicos de alta descarga acuosa determinan que la sedimentación durante periodos áridos, la caracterización del número de eventos episódicos y los depósitos de bloqueo del río asociados, permitirán complementar los registros paleoclimáticos de los periodos áridos definidos durante el Holoceno en los Andes Centrales.

Palabras clave: Abanicos aluviales, Andes, registros paleoclimáticos, sistemas fluviales, Holoceno

Abstract: *The Late Pleistocene-Holocene evolution of fluvial systems situated between 27-32ºS in the Andean ranges is determined by shifts in longitudinal connectivity triggered by tributary-junction alluvial fans. Alluvial fans registrate episodic sedimentation events on their stratigraphic arrangements with the presence of cohesive debris flow layers. The presence of these layers is due to the increase in the runoff during extreme storm events from catchments towards the trunk valley. Due to the convective nature of these storms the amount and intensity of rainfall might be very different between one catchment and the other. Therefore, if only fans with catchments <100km^2 are considered the resulting sedimentology of the flows that reach the alluvial fan environment will reflect the local atmospheric conditions in the Andean Ranges at Holocene times. Recent observations in debris flows triggered by extreme storm events help in the interpretation of Holocene stratigraphic arrangements. Characterizing the number of episodic events and river blockage deposits will allow to reconstruct the paleoclimatic archives of relatively arid periods during the Holocene in the Central Andes.*

Keywords: *Alluvial fans, Andes, paleoclimatic archives, fluvial systems, Holocene*

INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO PALEOCLIMÁTICO

La influencia de los abanicos aluviales tributarios en la evolución Cuaternaria de sistemas fluviales encajados en regiones montañosas ha sido ampliamente destacada (*e.g.* Mather *et al.*, 2017). En la Cordillera de los Andes, los aportes laterales de sedimento en abanicos aluviales o deslizamientos, ha determinado la evolución Holocena de los valles en el sur del Desierto de Atacama (*e.g.* Cabré *et al.*, 2017). De este modo, la respuesta paraglacial asociada al último máximo glacial (UMG) que ocurrió a los ~14ka no resulta ser el principal aporte de sedimentos en los valles ya que los aportes laterales dominan la transferencia de sedimentos aguas abajo. En este sentido, Veit (1996) reportó una mayor actividad de los abanicos durante el Holoceno temprano para la región de los Andes Centrales a los aprox. 7.3ka como uno de los mecanismos de transferencia de sedimentos más importantes en estos valles. Veit (1996) destaca también que los abanicos en estos valles presentan un comportamiento episódico durante el Holoceno medio coincidiendo con las condiciones de mayor aridez registradas al sur del Desierto de Atacama definidas en (*e.g.* Grosjean *et al.*, 1997). Estas condiciones de sedimentación episódica se han registrado en lagos y ambientes palustres (Grosjean *et al.*, 1997; Tiner *et al.*, 2018). Por lo tanto, en periodos relativamente más áridos durante el Holoceno,

las tormentas extremas habrían producido la escorrentía necesaria para incorporar sedimentos de las cuencas tributarias al cauce principal. Los niveles de flujos de detritos cohesivos descritos en los abanicos aluviales en el valle del Huasco (Cabré, 2019) son indicadores del comportamiento episódico en los abanicos tributarios de estos valles asociado a eventos episódicos de alta descarga acuosa.

Las principales asociaciones de facies permiten caracterizar varios medios sedimentarios característicos de estos valles que representan las siguientes condiciones climáticas: (i) condiciones relativamente áridas indicadas por el desarrollo de humedales en la llanura aluvial bajo condiciones de caudales bajos, (ii) fase húmeda al inicio del Holoceno coincidente con la transición glacial a interglacial debida al incremento de precipitaciones asociadas al monzón veraniego y al incremento de humedad procedente del Atlántico (Veit, 1996) y, (iii) tormentas episódicas responsables de depositar flujos de detritos cohesivos en los abanicos y facies palustres aguas arriba de los abanicos asociadas a represamientos. Las condiciones áridas favorecen la preservación de los flujos de detritos cohesivos.

En esta comunicación se presentan las principales características sedimentológicas de los registros paleoclimáticos asociados a abanicos aluviales tributarios disponibles. Finalmente, propone una serie de consideraciones para apoyar las interpretaciones paleoclimáticas entre los 27-30ºS realizadas en (*e.g.* lagos proglaciales) registros sedimentarios continuos (Tiner *et al.*, 2018). El hecho de considerar solamente los abanicos aluviales cuyas cuencas de drenaje no superan los 100km^2, permite caracterizar tormentas que característicamente se distribuyen de manera heterogénea (*e.g.* ENSO). Estos eventos son finalmente los responsables de la compartimentación de los sistemas fluviales al determinar el aporte lateral de sedimentos al sistema. Por lo tanto, comprender la dinámica asociada a eventos episódicos es fundamental al momento de reconstruir la evolución geomorfológica Cuaternaria de estos sistemas fluviales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se presentan datos geocronológicos entre los 27 y 30ºS (Fig. 1) recopilados de la literatura disponible y agrupados según los medios sedimentarios a los cuales pertenecen las muestras obtenidas. Esta recopilación contempla principalmente los abanicos tributarios situados en los ríos Salado, Copiapó, Huasco y Elqui. Estos ríos presentan caudales permanentes que drenan las zonas altas de las cuencas, situadas a más de 5000 m, hasta el Océano Pacífico. Los abanicos estudiados se sitúan a unos 100 km de las cabeceras de las cuencas en segmentos de los valles fluviales que no superan los 300m de ancho.

Para poder evaluar los abanicos tributarios como indicadores de inundaciones causadas por eventos extremos de precipitación, tomamos ejemplos ya publicados en Cabré *et al.*, (2017) para el río Huasco, Riquelme *et al.*, (2011) para el río Elqui e incorporamos nuevas observaciones para los valles del río Copiapó, Salado y Huasco. Además, se presenta una síntesis dónde se obtuvieron las edades de radiocarbono de las principales asociaciones de facies e interpretaciones de medios sedimentarios. Este último punto es fundamental para poder complementar con las edades obtenidas en abanicos aluviales tributarios los registros paleoclimáticos publicados en los Andes Centrales con especial énfasis entre los 8-4ka.

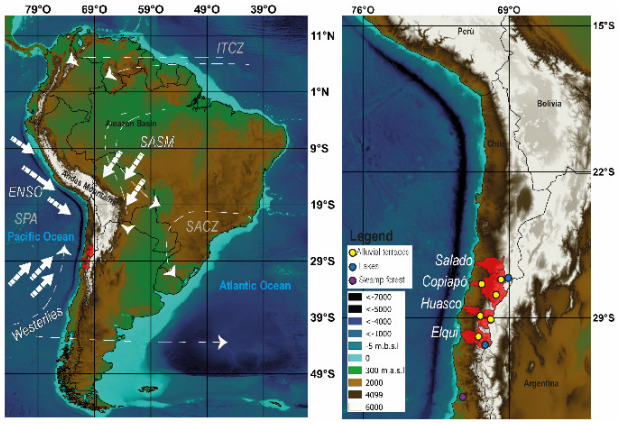


FIGURA 1. Mapa de Suramérica con los principales patrones de circulación atmosféricos en líneas y flechas blancas. South American Summer Monsoon (SASM), Inter-tropical Converge Zone (ITCZ), South Atlantic Convergence Zone (SACZ), Southern westerlies and South-east Pacific Anticyclone (SPA). Las cuencas de los ríos: Elqui, Huasco, Copiapó y el Salado aparecen en rojo y los puntos de colores corresponden a diferentes registros paleoclimáticos mencionados en el texto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sedimentología de los abanicos aluviales

En la estratigrafía de los abanicos destacan discontinuidades entre niveles correspondientes a flujos de detritos y por flujos no confinados tractivos que varían de hiper-concentrados a arroyadas en manto. Los flujos hiper-concentrados y arroyadas en manto predominan en las secuencias estudiadas. Se caracterizan por presentar gravas angulosas clasto suportadas en pasadas centimétricas que se presentan ligeramente imbricadas. Estos flujos sugieren condiciones de activación continua en las cuencas, mientras que los flujos de detritos cohesivos se asocian a una sedimentación episódica en los abanicos. Los eventos de alta magnitud y baja frecuencia corresponden a flujos hiper-concentrados (40-70% en concentración de sedimentos) mientras que flujos más diluidos acarrean menos sedimento a los abanicos (< 40% en concentración de sedimentos).

La presencia de flujos de detritos cohesivos, matriz soportados, con monolitos a techo de las capas es variable en cantidad entre abanicos cercanos (Cabré, 2019). Es posible identificar cambios laterales de depósitos masivos a niveles palustres en algunos abanicos. Esta asociación de facies se produce cuando los bloqueos del cauce principal lo facilitan. En los niveles palustres se encuentran capas ricas en materia orgánica que han permitido datar este tipo de depósitos por radiocarbono (Cabré *et al.*, 2017; Riquelme *et al.*, 2011). Esta misma asociación de facies se ha documentado

en estos sistemas fluviales durante recientes tormentas, cuando los flujos de detritos que provenían de las cuencas tributarias bloquearon el río Huasco durante el evento de Marzo 2015 (Cabré *et al.*, 2020), inundado extensas áreas aguas arriba de los abanicos.

Alcances y limitaciones de los abanicos aluviales como proxis paleo-climáticos.

Se han estudiado registros paleoclimáticos continuos que cubran la totalidad del Holoceno en lagos situados en la zona altiplánica más al norte de la zona de estudio (~18-21ºS). Los registros paleoclimáticos continuos de alta resolución temporal para el sector estudiado (27-30ºS) se encuentran en los sectores altos de las cuencas (*e.g.* lagos, turberas) o en los bosques pantanosos y humedales que se sitúan cerca de la costa (Fig. 2). Sin embargo, ambos registros cubren en detalle los últimos 5ka en la región estudiada. Por lo tanto, para complementar el registro paleoclimático Holoceno a los 27-30ºS se propone evaluar los alcances y limitaciones de utilizar las edades de radiocarbono disponibles en abanicos aluviales.

Las edades en los abanicos aluviales han sido obtenidas de (i) muestras en paleo-humedales situados en la llanura aluvial y corresponden a condiciones de caudales bajos que permitieron la preservación de estos ecosistemas y, (ii) muestras de depósitos palustres que pasan lateralmente a flujos de detritos, que son indicadoras de momentos en los que el cauce principal se bloqueó parcialmente. Ambos medios sedimentarios se corresponden con condiciones de relativa aridez para permitir su preservación y/o ocurrencia en el registro estratigráfico.

Sin embargo, la preservación de depósitos de flujos de detritos asociados a eventos episódicos en los abanicos requiere de al menos otras dos condiciones: (i) Que los factores de control del nivel de base local se mantengan estables y, (ii) que los factores que controlan los cambios en las cuencas tributarias y que nutren de sedimento a los abanicos aluviales correspondan a cambios atmosféricos asociados a tormentas extremas. Estas dos condiciones permiten preservar los depósitos durante períodos áridos y sugieren también que la temporalidad en la formación de los abanicos depende de factores autógenos (la geomorfología de las cuencas) y de la distribución de las precipitaciones.

Otro aspecto importante para la preservación de los niveles correspondientes a flujos de detritos en los abanicos, es que el transporte de sea dominado por flujos con altas concentraciones de sedimentos respecto al agua, ya que en el caso de tener menores relaciones sedimento-agua, los flujos resultantes son altamente erosivos y comprometen la preservación de la estratigrafía del abanico. Para el evento de marzo 2015, Cabré *et al.* (2020) reportaron una fuerte incisión en los abanicos consecuencia del ajuste del gradiente del canal principal del abanico al nivel de base local determinado por el río principal. Por lo tanto, la cantidad de agua que se precipite durante tormentas determinará la preservación de los depósitos de flujos cohesivos en los abanicos.

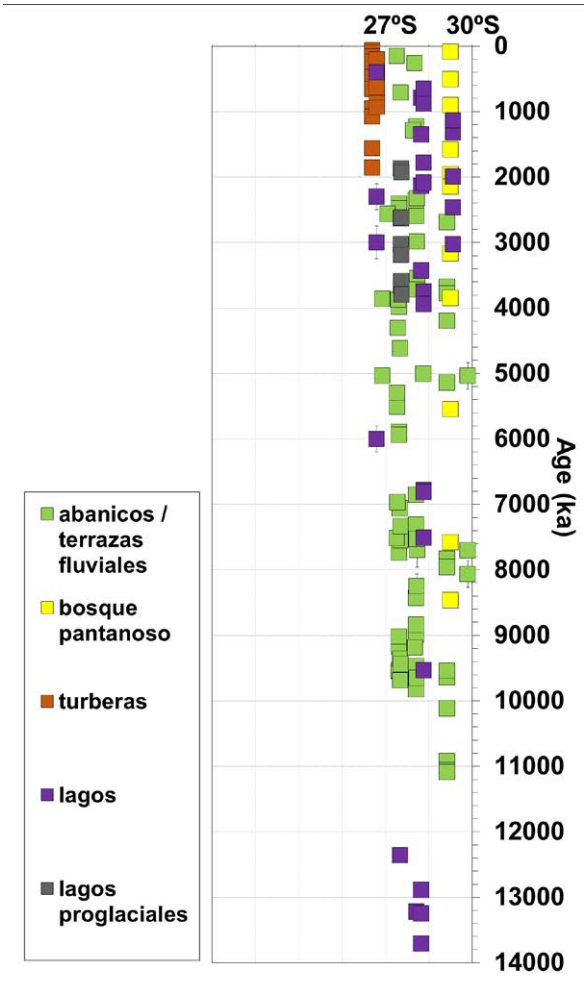


FIGURA 2. Registros paleoclimáticos. Modificado de Cabré (2019).

CONCLUSIONES

El número de capas interpretadas como el resultado de eventos episódicos de alta descarga acuosa, varía entre abanicos. Estas diferencias, tomando las consideraciones presentadas en este trabajo, pueden atribuirse a la heterogeneidad de las tormentas extremas que impactan y han impactado durante el Holoceno esta región de los Andes. Por lo tanto, no todos los procesos de cambio atmosférico afectan el paisaje de manera homogénea. Por lo tanto, es necesario sugerir que la contribución cíclica y periódica de estos cambios atmosféricos se puede identificar en el registro sedimentario de estos valles. Así, las cuencas tributarias con área inferior a 100 km^2 pueden registrar las heterogeneidades en la precipitación excluyendo la necesidad de atribuir estos procesos a cambios climáticos regionales. La posibilidad de caracterizar el Holoceno medio puede resultar fundamental para entender la dinámica futura de estos sistemas fluviales situados en una zona climática dónde se pronostican condiciones de mayor aridez en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

A.C. agradece a CONICYT+PAI/ Concurso nacional de tesis de doctorado en el sector productivo, 2017 Folio (T7817110003) el financiamiento.

REFERENCIAS

Cabré, A., Aguilar, G., Riquelme, R. 2017. Holocene evolution and geochronology of a semiarid fluvial system in the western slope of the Central Andes: AMS ^{14}C data in El Tránsito River Valley, Northern Chile. *Quaternary International*. doi: 10.1016/j.quaint.2017.04.030

Cabré, A. 2019. *The geomorphologic and sedimentologic signature of extreme storm events in the southernmost Atacama Desert. The example of the March 2015 event.* Unpublised PhD tesis, Universidad Católica del Norte, *Antofagasta,* Chile, 176p.

Cabré, A., Aguilar, G., Mather, A.E., Fredes, V., Riquelme, R. 2020. Tributary-junction alluvial fan re-sponse to an ENSO rainfall event at El Huasco river watershed, northern Chile. *Progress in Physical Geography.* doi. org/10.1177/0309133319898994

Grosjean, M., Valero-Garcés, B.L., Geyh, M.A., Messerli, B., Schotterer, U., Schreirer, H., Kelts, K. 1997. Mid- and late-Holocene limnogeology of Laguna del Negro Francisco, northern Chile, and its palaeoclimatic implications. *The Holocene*, 7 (2), 151-159.

Riquelme, R., Rojas, C., Aguilar, G., Flores P., 2011. Late Pleistocene-Early Holocene paraglacial and fluvial sediment history in the Turbio Valley, semiarid Chilean Andes. *Quaternary Research*, 5, 166-175.

Tiner, R.J., Negrini, R.M., Antinao, J. L., McDonald, E. y Maldonado, A. (2018). Geophysical and geochemical constraints on the age and paleoclimate implications of Holocene lacustrine cores from the Andes of central Chile. *Journal of Quaternary Science*, 33(2), 150-165.

Veit, H., 1996. Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and Pedological Studies in the Norte Chico, Northern Chile (27-33ºS). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol*. 123, 107-119.

Niveles ferralíticos en la Formación Asencio (Cretácico superior-Paleoceno): Características principales y significado sedimentario (Sudoeste del Uruguay)

Ferralithic levels in the Asencio Formation (Upper Cretaceous-Paleocene): Main features and sedimentary characteristics (SW Uruguay)

F. Colombo[1], G. Gallastegui[2], C. Goso[3], G Veroslavsky[3], C.U. Veríssimo[4] y K. Amir[5]

1 Dept. Dinámica de la Tierra y del Océano. Facultad de Cinecias de la Tierra. . Universidad de Barcelona. C/ Martí-i-Franquès s/n 08028 Barcelona, España. colombo@ub.edu / 2 Instituto Geológico y Minero de España. Oficina Regional de Asturias. C/ Matemático Pedrayes 25, 1º. 33005 Oviedo, España.g.gallastegui@igme.es / 3 INGEPA Facultad de Ciencias. Universidad de la República. C/ Iguá 4225. 11400 Montevideo, Uruguay. c.goso@fcien.edu.uy; gerardo@fcien.edu.uy / 4 Univ. Federal de Ceará, Fortaleza, Brasil. / 5 Grupo PORONGOS, Montevideo, Uruguay

Palabras clave: Procesos ferralíticos, paleoclimatologia, límite K-T en Amèrica, del Sur, Uruguay

Resumen

La Formación Asencio está constituida de base a techo por los Miembros: El Chileno, Yapeyú y Palacio. La última unidad corresponde al afloramiento principal y se caracteriza por mostrar numerosas cuevas, que tienen una morfología oval con una altura máxima de 2 m y una anchura parecida, delimitada por numerosas estructuras verticales columnares constituidas por agregados pisoliticos ferruginizados. Las estructuras columnares, que se halla rodeadas por lutitas grisáceas ricas en contenido grauváquico y muestran algunas laminaciones horizontales, forman el substrato de una losa de areniscas silíceas rubefactadas. Estas geoformas que también afloran en zonas cercanas (población de Carlos Reyles, sector sureño de la ciudad de Mercedes, barrio de Nuevo Paysandú de la ciudad de Paysandú, etc.) y constituyen una característica propia del Uruguay, han sido objeto de diferentes interpretaciones genéticas. Así, fueron generadas, durante el tránsito K-T, por grandes inundaciones que afectarían a zonas boscosas bajas e implicarían la desaparición de la vegetación. Las morfologías columnares corresponderían a moldes de los troncos rellenos por materiales retrabajados, cuando los troncos originales hubieron desparecido por putrefacción de la madera, mientras que las morfologías casi-cónicas de la parte superior de las columnas fueron originadas por el retrabajamiento acuoso de la parte alta de esos moldes.

Keywords: *Ferralithic processes, paleoclimatology, K-T boundary in South America, Uruguay.*

Abstract

The Asencio Formation is constituted from base to top by the El Chileno, Yapeyú and del Palacio members. The denomination of the last member is ascribed to the presence of numerous caves in the main outcrop. The caves display an oval-like morphology with a maximum height of about 2 m, characterized by numerous columnar-like structures made up of ferruginized pisolithe aggregates. The columnar structures, which are surrounded by whitish greywacke-rich lutitic levels with sparse horizontal-like laminations, form the basement of a siliceous-rich ferritic sandstone level. These geophorms, which crop out in other areas too (Carlos Reyles village, southern sector of the city of Mercedes, Nuevo Paysandú quarter of the city of Paysandú, ...etc.) and constitute a very characteristic feature of Uruguay, have different genetic interpretations. These geophorms, which crop out of silt-rich waters in low-lying forested areas, resulting in the disappearance of the forest. The columns correspond to casts of trunks filled with reworked materials. The conic-like morphologies of the upper parts probably resulted from water-reworked holes. The rotting trunks, the casts of which were subsequently filled with sandstones and ferritic materials, produced these holes.

REFERENCIAS

Alonso-Zarza, A.M., Genise, J.F., Verde, M. 2011. Sedimentology, diagenesis, and ichnology of Cretaceous and Paleogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. *Sedimentary Geology* 236, 45-61.

Goso, C., Guerequiz, A.R., Verde, M., Colombo, F. 1998. Estudio del origen de Las Grutas del Palacio. Fm Asencio (Ks). Dpto. de Flores, Uruguay. *II Congreso Uruguayo de Geología. Punta del Este*, Actas 1, 55-58.

Veroslavsky, G., Martínez, S. 1996. Registros no depositacionales del Paleoceno-Eoceno del Uruguay: nuevo enfoque para viejos problemas. *Revista Universidade de Guarulhos, Série Geociências*, 1(3), 32-41.

Abanicos aluviales telescópicos y lagos temporales en la Quebrada del Río Toro (Salta, Argentina).

Telescopic alluvial fans and temporary lakes in the Quebrada del Río Toro (Salta, Argentina).

F. Colombo[1], J. Salfity[2], R. Marquillas[2]

1 Dept. Dinámica de la Tierra y del Océano. Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad de Barcelona. C/Martí-i-Franquès s/n 08028 Barcelona, España. colombo@ub.edu

2 CONICET y Dept. Geología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Salta. Avda. Buenos Aires 177, 4400 Salta, Argentina.

Palabras clave: abanicos aluviales telescópicos, lagos temporales, Andes, Argentina.

Resumen

A lo largo de la Quebrada del Rio Toro existen numerosas geoformas aterrazadas constituidas por materiales de granulometría gruesa. Se hallan caracterizadas por superficies superiores convexas y son variables en número y en extensión. Solo existen en zonas muy localizadas y son claramente dependientes de la litología del basamento por el que circula el Río Toro. La gran variación en número entre un área y otra indica que el desarrollo de estas geoformas aterrazadas no fue controlado por una causa general sino por causas locales. Éstas corresponderían a variaciones locales del nivel de base. Los materiales de granulometría gruesa que muestran una disposición casi horizontal están intercalados con materiales lutíticos que contienen restos de gasterópodos de agua dulce. Esto sugiere la presencia de cuerpos lacustres temporales a los que llegarían flujos de gravas que se originaron por el desarrollo de abanicos aluviales que se expandieron por el valle fluvial, procedentes de los afluentes principales. Las dataciones absolutas proporcionan edades de unos 26.000yrBP por medio de técnicas ^{14}C (De Grootes Laboratory) que indican que los lagos temporales y los abanicos se generaron sincrónicamente durante el Cuaternario, probablemente a causa del ENSO.

Abstract

The Quebrada del Río Toro displays a number of terrace-like coarse-grained geoforms. They are characterised by convex-up surfaces, vary in number and have a small lateral extension. Thus, they occur only in local areas and depend on the lithology of the geological basement through which the Río Toro flows. The high variation in number, from area to area, indicates that the development that these terrace-like geoforms was not controlled by a general triggering effect, but by local factors. These are the local variations in base level. The coarse-grained materials, which often display horizontal-like general outcrops, are interfingered with fine-grained lutitic materials. Because these materials display remnants of fresh-water gastropoda, it may be assumed that they accumulated in a lacustrine-like sedimentary environment. These resulted in a number of alluvial fans that spreaded from lateral creeks occupying the all valley, generating natural dams that gave rise to temporary lakes. The absolute datings about 26,000yrBP by means of ^{14}C procedures (De Grootes Laboratory) suggest that the development of the alluvial fans and temporary lakes were produced along the Quaternary by ENSO effects.

REFERENCIAS

Colombo, F. (2005). Telescopic-like Quaternary alluvial fans along the Andean Cordillera, Argentina. In, Alluvial fans processes and products (Harvey *et al.*, eds.). *Geological Society, London. Spec. Publ.* 251: 38-64. London.

Colombo el al., (2009). Holocene intramontane lake development: A new model of the Jáchal River Valley, Andean Precordillera, San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 28, 229-238.

Hilley, G.E., Strecker, M.R. (2005). Processes of oscillatory basin filling and excavation in a tectonically active orogen: Quebrada del Toro Basin, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 117,887-901.

Marrett, R., Strecker, M.R. (2000). Response of intracontinental deformation in the central Andes to late Cenozoic reorganization of South America Plate motions. *Tectonics* 19, 452-467.

La Serie Oriental del río Maule (Constitución, Chile): Estructura y metamorfismo.

The Eastern Series of the Maule River (Constitución, Chile): Structure and metamorphism.

J. García-Sansegundo[1], A. Rubio-Ordóñez[1], N. Heredia[2], J. Santos-Martínez[1], C. Palape[3], A. Cuesta[1], P. Farias[1], G. Gallastegui[2], O. García-Moreno[1], F. Martín-González[4] y T. Hyppolito[5]

1 Departamento de Geología Universidad de Oviedo (España). C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005 Oviedo. jgsansegundo@uniovi.es, rubioalvaro@uniovi.es, jenny.santos.martinez@gmail.com, acuesta@geol.uniovi.es, pfarias@geol.uniovi.es, garciaolga@uniovi.es
2 Instituto Geológico y Minero de España (España), c/Matemático Pedrayes 25. 33005 Oviedo, España. n.heredia@igme.es, g.gallastegui@igme.es
3 Universidad de Chile (Santiago, Chile). cpalapereyes@gmail.com
4 Universidad Rey Juan Carlos (Madrid, España). fidel.martin@urjc.es
5 Universidade de São Paulo (Brasil). thahyppolito@gmail.com

Palabras clave: Andes, Cordillera de la Costa, Orogenia Gondwánica.

Resumen

Durante Carbonífero Superior-Pérmico Inferior, el basamento de la Cordillera de la Costa fue deformado por la Orogenia Gondwánica, causada por la subducción de la placa paleo-Pacífica bajo Gondwana. En el sector del Maule (35ºS), se distinguen: (i) la Serie Occidental (metapelitas de un prisma de acreción exhumado) y la Serie Oriental (metasedimentos de una cuenca de forearc). Se han diferenciado tres episodios de deformación Gondwánica afectando a ambas series:

- D1: en la Serie Occidental consiste en una foliación *(S1) des*arrollada bajo condiciones HP-LT, mientras que en la Oriental comprende a pliegues vergentes al E, con la S_1 asociada y desarrollada en condiciones metamórficas de bajo grado.

- D2 (episodio principal): Se caracteriza por cabalgamientos y pliegues vergentes al E, con la foliación regional S_2 asociada. Las estructuras D_2 se encuentran progresivamente mejor desarrolladas hacia el O.

- D3: pliegues abiertos de dirección N-S.

El salto metamórfico entre ambas series durante la D1 y el aumento del gradiente de la deformación D2 hacia el Oeste, se ha interpretado como debido al cabalgamiento de la Serie Occidental sobre la Oriental durante la D2, lo que produjo una interrupción de la subducción, posiblemente a causa de la llegada a la trinchera de un relieve submarino.

Abstract

During the Upper Carboniferous - Lower Permian, the basement of the Cordillera de la Costa was deformed by the Gondwanan Orogeny, developed by the subduction of the Paleo-Pacific plate under Gondwana. In the Maule sector (35ºS), the following rocks are distinguished: (i) the Western Series (metapelites from an exhumed accretion prism) and the Eastern Series (metasediments of a forearc basin). Three episodes of Gondwanic deformation that affect both series have been distinguished:

- D1: In the Western Series it consists of a foliation (S1) developed under HP-LT conditions, while in the Oriental it comprises east-verging folds, with the S1 associated and developed in low grade metamorphic conditions.

- D2 (main episode): It is characterized by thrusts and east-verging folds, with the associated regional foliation (S2). D2 structures are progressively better developed towards the West.

- D3: N-S open folds.

The metamorphic jump between both series during D1 and the increase in the strain gradient D2 towards the West, has been interpreted as due to the overthrusting of the Western Series over the Eastern Series during D2, which caused a subduction interruption, possibly because of the arrival in the trench of an underwater relief.

Evolución del plutonismo del Arco Mocoa-Santa Marta durante el Jurásico Temprano - Medio, en la margen noroccidental del basamento Neo-proterozoico del Norte de los Andes, Colombia.

Evolution of the Mocoa-Santa Marta Arc plutonism during the Early-Middle Jurassic, on the northwestern margin of the Neo-Proterozoic basement of the Northern Andes, Colombia.

G. Rodríguez-García[1*], A.M. Correa-Martínez[1], J.P. Zapata[1], D.A. Ramírez[1] y G. Obando[1]

1 Grupo de Estudios Geológicos Especiales, Servicio Geológico Colombiano, Medellín, Colombia.
(*) grodriguez@sgc.gov.co; amcorrea@sgc.gov.co; jpzapata@sgc.gov.co; dramirezs@sgc.gov.co; gobando@sgc.gov.co

Palabras clave: Magmatismo Jurásico; geocronología U-Pb; Colombia; Terreno Chibcha.

Resumen

El Arco Mocoa-Santa Marta (AMSM) aflora a lo largo de los Andes de Colombia en el Valle Superior del Magdalena, la Serranía de San Lucas, la Sierra Nevada de Santa Marta y la Alta Guajira y se extiende al sur en Ecuador. Este arco se emplazó en la paleo-margen occidental del continente sobre el basamento Neo-Proterozoico y un arco pérmico. El plutonismo del AMSM tiene migración mineralógica en sentido W-E, con cuarzomonzonitas, monzonitas, charnoquitas, tonalitas y granodioritas en la parte occidental y monzogranitos y sienogranitos en la oriental y migración química por enriquecimiento en SiO_2 en sentido S-N. Corresponden a granitoides Tipo I, calco-alcalinos con leve variación a alcalino cálcicos. La temperatura de cristalización del circón (TzircTi) para el conjunto de plutones occidentales presenta un pico a 860ºC, mientras que las temperaturas de los orientales muestran picos a 714ºC, 807ºC y 854ºC. Los plutones cristalizaron entre el Jurásico Temprano (~193 Ma) y el Jurásico Medio (~164 Ma), durante al menos cuatro eventos de cristalización. Los plutones más antiguos y occidentales son mayoritariamente metaluminosos y los más jóvenes y orientales son peraluminosos, todos ellos formados dentro del mismo contexto de evolución magmática de un arco de margen continental erosiva con vulcanismo asociado.

Abstract

The Mocoa-Santa Marta Arc (AMSM) exposes in the Colombian Andes along the Upper Magdalena Valley, Serrania de San Lucas, Sierra Nevada de Santa Marta and Alta Guajira; and extends into Ecuador. This arc emplaced in the western paleo continental margin of a Neoproterozoic - Permian basement. The plutonism of the AMSM exhibits W-E mineralogical migration, in which quartz-monzonite, monzonite, charnockite, tonalite and granodiorite rocks crop out in the western part, and monzogranite and syenogranite rocks in the eastern part. In addition, chemical migration by enrichment of SiO_2 is observed in S-N direction. These correspond to I-Type calc-alkaline, with slight variations to alkali-calcic, granitoids. The crystallization temperature of zircon (TzircTi) for the western plutons shows one peak at 860°C, while the eastern plutons show peaks at 714°C, 807°C and 854°C. These rocks crystallized between the Early Jurassic (~193 Ma) and Middle Jurassic (~164 Ma) during at least four crystallization events. The older western plutons are mostly metaluminous, and the younger eastern plutons are peraluminous. All these formed within the same magmatic setting constituted by an erosive continental margin arc with associated volcanism.

Evolución geodinámica del basamento paleozoico de los Andes Norpatagónicos

Geodynamic evolution of the paleozoic basement from Northpatagonian Andes

S. Serra-Varela[1,2], N. Heredia[3], R. Giacosa[1,4], J. García-Sansegundo[5] y P. Farias[5]

1 Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Investigaciones en Paleobiología y Geología. Av. Roca 1242, 8332, General Roca, Río Negro, Argentina. ssvarela@unrn.edu.ar
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
3 Instituto Geológico y Minero de España, c/Matemático Pedrayes 25. 33005 Oviedo, España. n.heredia@igme.es
4 Servicio Geológico y Minero Argentino, Delegación Comahue, Independencia 1495, General Roca, Río Negro, Argentina. 8332. giacosaraul@yahoo.com.ar
5 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, c/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España. jgsansegundo@uniovi.es, pfarias@geol.uniovi.es

Resumen: En los Andes Norpatagónicos es conocida la existencia de rocas metamórficas e ígneas de edad paleozoica. Debido a la discontinuidad de los afloramientos y sus similitudes litológicas, en una primera instancia se agrupó a todas las rocas metamórficas de este sector en una misma unidad y se estableció una edad similar para todas ellas en base a correlaciones litológicas y algunas edades conocidas. Mapeos geológico-estructurales y estudios geocronológicos posteriores realizados sobre estas unidades establecieron que dichas rocas se formaron en dos eventos orogénicos diferentes. El más antiguo correspondería al Paleozoico inferior (Orógeno Famatiniano) y el otro al Paleozoico superior (Orógeno Gondwánico). Por el momento, las únicas rocas que evidencian la presencia de un orógeno en el Paleozoico inferior se encuentran en la zona de San Martín de los Andes mientras que en el resto de los Andes Norpatagónicos solo registran el evento orogénico del Paleozoico superior.

Palabras clave: Orogenia Famatiniana; Orogenia Gondwánica; Paleozoico; Andes Norpatagónicos

Abstract: *The presence of paleozoic metamorphic and igneous rocks is well known along the North Patagonian Andes. Due to the discontinuity of the outcrops and their lithological similarities, metamorphic rocks were grouped under the same litostratigraphic unit. Moreover, similar ages were assigned to this rocks based on a correlation of well-known ages in different places. Posterior studies based on geological and structural mapping and geochronological studies stablished the presence of two orogenic events for the formation of these basement rocks. The oldest one related to a lower Paleozoic event (Famatinian orogeny) and the other one to an upper Paleozoic event (Gondwanan orogeny). So far, the metamorphic rocks that register the lower Paleozoic orogeny are the ones found in San Martín de los Andes area while the other rocks in North Patagonian Andes register the upper Paleozoic orogenic event.*

Keywords: *Famatinian orogeny; Gondwanan orogeny; Paleozoic; North Patagonian Andes*

INTRODUCCIÓN

Los Andes Norpatagónicos se extienden alrededor de 500 km entre los 39° S y los 43° S, abarcando tres provincias de Argentina (Neuquén, Río Negro y Chubut). En este sector el basamento ígneo-metamórfico aflora de manera aislada y discontinua, lo cual dificulta el estudio de estas rocas y las correlaciones entre ellas. Los principales afloramientos en esta región se ubican en las zonas de Aluminé, San Martín de los Andes, Bariloche, El Maitén y Esquel (Fig. 1). Sin embargo, rocas atribuidas a las mismas unidades aflorantes en los Andes Norpatagónicos se ubican también en la zona extra-Andina, con sus principales afloramientos en las localidades de Cushamen, Río Chico y Piedra del Águila como localidades más importantes (Fig. 1).

A lo largo de los años, diversos autores establecieron diferentes criterios para agrupar al basamento ígneo-metamórfico aflorante en los Andes Norpatagónicos. Los primeros análisis de estas rocas separaron distintas unidades para el basamento ígneo-metamórfico en base a sus características litológicas y, siguiendo un criterio geográfico. De esta manera, rocas metamórficas de alto grado de la zona Andina fueron agrupadas en una misma unidad litoestratigráfica mientras que rocas de grado medio de la zona extra-Andina fueron agrupadas en otra unidad diferente.

Sin embargo, nuevos estudios sobre estas rocas dan cuenta de diferencias temporales en la formación y deformación de las mismas, indicando que formarían parte de dos ciclos orogénicos paleozoicos distintos: el Famatiniano y el Gondwánico (Fig. 2).

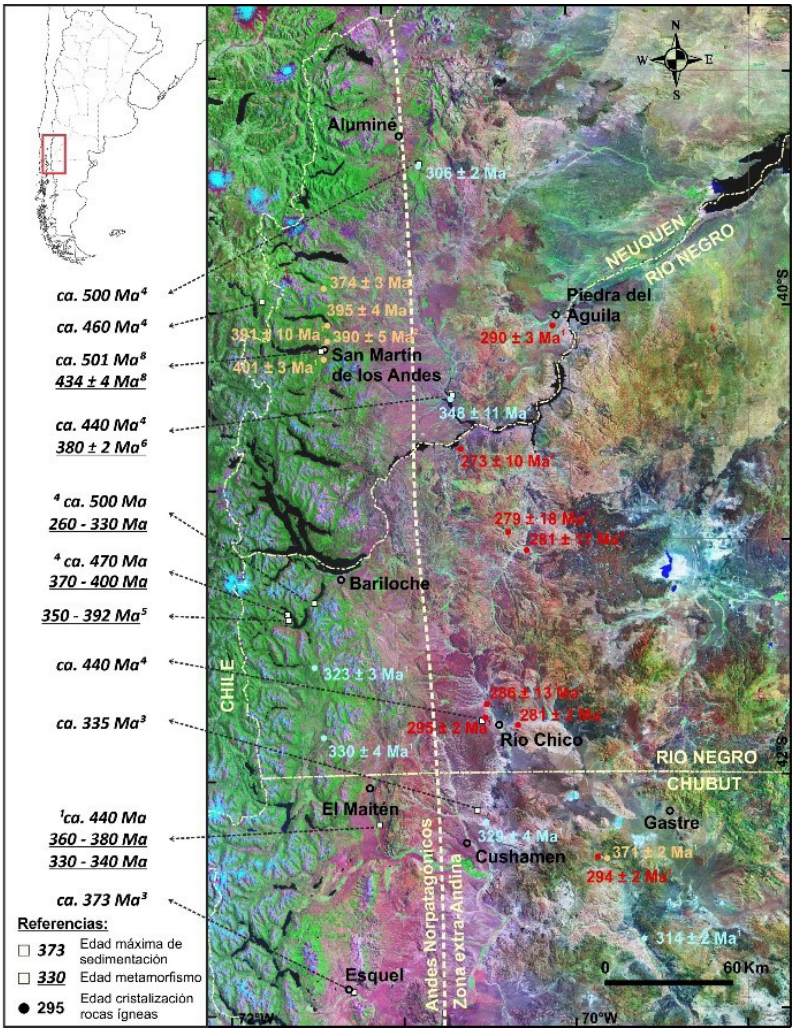


FIGURA 1. Esquema de situación y de edades de las rocas paleozoicas. [1]Pankhurst *et al.* (2006); [2]Varela *et al.* (2005); [3]Hervé *et al.* (2005); [4]Hervé *et al.* (2018); [5]Martínez *et al.* (2012); [6]Lucassen *et al.*, (2004); [7]Hervé *et al.*, (2016); [8]Serra-Varela *et al.*, (2019). Rocas ígneas devónicas (naranja), carboníferas (azul) y pérmicas (rojo).

MARCO GEOLÓGICO

Las rocas paleozoicas que afloran en esta porción de los Andes son metamórficas, de distinto grado y sus protolitos son ígneos y sedimentarios. Las más antiguas corresponden a las rocas metamórficas de la zona de San Martín de los Andes (Fig. 1). Estas rocas presentan un metamorfismo de alto grado, con desarrollo de hasta tres foliaciones tectónicas, relacionadas con estructuras que tienen una vergencia predominante hacia el O-SO. La edad máxima de sedimentación de sus protolitos ha sido asignada al Cámbrico superior (Serra-Varela *et al.*, 2019). Además, la edad del proceso de fusión parcial que las ha afectado y que es posterior al desarrollo de la segunda foliación, ha sido acotada al Silúrico inferior (ca. 434 Ma; Serra-Varela *et al.*, 2019).

En la zona de Bariloche (Fig. 1) se definió una evolución metamórfica que habría pasado por tres etapas diferentes. La primera etapa correspondería a condiciones de alta presion-baja temperatura y la última culmina con un evento anatéctico en condiciones de baja presión-alta temperatura (García-Sansegundo *et al.*, 2009). Las estructuras relacionadas con este metamorfismo tienen, según estos autores, una vergencia generalizada hacia el NE. Recientemente, edades máximas de sedimentación para estas rocas han sido asignadas entre 500 y 470 Ma (Hervé *et al.*, 2019) aunque su metamorfismo está relacionado a eventos tectónicos ocurridos entre el Devónico y el Carbonífero superior (García-Sansegundo *et al.*, 2009; Hervé *et al.*, 2018).

Para la zona de El Maitén, Esquel y la zona extra-Andina, se registran edades de sedimentación entre el Silúrico y Carbonífero, con edades de metamorfismo en el Paleozoico superior (Pankhurst *et al.*, 2006; Hervé *et al.*, 2018). Así, en la zona de El Maitén, Pankhurst *et al.*, (2006) registra en anillos de circones detríticos dos eventos metamórficos de 360-380 Ma y 330-340 Ma. El primer grupo, coincidente con edades de metamorfismo registradas en titanitas para la zona cercana a Piedra del Águila (Lucassen *et al.*, 2004) y ambos grupos de edades coincidentes con las edades de metamorfismo registradas en la zona de Bariloche (Fig. 1).

Intruyendo en las unidades metamórficas anteriormente mencionadas, se encuentran diferentes rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas de composición predominantemente granítica-granodiorítica las cuales pueden agruparse por

edad en tres grupos principales para el Paleozoico: Devónico, Carbonífero inferior y superior y Pérmico (Hervé *et al.* 2016; Pankhurst *et al.*, 2006; Varela *et al.*, 2005; Figs. 1 y 2).

EVOLUCIÓN GEODINÁMICA

Las rocas ígneas y metamórficas de los Andes Norpatagónicos evidencian la presencia de dos ciclos orogénicos paleozoicos (Heredia *et al.*, 2016) como el ciclo Famatiniano de la Patagonia (Cámbrico-Silúrico) y el ciclo Gondwánico (Silúrico-Pérmico inferior) (Fig. 2).

El primero de ellos sería exclusivo del Paleozoico inferior y se encuentra representado por las rocas metamórficas de alto grado de la zona de San Martín de los Andes. Estas rocas corresponden al evento de deformación y metamorfismo más antiguo hallado en los Andes Norpatagónicos. La edad de este evento se encontraría acotada por la edad del proceso de fusión parcial que afecta dicha unidad (*ca.* 434 Ma. Llandovery; Serra-Varela *et al.*, 2019) y por el depósito de series discordantes de edad Wenlock en el sector extra-Andino. De esta manera, los protolitos de estas rocas representan una secuencia pre-orogénica (Fig. 2), con edades de sedimentación en el Cámbrico superior-Ordovícico inferior (Serra-Varela *et al.*, 2019; Hervé *et al.*, 2018). Un evento orogénico de esta edad es descrito por Heredia *et al.* (2016) como un resultado de la acreción de un fragmento continental al margen suroeste de Gondwana, denominado Patagonia Occidental. De este evento se desconocen sus sedimentos sinorogénicos. Sin embargo, existen rocas metamórficas en la región de Bariloche con protolitos cuyas edades de sedimentación coinciden con las de la secuencia pre-orogénica pero no registran la deformación famatiniana. En este caso, esta diferencia podría deberse a la posible disposición de las cuencas que contenían estas rocas en el margen SO de la Patagonia Occidental, el más alejado de la colisión. De esta manera, la secuencia que registra la deformación del Paleozoico inferior tuvo que haber estado en las zonas internas de la rama occidental del Orógeno Famatiniano, mientras que la secuencia que no la registra se habría situado en su antepaís.

Posteriormente, en la zona andina se produce la intrusión de grandes volúmenes de rocas plutónicas de edad fundamentalmente Devónica (Fig. 1 y 2), las cuales presentan una signatura de arco en este sector que se extiende hasta el Carbonífero inferior (Fig. 2). Estas rocas representan el magmatismo generado por una zona de subducción que se instala en el nuevo margen de gondwana (subducción gondwánica), la cual da lugar a un orógeno de Tipo Andino a partir del Devónico Medio (Fig. 2). Estas rocas intrusivas cortan todas las estructuras del basamento metamórfico del Paleozoico inferior, que aparece en ocasiones como *roof pendants* con contactos netos y bien definidos. Asimismo, existen rocas metamórficas en la zona Andina y extra-Andina que registran un metamorfismo progrado de edad devónica–carbonífera inferior las cuales se estarían deformando y metamorfizando entre los 370 y 390 Ma en relación con este orógeno de Tipo Andino. Este metamorfismo ha sido registrado en monacitas, titanitas y anillos metamórficos en circones detríticos (Pankhurst *et al.*, 2006; Lucassen *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2012; Hervé *et al.*, 2018). Además, en la zona de Piedra del Águila estas rocas metamórficas se encuentran intruidas por granitoides de 348 Ma. (Varela *et al.*, 2005).

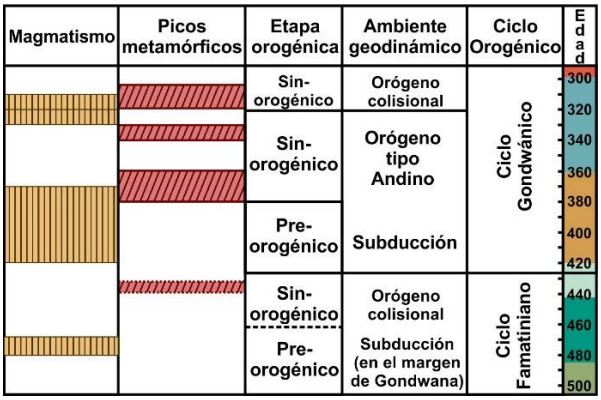


FIGURA 2. Correlación de los diferentes eventos geológicos de los Andes Norpatagónicos.

La sedimentación contemporánea a la Orogenia Gondwánica de subducción puede encontrarse como protolitos de rocas metamórficas de grado bajo y medio en las zonas de Esquel y Cushamen (edad máxima de sedimentación 373 Ma.; Hervé *et al.*, 2005) y tuvo lugar en cuencas de antepaís de retroarco (Fig. 2).

Durante el Carbonífero temprano el arco magmático migra al oeste y, relacionado a este arco se genera un metamorfismo con edades entre 330 y 320 Ma. (Pankhurst *et al.*, 2006; Hervé *et al.*, 2018). Durante este período de tiempo, las rocas de los Andes argentinos (Esquel y Cushamen) se depositaron en una posición de retroarco mientras que las denominadas en la costa de Chile como series Oriental y Occidental se depositarían en una posición de antearco. La Serie Occidental, junto con las rocas del Paleozoico inferior del antepaís famatiniano, formaría parte ahora del prisma de acreción gondwánico, donde habría comenzado a metamorfizarse en condiciones de alta presión y baja temperatura, al entrar ambas en la zona de subducción.

En el Carbonífero superior se produce la colisión de un fragmento continental en el margen de Gondwana, descrito por Heredia *et al.* (2016) como Antártida Occidental, lo cual da inicio a la fase colisional del Orógeno Gondwánico que se prolonga hasta el Pérmico inferior. Este evento habría producido la exhumación y el transporte tectónico de unidades de HP-LT del prisma de acreción cientos de kilómetros al noreste, como en la zona de Bariloche (García-Sansegundo *et al.*, 2009) (Fig. 1). Fuera del área de Bariloche, el evento metamórfico relacionado con esta colisión habría ocurrido en condiciones de bajo grado, generando zonas de cizallas discretas desarrolladas en condiciones dúctiles-frágiles de la corteza. (Serra-Varela *et al.*, 2019). De esta manera, el orógeno Gondwánico en los Andes Norpatagónicos es parte de las zonas internas de la rama oriental de este orógeno, la cual tiene una vergencia tectónica generalizada hacia el NE (Heredia *et al.*, 2016).

Contemporáneamente con el desarrollo de esta orogenia colisional se desarrollan cuencas de antepaís periféricas. Esta sedimentación se apoya mediante una discordancia angular sobre rocas más antiguas y presenta conglomerados que contienen clastos de rocas plutónicas del arco magmático Devónico-Carbonífero inferior, lo cual indica la exposición subaérea de éste. Finalmente, la intrusión de granitos postorogénicos de ca. 295 Ma marcan el fin de la orogenia Gondwánica (Pankhurst *et al.*, 2006, Heredia *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

1. Existen dos eventos orogénicos paleozoicos en los Andes Norpatagónicos. El primero del Paleozoico inferior y el segundo del Paleozoico superior, que se corresponden con los ciclos Famatiniano y Gondwánico repectivamente.

2. La sedimentación Cambro-Ordovícica se corresponde con la secuencia pre-orogénica famatiniana, representada por las rocas metamórficas de alto grado aflorantes en la zona de San Martín de los Andes.

3. El evento orogénico que generó el metamorfismo de alto grado de la zona de San Martín de los Andes está ligado a una colisión, donde el clímax metamórfico ocurre en el Silúrico inferior, donde dichas rocas alcanzan la fusión parcial.

4. Rocas ígneas intrusivas del Devónico que cortan las rocas metamórficas famatinianas se encuentra bien representadas en la zona de San Martín de los Andes. Representan el arco magmático gondwánico que migró al O en el Carbonífero inferior. Un primer evento metamórfico prógrado de esta edad y relacionado con dicho arco magmático se registra en las rocas metamórficas de Bariloche, El Maitén y también en la zona extra-Andina.

5. El orógeno Gondwánico estaría dividido en dos etapas: La primera es de subducción con edad Devónico Medio-Carbonífero inferior y es contemporáneo con el desarrollo del arco magmático. En las partes más externas tuvo lugar el metamorfismo anteriormente mencionado, mientras que en el prisma de acreción basal el metamorfismo se desarrolló en condiciones de alta presión-baja temperatura (HP-LT). En el Carbonífero superior se habría producido una nueva colisión, dando lugar a una orogenia que finaliza en el Pérmico inferior, cuando se intruyen granitos postorogénicos de ca. 295 Ma. El metamorfismo se desarrolló en condiciones de menor presión y culminó con un evento anatéctico de baja presión-alta temperatura. Durante dicha orogenia, las rocas de HP-LT fueron transportadas cientos de kilómetros hacia el NE.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TORANDES (CGL2012-38396-C03) del Plan Nacional de I+D+i.

REFERENCIAS

García-Sansegundo, J., Farias, P., Gallastegui, G., Giacosa, R.E., Heredia, N. (2009): Structure and metamorphism of the Gondwanan basement in the Bariloche region (North Patagonian Argentine Andes). *International Journal of Earth Sciences,* 98: 1599–1608.

Heredia, N., García-Sansegundo, J., Gallastegui, G., Farias, P., Giacosa, R.E., Alonso, J.L., Busquets, P., Charrier, R., Clariana, P., Colombo, F., Cuesta, A., Gallastegui, J., Giambiagi, L., González-Menéndez, L., Limarino, C.O., Martín-González, F., Pedreira, D., Quintana, L., Rodríguez Fernández, L.R., Rubio-Ordóñez, A., Seggiaro, R., Serra-Varela, S., Spalletti, L.A., Cardó, R., Ramos, V.A. (2016). Evolución geodinámica de los Andes de Argentina, Chile y la Península Antártica durante el Neoproterozoico superior y el Paleozoico. *Trabajos de Geología* 36: 237–278.

Hervé, F., Haller, M., Duhart, P., Fanning, C.M. (2005). SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons from Cushamen and Esquel Formations, North Patagonian Massif, Argentina: Geological implications. En: *16° Congreso Geológico Argentino*.

Hervé, F., Calderon, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Fuentes, F., Rapela, C.W., Correa, J., Quezada, P., Marambio, C. (2016). Devonian magmatism in the accretionary complex of southern Chile. *Journal of the Geological Society,* 173: 587–602.

Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Quezada, P. (2018). The country rocks of Devonian magmatism in the North Patagonian Massif and Chaitenia. *Andean Geology,* 45: 301–317.

Lucassen, F., Trumbull, R., Franz, G., Creixell, C., Vasquez, P., Romer, R.L., Figueroa, O. (2004). Distinguishing crustal recycling and juvenile additions at active continental margins: The Paleozoic to recent compositional evolution of the Chilean Pacific margin (36-41°S). *Journal of South American Earth Sciences*, 17: 103–119.

Martínez, J.C., Dristas, J., Massonne, H.J. (2012). Palaeozoic accretion of the microcontinent Chilenia, North Patagonian Andes: high-pressure metamorphism and subsequent thermal relaxation. *International Geology Review*, 54: 472–490

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., Márquez, M. (2006). Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews*, 76: 235–257.

Serra-Varela, S., González, P.D., Giacosa, R.E., Heredia, N., Pedreira, D., Martín-González, F., Sato, A.M. (2019). Evolution of the Palaeozoic basement of the Northpatagonian Andes in the San Martín de los Andes area (Neuquén, Argentina): Petrology, age and correlations. *Andean Geology*, 46: 102–130.

Varela, R., Basei, M.A.S., Cingolani, C.A., Passarelli, C.R. (2005). El basamento cristalino de los Andes norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geologica de Chile*, 32: 167–187.

Estilos estructurales en el frente Andino Peruano.

Structural Styles of the Andean front in Peru.

G. Zamora[1], M. Louterbach[2], P. Arriola[3]

1 Repsol Exploración, C/ Méndez Álvaro 44, 28045 Madrid, Spain. gzamorav@repsol.com
2 Repsol Services. 2455 Technology Forest Blvd. The Woodlands, Texas 77381. EEUU.
3 Independent consultant Peru.

Palabras clave: Subandino Peruano, Estilos estructurales, Piel gruesa, Piel fina.

Resumen

La historia Cenozoica y levantamiento del subandino Peruano están relacionados con la subducción de la placa de Nazca, la cual ha gobernado la evolución de los Andes centrales y el desarrollo de las cuencas sedimentarias. Los estilos estructurales varían desde estructuras relacionadas con deformación salina a estructuras de piel gruesa y piel fina (*e.g.* Zamora *et al.*, 2019). Pese a tener una historia paleozoica común en la evolución de las cuenca, las diferencias en el Paleozoico superior-Mesozoico inferior han ejercido un control en la posterior evolución estructural del subandino. Una extensión generalizada en el Triásico Medio-Superior afectó al norte de Perú, individualizando una serie de grabenes y hemigrabenes (*e.g.* Zamora and Gil., 2018). Subsidencia térmica durante el Jurásico-Cretácico Inferior controló el depósito de secuencias evaporíticas que han actuado como despegues efectivos transfiriendo la deformación de piel gruesa a la secuencia Meso-Cenozoica mediante cabalgamientos de piel fina. Por el contrario la región sur del subandino peruano no sufrió la extensión triásica y conserva la secuencia Paleozoico prácticamente completa. Durante la compresión miocena, los depósitos arcillosos del Ordovício-Silúrico actuaron como nivel de despegue dando lugar a un sistema de cabalgamientos de piel fina.

Abstract

Cenozoic history and linked mountain building of the Peruvian Subandean are genetically related to the subduction of the Nazca Plate. This convergent event governed the construction of Central Andes and the development of sedimentary basins. The structural styles observed varied from salt tectonics related structures to thin- and thick-skinned structures (e.g. Zamora et al., 2019). Despite the common Paleozoic history of basin evolution, variation in late Paleozoic–early Mesozoic evolution have exerted a strong control on the structural styles. Middle–Late Triassic extension affected the northern region bounding a suite of grabens and half-grabens (e.g. Zamora and Gil., 2018). Late Jurassic-Early Cretaceous thermal subsidence controlled the deposition of Mesozoic evaporitic sequences. These sequences acted as effective detachments and transferred the basement inversion thick-skinned shortening eastward onto the thin-skinned thrust fault during Andean deformation. The southern Sub-Andean Zone, practically unaffected by the Middle–Late Triassic extension, preserves a continuous Paleozoic sequence. Late Miocene to Present Day contraction detached at the top of the Ordovician-Silurian section producing thin-skinned thrust-fault-related folds.

Referencias

Zamora, G., & Gil, W., (2018). The Marañón Basin: tectonic evolution and paleogeography. In G. Zamora, K. R. McClay & V. A. Ramos, eds., *Petroleum Basins and Hydrocarbon Potential of the Andes of Perú and Bolivia, AAPG*, Memoir 117, p. 117-140.

Zamora, G., Louterbach, M., y Arriola, P., (2019). Structural controls along the Peruvian Subandes. Horton, B., and Folguera, A., eds., *Andean Tectonics*,. p. 333-362.

Proyecto IGCP 639 "Sea Level Change from Minutes to Millennia"

Project IGCP 639 "Sea Level Change from Minutes to Millenia"

R. González-Villanueva[1] y E. Guisado-Pintado[2]

1 Dpto. Geociencias Marinas y OT, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Vigo, Campus Lagoas Marcosende s/n 36210 Vigo, ritagonzalez@uvigo.es
2 Dpto. Geografía Física y AGR, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. c/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla, eguisado@us.es

Palabras clave: cambios nivel del mar, IGCP, geomorfología, eventos extremos, GTE639.

Resumen

En 2016 se inicia el Proyecto IGCP 639, como continuación de anteriores proyectos ligados a "Cambios del nivel del mar" y vinculados con el Comité Español del PICG. Con el objetivo de dar estabilidad al Grupo de Trabajo Español (GTE), en 2017 se formaliza el GTE639 actualmente constituido por 80 miembros de 39 universidades y centros de investigación españoles. El objetivo del Proyecto es la identificación de cambios en registros históricos costeros que ayuden a discernir la dinámica y vulnerabilidad de la costa, así como el efecto debido a posibles impactos humanos, a diferentes escalas temporales. En este sentido, las acciones se han centrado en la búsqueda de huellas de eventos extremos (tsunamis, tormentas) y de cambios en el nivel del mar. Durante estos 3 años se han desarrollado numerosas actividades relacionadas con el apoyo y la organización de congresos y reuniones científicas. Cabe señalar, la internacionalización del grupo participando activamente en las reuniones anuales del proyecto, Oman (2016), Sudáfrica (2017), Italia (2018), China (2019); así como su actuación en el *European Geosciences Union* durante el 2018 y 2019 patrocinando las sesiones "*Geological records of extreme wave events*" y "*Coastal morphodynamics: nearshore, beach and dunes*"; y en el *20th INQUA Congress* (Dublin, 2019) siendo sponsor de la sesiones "*Sea-level changes from minutes to millennia*" y "*The sedimentary record of tsunamis and storm*". A nivel nacional destaca la participación del GTE 639 en la organización y comité científico de las IX y X Jornadas de Geomorfología Litoral (2017 y 2019). Enfatizar que el GTE aporta una amplia producción científica con más de 20 artículos publicados en la temática de cambios en el nivel del mar, eventos extremos y geomorfología costera. El GTE 639 es un grupo abierto, interdisciplinar y dinámico que busca favorecer los vínculos con otros grupos para colaboraciones e investigaciones conjuntas, manteniendo activa una red de investigadores relacionados con el estudio de cambios en el nivel del mar y eventos extremos en la costa, así como impulsando la participación de jóvenes investigadores en las diversas actividades del proyecto.

Abstract

IGCP 639 Project began in 2016, as a continuation of preceding projects related to "Changes in sea level" and linked to the Spanish National IGCP Committee. In 2017 the Spanish Working Group 639 (SWG639) became official to give stability to SWG; it is composed of 80 members from 39 Spanish universities and research centers. The purposes of the project are the identification of changes in historical coastal records and extreme events that helps to enlighten the dynamics and vulnerability of the coast, and the effect due to possible human impacts at different time scales. During these 3 years, numerous activities such as the support and organization of scientific meetings have been developed. It should be highlighted, the internationalization of the group, with an active participation in the annual meetings of the IGCP639 (from Oman 2016 to China 2019); as well as its involvement in the European Geosciences Union (2018, 2019) and at the 20th INQUA Congress (Dublin 2019). At national level, it should be noted the participation of the SWG639 in the IX and X Coastal Geomorphology Simposium. The SWG has contributed with more than 20 articles published on the topics dealing with changes in sea level, extreme events and coastal geomorphology. The SWG639 is an open, interdisciplinary, dynamic group that seeks to favor links with other groups for collaborations, keeping active a network of researchers, as well as promoting the participation of young researchers in the various activities of the project.

S4SLIDE – IGCP-640. Deslizamientos subacuáticos a lo largo de los Márgenes Continentales del mundo

S4SLIDE – IGCP-640. Subaqueous Landslides across the World's Continental Margins

R. León[1], B. Alonso[2], D. Casas[2], J. Chaytor[3], G. Ercilla[2], S. Krastel[4], J. Llopart[2], A. Micallef[5], L. Moscardelli[6], D.C. Mosher[7], J. Mountjoy[8], M. Strasser[9], R. Urgeles[2], M. Vanneste[10] y J.T. Vazquez[11]

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 28003 Madrid, Spain. r.leon@igme.es
2 Institut de Ciències del Mar (CSIC), 08003 Barcelona, Spain. urgeles@icm.csic.es, belen@icm.csic.es, gemma@icm.csic.es, llopart@icm.csic.es, davidcasas@icm.csic.es.
3 U.S. Geological Survey, Woods Hole MA 02543, USA. jchaytor@usgs.gov
4 Institute of Geosciences, Kiel University, 24098 Kiel, Germany. skrastel@geophysik.uni-kiel.de
5 University of Malta, Msida MSD 2080, Malta. aaron.micallef@um.edu.mt
6 University of Texas, Austin TX 78712-1692, USA. lorena.moscardelli@utexas.edu
7 University of New Hampshire, Durham NH 03824, USA. dmosher@ccom.unh.edu
8 National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Wellington 6241, New Zealand. Joshu.Mountjoy@niwa.co.nz
9 Universität Innsbruck, 6020 Innsbruck, Austria. Michael.Strasser@uibk.ac.at
10 Norwegian Geotechnical Institute, N-0855 Oslo, Norway. maarten.vanneste@ngi.no
11 Instituto Español de Oceanografía (IEO), 29640, Fuengirola, Málaga, Spain. juantomas.vazquez@ieo.es

Palabras clave: IGCP, PICG, UNESCO.

Resumen

Los deslizamientos subacuáticos han sido ampliamente reconocidos en ambientes lacustres, costeros y marinos profundos, y suponen un elemento de riesgo para las comunidades costeras e infraestructuras marinas. Durante las pasadas décadas, los estudios ecosísmicos e "in situ" en el campo de las geo-ciencias marinas han mejorado su conocimiento. Asimismo, los esfuerzos en el campo de la geo-modelación han ayudado a comprender el nexo entre la aparición de deslizamientos, su dinámica y la generación de tsunamis. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre los mecanismos causales y datación de estos deslizamientos han dificultado el progreso en la predicción, esencial para la implementación de medidas adecuadas de mitigación. Esta compleja problemática sólo puede ser abordada bajo una aproximación multidisciplinar. El estudio de los deslizamientos subacuáticos aborda varias sub-disciplinas: los geólogos estudiando los factores relevantes, de predisposición y los procesos desencadenantes, las ciencias planetarias usándolos como análogos terrestres, en el campo del petróleo para evaluar la capacidad sello/reservorio de antiguos deslizamientos subacuáticos y los ingenieros en la evaluación de riesgos geotécnicos. El proyecto busca crear una plataforma internacional y multidisciplinaria que permita a la comunidad científica (academia e industria) mantener un diálogo encaminado a un entendimiento más cohesionado de los deslizamientos subacuáticos.

Abstract

Subaqueous landslides are of common occurrence in lacustrine, coastal and deep-marine environments. They pose a risk to coastal communities and offshore infrastructure. During the past decades geoscientists have made important contributions for improving the understanding of subaqueous landslides. Efforts in the field of geo-modelling have helped fill the gap between subaqueous landslide occurrence, dynamics and tsunami genesis. Nevertheless, other gaps like the causal mechanisms and timing of subaqueous landslides has drawn out the progress in the prediction, essential to implement appropriate mitigation measures. This complex issue can only be managed in a multidisciplinary approach. The study of subaqueous landslides spans a wide range of sub-disciplines: geologists studying the link between climate change and gas hydrate dissociation, planetary geologists using subaqueous landslides as terrestrial analogues, petroleum geologists evaluating the seal/reservoir capacity of ancient subaqueous landslides, and engineers evaluating geotechnical risks. This project seeks to create an international and multidisciplinary platform allowing geoscientists from academia and industry to sustain a dialogue conducive to the integration of findings from different fields into a more cohesive understanding of subaqueous landslides.

El Proyecto Internacional de Geociencias – UNESCO, PICG 652 y la aportación española en el contexto transnacional

UNESCO International Geosciences Project, IGCP 652 and the Spanish contribution in the transnational context

J.-C. Liao y J.I. Valenzuela-Ríos

Dpto. Botánica y Geología, Universidad de Valencia, 46100 Bujasot; jau.liao@uv.es, jose.i.valenzuela@uv.es

Palabras clave: Devónico, bio-cronoestratigrafía de alta resolución, ciclo-estratigrafía, calibración temporal, evento global.

Resumen

El objetivo principal del PIGC 652 financiado por la UNESCO y UICG (2017-2021) es mejorar la calibración de la Escala de Tiempo Geológico para desentrañar la historia del sistema terrestre y analizar la evolución ambiental, las crisis ecológicas así como los cambios geoquímicos durante el Paleozoico. Hasta ahora, se han estudiado con detalle 3 Periodos: 1) Cámbrico, 2) Devónico y 3) Carbonífero.

El Grupo de Trabajo Hispano-Portugués formado por 27 miembros es muy activo y se constituyó oficialmente en Octubre del 2018. El mayor liderazgo internacional español lo constituyen los estudios de calibración temporal en el Devónico Inferior (Valenzuela-Ríos y Liao, 2019) y en el Devónico Medio (Liao y Valenzuela-Ríos, 2019; Liao *et al.*, 2018). Otros intervalos (Cámbrico Superior y Carbonífero) son también importantes. Debido a su trascendencia, este proyecto es considerado como una red de colaboraciones internacionales y como consecuencia, muchos proyectos en marcha ofrecen resultados prometedores en aspectos bio-crono-ciclo-estratigráfícos de alta resolución, sedimentológícos y geoquímicos. Destacan los siguientes eventos: 22 publicaciones científicas y 33 contribuciones a congresos publicadas. Organización de 3 simposios especiales, 2 excursiones del Paleozoico y un workshop. Participación en 10 congresos internacionales y nacionales. Organización de dos programas de entrenamiento (Boot Camp) para graduados.

Abstract

The main goal of IGCP 652 supported by UNESCO and IUGS (2017-2021) intends to improve the Geological Time Scale in order to unravel the history of the Palaeozoic Earth system and study the environmental evolution, ecological crises and diversifications, biogeochemical changes during the Palaeozoic. Up to know, Cambrian, Devonian and Carboniferous Periods were studied in detail

The Spanish-Portuguese Working Group, with 27 members, is very active and was formally constituted in October 2018. Main international leadership had a special impact in the Lower and Middle Devonian Stages (Valenzuela-Ríos and Liao, 2019; Liao and Valenzuela-Ríos, 2019; Liao et al., 2018). Other intervals (Upper Cambrian and Carboniferous) are also important. This project is considered as a network of collaborations and as consequence, many ongoing projects have promising results on high resolution on bio-chrono-ciclostratigraphy, sedimentology and geochemistry. 22 scientific articles and 33 congress contributions were published. Several international and national meetings (3 special sessions, 2 Palaeozoic field trips and 1 workshop) were organized. Members of the IGCP participated in 10 international and national congresses. Two Boot Camp for graduate students were developed.

Referencias

Liao, J.-C., Valenzuela-Ríos, J.I., García-López, S. y Carls, P. (2018). *Cuadernos del Museo Geominero*, 27: 583-587.

Liao, J.-C. y Valenzuela-Ríos, J.I. (2019). *XXXV Jornadas de Paleontología* 145-146.

Valenzuela-Ríos, J.I. y Liao, J.-C. (2019). *XXXV Jornadas de Paleontología* 303-305

Lower-Middle Devonian limestones of the SW border of the Ossa-Morena Zone; from local to global paleogeographic scale

Calizas del Devónico inferior a medio del suroeste de la zona de Ossa-Morena; de la escala paleogeográfica local a global

N. Moreira[1], G. Machado[2] y G. Silvério[3]

1 Instituto de Ciências da Terra (Pólo Évora); Dep. de Geociências da ECT Univ. Évora, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671, Évora, Portugal – nmoreira@estremoz.cienciaviva.pt
2 Chronosurveys. Av. 25 Abril n7 17dto. 2800-300 Almada; Instituto Dom Luiz. Univ. Lisboa. Campo Grande C6. 1749-016 Lisboa, Portugal.
3 Departamento de Botánica y Geología, Universidad de Valencia, c/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjasot, España.

Abstract: *The record of Lower and Middle Devonian sedimentation in the SW border of the Iberian Massif is scarce. The scattered presence of uppermost Lower Devonian to Middle Devonian limestones in the SW margin of the Ossa-Morena Zone sheds light on the local and regional paleogeography and allows to clarify geodynamic models for the northern Gondwana realm during the Devonian. The several studied localities show the presence of isolated reef structures and spatially associated calciturbidites, interpreted as a result of the erosion of the reef buildings. Coeval volcanic rocks suggest reef development was supported by volcanic edifices, but in other instances basement highs may have supported the reef structures. Two global events, the basal Choteč and the Kačák, are recorded in these limestones, providing a better understanding of the paleogeographical extent of these events and their lithological, stratigraphical and paleoecological expression.*

Keywords: *Early-Middle Devonian, Limestones, Ossa-Morena Zone, Biotic Crisis, Paleogeography*

Resumen: El registro sedimentario del Devónico Inferior y Medio en el borde suroeste del Macizo Iberico es escaso. La presencia dispersa de calizas de la parte superior del Devónico inferior y medio en el margen SW de la Zona de Ossa-Morena arroja luz sobre la paleogeografía local y regional y permite aclarar los modelos geodinámicos para el dominio norte de Gondwana durante el Devónico. Las diversas localidades estudiadas muestran la presencia de estructuras aisladas de arrecifes y calciturbiditas asociadas espacialmente, interpretadas como resultado de la erosión de los arrecifes. Las rocas volcánicas coetáneas sugieren que el desarrollo de los arrecifes se produjo sobre edificios volcánicos, pero en otros casos, los altos del basamento también pueden servir de base pare el desarrollo de las estructuras de arrecifes. Dos eventos globales, el Choteč basal y el Kačák, se registran en estas calizas, proporcionando una mejor comprensión de la extensión paleogeográfica de estos eventos, su expresión litológica, estratigráfica y paleoecológica.

Palabras clave: Devónico Inferior-Medio, Calizas, Zona Ossa-Morena, Crisis Biótica, Paleogeografía

INTRODUCTION

The Devonian period is characterized by several biotic crisis events, when compared to other Phanerozoic periods, generally associated with global mass extinctions in both marine and terrestrial realms (e.g. Bábek et al., 2018; Machado et al., 2020). These biotic crisis events are generally preserved in the geological record, as the result of several causes which includes environmental and biological/ecological changes (Bábek et al., 2018). The recognition of those events is crucial to the reconstitution of local and global paleoecology, paleoenvironment and paleogeography of the Devonian period.

The present paper focuses on the stratigraphic characterization of the Lower-Middle Devonian limestones of the SW border of the Ossa-Morena Zone (OMZ), emphasizing the significance of carbonate sedimentation along the SW domains of the Iberian Massif and framing it in the geodynamic evolution and paleogeography of the northern edge of the Gondwana landmass.

GEOLOGICAL SETTING

The Devonian sedimentation of the OMZ is fragmentary; the Lower Devonian succession is dominated by siliciclastic rocks, while the Middle and Upper Devonian is considered absent (Robardet and Gutiérrez-Marco, 2004; Oliveira et al., 2019). However, along the SW border of the OMZ, Lower and Middle Devonian limestones were identified (e.g. Oliveira et al., 2019). Those rocks are associated either with volcanic rocks (Rebolado Basalts, coeval of Devonian limestones; Moreira et al., 2010) or with a Mississippian flysch succession, although the geometrical relation between both units allows conflicting interpretations (Oliveira et al., 2019 and references therein): the limestones were considered olistoliths or tectonically imbricated

within the Mississippian siliciclastic rocks, although some are covered by the carboniferous succession, and that contact is marked by a polygenic conglomerate which outlines an unconformity. Nevertheless, it is important to emphasize that Devonian limestones are scarce and the most common feature of the OMZ is the absence of the Middle and Upper Devonian successions.

DEVONIAN LIMESTONES OF THE SW BORDER OF THE OSSA-MORENA ZONE

As mentioned, the SW OMZ limestones are scarce and disperse (Oliveira et al., 2019) and two formations are well-defined, described below.

- Odivelas Limestone

This formation was initially defined in the Cortes section (Conde and Andrade, 1974), with a second section in the same area (Covas Ruivas). The limestones from the Cortes section was considered as Middle-Upper Devonian based on the macrofauna association, namely brachypods, bryozoans, conodonts and trilobites (Conde and Andrade, 1974). The authors also describe the presence of crinoids, stromatoporoids and coral faunas. Machado et al. (2009), with new sampling, identified several genera and species of rugose and tabulate corals, brachiopods, crinoids and stromatoporoids, preserving bioherm/ biostromal facies. In this section, beyond the reefal facies, coeval peri-reefal bioclastic calciturbidites were also identified (Machado et al., 2009), containing abundant crinoids and minor amounts of tentaculitids, sponge spicules and ostracods (Machado et al., 2020), occasionally with black chert nodules. The new biostratigraphic assesssment indicates a Late Eifelian-Early Givetian age, recently supported by conodont data in calciturbidites (Fig.1; hemiansatus biozone; Machado et al., 2020).

The Covas Ruivas section is a 200 m thick succession with Emsian-Eifelian age (Fig.1; patulus to australis zones; Machado et al., 2010). This succession is mainly composed of bioclastic dark calciturbidites, ranging from coarse-grained sand to shale, interspersed with hemipelagic tuffites. The bioclasts are dominated by crinoids, with small amounts of tentaculites, ostracods, bryozoans, stromatoporoids and corals (Machado et al., 2010). Several evidences of syn-sedimentary deformation (e.g. convolute bedding or slumps) were identified.

The low $^{87}Sr/^{86}Sr$ values of both sections are correlatable with the seawater signature during the uppermost Lower-Middle Devonian for both sections (Moreira et al., 2019).

- Pedreira da Engenharia Limestone

The first biostratigraphic study of this formation was done by Boogaard (1972), which indicated a Middle Devonian age to this succession; new data specifies an Early-Middle Eifelian age (Fig.1; costatus to australis zones; Silvério et al., 2019). The 30 m thick succession is composed of dark-grey calciturbidites, with centimeter to decimeter beds, with grain-size ranging from fine-grained sand to shale (Silvério et al., 2019), also showing evidences of syn-sedimentary deformation. Crinoids, ostracodes, radiolarians and abundant dacryoconarids were also identified in the calciturbidites.

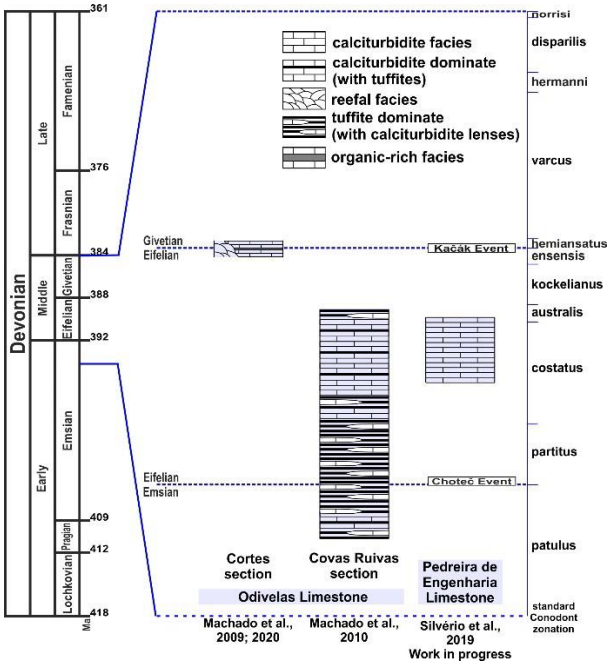


FIGURE 1. Schematic stratigraphic sections at the Odivelas and Pedreira de Engenharia Limestone, with indication of conodont biozones and the identified major biotic crisis events.

LOCAL PALEOGEOGRAPHY

The described successions emphasize the association between the reefal and calciturbidite facies in the Cortes section, contrary to the other sections. The fossiliferous content of the Cortes section indicates a well-developed reef system, with significant diversity of reefal faunas (crinoids, corals and stromatoporoids). The calciturbidites include frequent fragments of crinoids and common coarse-grained calciturbidites, which seems to indicate the proximal nature of these deposits.

In the Covas Ruivas section, there is an association between volcanic-derived tuffites with calciturbidites. The abundance of reefal-derived bioclasts, namely crinoids, stromatoporoids and corals (Machado et al., 2010) seems to indicate that sedimentation also took place in a peri-reefal environment. Furthermore, the coarser-grained, usually massive, base and thinner- laminated top suggest a low density calciturbidite type of sedimentation, with significant instability during sedimentation, as proved by abundant syn-sedimentary deformation structures. The relative abundance of fine-grained calciturbidites (Machado et al., 2010) indicates a considerable transport distance, implying that the deposition area is not in the close vicinity of a bioherm/biostrome (possibly at the base of the slope), which is in accordance to their association with hemipelagic tuffites.

The depositional environment of Pedreira de Engenharia calciturbidites is quite similar to those described to Covas Ruivas section. The significant amounts of dacryocona-

rid specimens (Silvério et al., 2019) and the clear dominance of fine-grained calciturbidites, seems to record a distal depositional environment (possibly base of slope) of low-density carbonate turbidites deriving from a reef area (Silvério et al., 2019).

The Devonian carbonate sedimentation can be interpreted as peri-reefal calciturbidites, associated to a reefal system (only preserved in Cortes section) developed near the SW border of the OMZ. The presence of coeval extrusive volcanic rocks (Rebolado Basalts) in the Covas Ruivas section (Moreira et al., 2010) indicates that the reef systems, or part of them, were developed around the top of volcanic edifices, possibly forming atoll-like structures, near the sea surface allowing the colonization and development of reef building taxa. These environmental conditions allow the erosion/dismantlement of reef systems, developed on the flanks of the volcanic edifices, along their edges, generating coeval peri-reefal sedimentation represented by the calciturbidite successions, with occasional debris-flow breccias (Machado et al., 2010), which extend at least to the base of the slope. The presence of syn-sedimentary deformation in the calciturbidite succession is also in accordance with the proposed depositional environment and local paleogeography and can be explained either by the topographic slope or by the contemporaneous volcanic and/or tectonic activity. It is not excluded that some of these reefal structures could be developed in basement highs, as there is no direct evidence for coeval volcanic rocks in the Pedreira de Engenharia section (Oliveira et al., 2019).

HOW GLOBAL EVENTS ARE REGISTERED

Four major global extinction events are well-documented in Gondwana, but also in Baltica and Laurentia, during the Lower to Middle Devonian, namely: the Lochkovian/Pragian Event, the Daleje Event, the Basal Choteč (jugleri) Event, and the Kačák (otomari) Event (Bábek et al., 2018 and references therein). Among these Lower-Middle Devonian prominent events, two events are preserved in the SW of the OMZ, both in Odivelas Limestones sections (Fig. 1): the Choteč and the Kačák events (Machado et al., 2009; 2010; 2020).

In the Covas Ruivas section, the magnetic susceptibility and lithological record of the basal part of this section is consistent with the Basal Choteč Event (Machado et al., 2010). This global transgressive event is located just above the Emsian-Eifelian boundary (Fig. 1; Machado et al., 2010; Koptíková, 2011), being materialized by suboxic-deposited organic-rich sediments and low carbonate sedimentation rates, followed by coarse bioclastic calciturbidites and debris-flow carbonate breccias. This lithological succession closely matches the one described in the Covas Ruivas section from upper partitus to costatus conodont zones.

In summary, the magnetic susceptibility record, the described lithological succession and the obtained ages are consistent with the Basal Choteč Event of other localities around the world (Fig. 2; see Machado et al. 2010 and references therein for details).

The Cortes calciturbidites succession seems to be consistent with the record of the Kačák Event. This event is characterized by a hypoxic-anoxic depositional setting, recorded in a 2m thick calciturbidite section with condensed stratigraphy.

The Cortes dark organic-rich calciturbidites, with chert nodules, present low magnetic susceptibility magnitudes and the pattern is tentatively correlatable to the end-Eifelian record of the Moravian Karst section (Czech Republic), where the Kačák Event is well-constrained (see Machado et al. 2009 and references therein for details); the conodont ages confirms the Emsian-Givetian age for this succession (Machado et al., 2020). Recent data also indicates an anomalous abundance of putative fungal hyphae and prasinophycean algae in the same section (Machado et al., 2020). Similar stratigraphic record was described in other Devonian biotic crisis (e.g. Brocke et al. 2016) and the abundance of these organic particles was interpreted as related with both marine and terrestrial crisis during the Kačák event (Machado et al., 2020). Similar uppermost Eifelian – lowermost Givetian successions characterized by high marine organic productivity, evidenced by dark organic matter-rich limestones or shales within coarser and lighter limestones sections have been described previously for the Kačák Event, which was interpreted as a global scale transgressive episode (see Machado et al. 2020 and references therein for details).

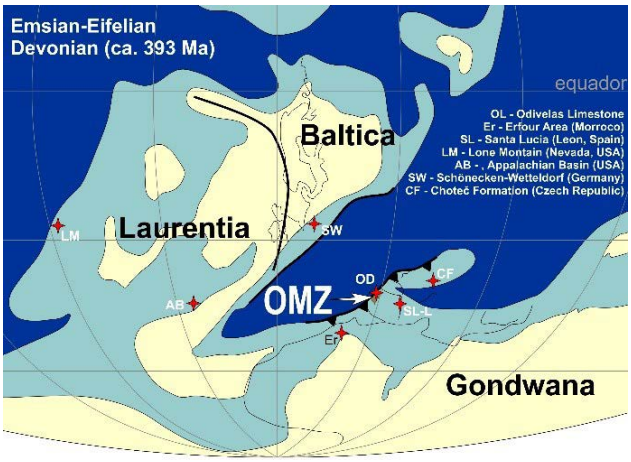


FIGURE 2. Location of Eifelian-Emsian successions where Basal Choteč Event was identified (locations adapted from Ellwood et al., 2006; Machado et al., 2010; Brucke et al., 2016; paleogeographic map adapted from Scotese, 2014; Dias et al., 2016).

THE NORTH GONDWANA PALEOGEOGRAPHY

During uppermost Lower to Middle Devonian, the northern realm of the Gondwana was characterized by extensive epicontinental seas, developed in low to middle latitudes (Fig. 2), associated with particular paleoclimatic conditions, such as high insolation levels and high temperatures.

Several authors point to the beginning of subduction of Variscan Ocean(s) along the northern margin of Gond-

wana during the Lower-Middle Devonian (e.g. Moreira et al., 2014; Dias et al., 2016; Oliveira et al., 2019) and in the SW branch of the Iberian Massif, namely in the OMZ, the subduction process generates a volcanic arc and sea-floor elevations (basement highs) during the deformation process. This local paleogeographical setting and the paleoclimatic conditions may have favoured the development of reef fauna, with generation of atoll-like structures, and associated calciturbidite successions. The crustal uplift of the OMZ during the Middle Devonian (Moreira et al. 2014) explains the absence of sedimentation and the Odivelas and Pedreira de Engenharia Limestone, among other limestones occurrences in the SW of OMZ, can be interpreted as isolated reefs, not larger than a few km across, explaining their scarce and disperse nature. The presence of land-derived particles (filaments) in Cortes section is in agreement with this interpretation, implying the relative proximity of land (possibly a volcanic-arc island) during Givetian times.

In the Odivelas Limestone, the reef fauna is particularly diversified, containing organic elements which are typical of the Peri-Laurussian realm, but also Peri-Gondwana ones (Machado et al. 2009; 2010). This data indicates a proximity between both realms during the Middle Devonian, consistent with Variscan Ocean(s) subduction during Devonian times.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is a contribution to the IGCP Project 652 - Reading geologic time in Paleozoic sedimentary rocks. Noel Moreira acknowledge the funding ICT provided to (UID/GEO/04683/2019).

REFERENCIAS

Bábek, O., Faměra, M., Hladil, J., Kapusta, J., Weinerová, H., Šimíček, D., Slavík, L. y Ďurišová, J. (2018): Origin of red pelagic carbonates as an interplay of global climate and local basin factors: Insight from the Lower Devonian of the Prague Basin, Czech Republic. *Sediment. Geol.*, 364: 71-88.

Boogaard, M. van den (1972). Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain. Part 1. A Middle Devonian fauna from near Montemor-o-Novo. *Scripta Geologica* 13, pp. 1-11.

Brocke, A., Fatka, O., Lindemann, R.H., Schindler, E. y Ver Straeten, C.A. 2016: Palynology, dacryoconarids and the lower Eifelian (Middle Devonian) Basal Choteč Event: case studies from the Prague and Appalachian basins. In: Becker, R.T., Königshof, P., Brett, C.E. (Ed), Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events. *Geological Society London, Special Publications*, 423: 123–169.

Conde, L. y Andrade, A. (1974). Sur la faune méso et/ou néodevonienne des calcaires du Monte das Cortes, Odivelas (Massif de Beja). Memórias e Notícias da Universidade de Coimbra, 78, 141-145.

Dias, R., Ribeiro, A., Romão, J., Coke, C. y Moreira, N. (2016): A review of the Arcuate Structures in the Iberian Variscides; Constraints and Genetic Models. *Tectonophysics*, 681C: 170-194.

Ellwood, B.B., Garcia-Alcalde, J.L., El Hassani, A., Hladil, J., Soto, F.M., Truyóls-Massoni, M., Weddige, K. y Koptikova , L. (2006): Stratigraphy of the Middle Devonian Boundary: Formal Definition of the Susceptibility Magnetostratotype in Germany with comparisons to Sections in the Czech Republic, Morocco and Spain. *Tectonophysics*, 418: 31-49.

Koptíková, L. (2011): Precise position of the Basal Choteč event and evolution of sedimentary environments near the Lower–Middle Devonian boundary: The magnetic susceptibility, gamma-ray spectrometric, lithological and geochemical record of the Prague Synform (Czech Republic). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 304: 96-112.

Machado, G., Hladil, J., Koptíková, L., Fonseca, P., Rocha, F.T., y Galle, A. (2009): The Odivelas Limestone: Evidence for a Middle Devonian reef system in western Ossa-Morena Zone. *Geol. Carpath.*, 60(2): 121–137.

Machado, G., Hladil, J., Slavík, L., Koptíková, L., Moreira, N., Fonseca, M. y Fonseca, P.E. (2010): An Emsian-Eifelian Calciturbidite sequence and the possible correlatable pattern of the Basal Choteč event in Western Ossa-Morena Zone, Portugal (Odivelas Limestone). *Geol. Belg.*, 13(4): 431-446.

Machado, G., Slavik, L., Moreira, N. y Fonseca, P.E. (2020): Prasinophyte bloom and putative fungi abundance near the Kačák event (Middle Devonian) from the Odivelas Limestone, Southwest Iberia. *Palaeobio. Palaeoenv.* DOI: 10.1007/s12549-019-00415-1

Moreira, N., Machado, G., Fonseca, P. E., Silva, J.C., Jorge, R.C.G.S. y Mata, J. (2010): The Odivelas Palaeozoic volcano-sedimentar sequence; implications on the Ossa-Morena SW border. *Comunicações Geológicas*, 97: 129-146.

Moreira, N., Araújo, A., Pedro, J.C. y Dias, R. (2014): Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas*, 101(I): 275-278.

Moreira, N., Pedro, J., Santos, J.F., Araújo, A., Dias, R., Ribeiro, S., Romão, J. y Mirão, J. (2019): $^{87}Sr/^{86}Sr$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates of the Ossa-Morena Zone (SW Iberia Variscides). *Int. J. Earth Sci.*, 108(3): 963–987.

Oliveira, J.T., González-Clavijo, E., Alonso, J., Armendáriz, M., Bahamonde, J.R., Braid, J. A., Colmenero, J.R., Dias Da Silva, Í., Fernandes, P., Fernández, L.P., Gabaldón, V., Jorge, R.S., Machado, G., Marcos, A., Merino-Tomé, Ó, Moreira, N., Brendan Murphy, J., Pinto De Jesus, A., Quesada, C., Rodrigues, B., Rosales, I., Sanz-López, J., Suárez, A., Villa, E., Piçarra, J.M. y Pereira, Z. (2019): Synorogenic Basins. In: Quesada. C. y Oliveira, J.T. (Ed), *The Geology of Iberia: a geodynamic approach (Vol. 2)*. Springer (Berlin), 349-429.

Robardet, M., y Gutiérrez-Marco, J.C. (2004): The Ordovician, Silurian and Devonian sedimentary rocks of the Ossa-Morena Zone (SW Iberian Peninsula, Spain). *J. Iber. Geol.,* 30: 73–92.

Silvério, G., Valenzuela Ríos, J.I., Liao, J.C., Machado, G., Moreira, N., Jorge, J., Ramos, M., Esteves, C., Theias, A. y Cachão, M. (2019): Conodonts from the "Pedreira da Engenharia" Formation, Western Ossa-Morena zone: new biostratigraphic data. *Zubía*, Extra 31: 257-262.

Scotese, C. (2014): Atlas of Devonian Paleogeographic Maps, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 4, The Late Paleozoic, Maps 65-72, Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, IL.

Estudio sedimentológico-ambiental de la plataforma interna frente a la ensenada de Llumeres (Asturias)

Environmental-sedimentological study of the internal platform located in front of the Llumeres inlet (Asturias)

R. Ruiz-Quesada[1], G. Flor-Blanco[2], E. Garcia-Ordiales[3]

1 Alumno de Máster, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo. 33005 Oviedo. OU26406@uniovi.es
2 Dpto. Geología, Facultad de Geología. Universidad de Oviedo. 33005 Oviedo. Grupo 639 UNESCO sobre cambios del nivel del mar gfb@geol.uniovi.es
3 Dpto. Explotación y Prospección de Minas, EIMEM Oviedo, Universidad de Oviedo 33004 Oviedo. Grupo ISYMA: Minería, Energía e Ingeniería de materiales. garciaefren@uniovi.es

Resumen: Este estudio determina de una forma preliminar la evolución sedimentológica y geoquímica de los materiales de la plataforma interna situada frente a la ensenada de Llumeres (Asturias) a partir del análisis de 5 sondeos de aproximadamente 2 m de espesor. Tras realizar una caracterización granulométrica básica de los materiales y repasar la bibliografía de estudios previos en la zona, se deduce que el sedimento se incorporó a la plataforma interna durante las últimas etapas de la subida de nivel de la mar, iniciada hace unos 20.000 años (transgresión pleisto-holocena), y que en la actualidad la zona goza de cierta estabilidad.

Por otro lado, para conocer el grado de enriquecimiento y origen de elementos potencialmente contaminantes Zn, As, Cu, Pb y Hg en los materiales, se han aplicado el Índice de Geoacumulación (Igeo) y el Factor de Enriquecimiento (FE), así como también análisis estadísticos multivariables y bivariables. Los resultados muestran que zona no sufre una afección antrópica destacable y que parte de los elementos potencialmente contaminantes, localizados principalmente en las capas más recientes, provienen de zonas susceptibles a exportar contaminación como son el río Nalón, el área industrial de Avilés y la mina de hierro de Llumeres, situada enfrente de la zona de estudio y clausurada hace varias décadas.

Palabras clave: plataforma interna, caracterización granulométrica, elementos contaminantes, enriquecimiento, Llumeres

Abstract: *In this study, the sedimentological and geochemical evolution of the internal platform located in front of the Llumeres inlet has been investigated, based on the analysis of the sediments of 5 corers, of a thickness of approximately 2 m. After carrying out a basic granulometric characterization of the materials and reviewing the bibliography of previous studies in the área, the sedimentological results point to the fact that the sediment was incorporated into the internal platform during the last stages of the rise in sea level, which began some 20,000 years ago (Pleisto-Holocene transgression). At present, the zone enjoys stability.*

On the other hand, to know the degree of enrichment and origin of potentially polluting elements Zn, As, Cu, Pb and Hg in the materials, the Geoaccumulation Index (Igeo) and the Enrichment Factor (FE) have been applied, as well as also multivariable and bivariable statistical analyzes. The geochemical results results show that the area does not have a remarkable anthropic condition, and that part of the energy and the potentially contaminating elements are located mainly in the most recent layers and come from areas susceptible to export pollution such as the Nalón River, the industrial area of Avilés, and the Llumeres iron mine, located in front of the study area and closed several decades ago.

Keywords: *internal platform, granulometric characterization, pollutants, enrichment, Llumeres*

INTRODUCCIÓN

La plataforma interna representa el área intermedia entre la franja costera y la plataforma externa, y abarca la banda batimétrica comprendida entre, aproximadamente, los 20 (nivel de base del oleaje) y 50 m de profundidad. Aquí se suele producir una alta sedimentación organogénica y siliciclástica. Cualquier cambio ambiental puede quedar registrado en el sedimento, por lo que el estudio sedimentológico y composicional de estos materiales permitirá reconstruir su evolución.

Aunque la información disponible en la actualidad sobre los recubrimientos sedimentarios de la plataforma continental interna de Asturias es muy escasa, se parte de la hipótesis de que se suceden fondos rocosos y parches sedimentarios, configuración típica de plataformas desnutridas. En cualquier caso, en los materiales marinos de plataforma de la región de Cabo Peñas abunda la fracción arenosa, fundamentalmente de tamaño de grano fino, seguidas de parches de gravas y/o gavillas conchíferas, en ocasiones con signos evidentes de haber permanecido largos periodos de tiempo bajo condiciones subaéreas (Fernández-Valdés, 1997).

A lo largo del Antropoceno, el desarrollo industrial ha provocado la dispersión de potenciales contaminantes a áreas cercanas a los sistemas costeros y fluviales, pudiendo afectar a la composición geoquímica natural de los sedimentos. En concreto, en el área de estudio se localiza la mina Llumeres, en la que se explotaban las areniscas ferruginosas de la formación Furada, con alto contenido en pellets de hierro, la cual tuvo una actividad intermitente desde la época romana hasta finales del siglo pasado. A lo anterior, se suma la actividad minera en la cuenca del río Nalón que se viene desarrollando desde el siglo XVIII hasta la actualidad, y el rápido crecimiento de la industria de Avilés a inicios de los años 50 del siglo pasado. Buena parte de los elementos potencialmente contaminantes que se emiten desde estos focos al medio, podrían ser transportados al área de estudio por la acción persistente del viento, oleaje y corriente costera, hacia el E, y quedar registrados en el sedimento.

Por todo lo expuesto, el presente estudio tiene por objeto realizar una caracterización sedimentológica y geoquímica de los materiales de plataforma a fin de determinar el origen y evolución de los materiales, así como conocer el grado de enriquecimiento en del Zn, As, Cu, Pb y Hg y origen de elementos potencialmente contaminantes. Para este fin, se han usado los testigos de sedimentos procedentes de 5 sondeos localizados sobre la plataforma interna de la ensenada, con distancia máxima entre sondeos de aproximadamente 835 m.

ÁREA DE ESTUDIO

La ensenada de Llumeres se sitúa cerca de la población de Viodo, al sureste del Cabo Peñas, área más septentrional del Principado de Asturias. Forma parte del denominado "Paisaje protegido Cabo de Peñas", otorgado por el Principado mediante el decreto 80/1995, del miércoles 12 de mayo de 1995.

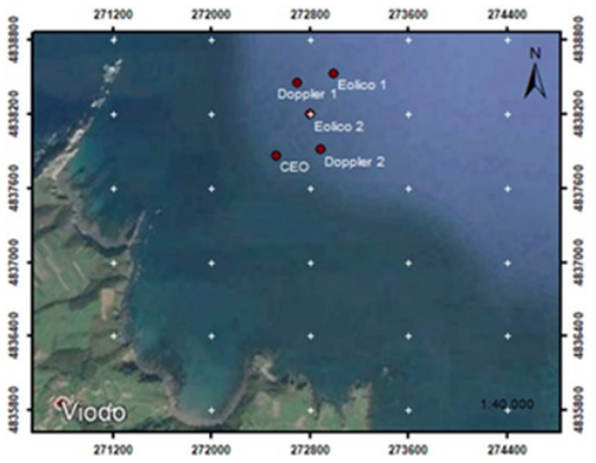


FIGURA 1. Localización y nombre de los sondeos utilizados.

Se desarrolla con una planta en forma de concha, con la concavidad hacia el mar, entre dos promontorios de mayor resistencia a la erosión, pero con una clara asimetría entre ambos, solamente el extremo oriental se proyecta netamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han analizado un total de 5 sondeos extraídos en la de la zona de estudio con vibracorer (Figura 1), de los que se han tomado un total de 33 muestras sedimentarias en cada tramo donde se apreciaban cambios en los conjuntos sedimentarios Las muestras se secaron en horno a una temperatura de 25ºC durante 24 horas, para evitar la pérdida de los elementos volátiles. De cada muestra se destinaron cerca de 100 gramos para la elaboración de las granulometrías. Tras el tamizado, se recogió la fracción inferior a 45 μm para el análisis geoquímico mediante XRF.

Para realizar la caracterización granulométrica del material sedimentario se usaron un total de 11 tamices con luz de malla comprendida entre 1,6 mm y 45 μm. Para todas aquellas muestras que en su totalidad no mostraban tamaños de grano superiores a 2 mm, se empleó una analizadora de partículas láser de la marca comercial FRITSCH. Los resultados obtenidos se introdujeron en el programa Gradistat (Blott y Pye, 2001), para así, obtener la clasificación del material. Posteriormente, se calcularon los parámetros de rango o percentiles (*p*), entre ellos el centil, y a los parámetros de relación (media, calibrado, asimetría y angulosidad), así como también la proporción sílice-carbonatos con el método gravimétrico, puesto que representan un caudal de información importante acerca de las condiciones de depósito de los sedimentos.

El análisis geoquímico se realizó mediante fluorescencia de rayos X o XRF. Las concentraciones de los elementos resultantes en el análisis se han normalizado con respecto al aluminio para eliminar la influencia del tamaño de grano (García-Ordiales *et al.*, 2014) ya que, a pesar de trabajar sobre una fracción muy fina (<45 μm), la fracción de mayor interés para el estudio es la < 2 μm. Además, se ha calculado el valor de fondo o background para el Zn, As, Cu, Pb y Hg por su importancia ambiental, que delimita las concentraciones esperables de un elemento en el medio, así como los factores de enriquecimiento Índice de Geoacumulación (Igeo) y Factor de Enriquecimiento (FE), que permiten establecer la existencia de una afección antrópica sobre el sedimento.

Por último, se ha elaborado un análisis estadístico bivariado (coeficientes de correlación) y otro multivariado (análisis de componentes principales), que ayudará a determinar las relaciones que pudieran darse entre los distintos elementos y poder hipotetizar acerca de su origen.

RESULTADOS

Las litologías dominantes están representadas por arenas bioclásticas de grano medio y grueso (0 - 2 ϕ o 1 - 0,25 mm) de color beige. El material estudiado se puede agrupar esencialmente en tres conjuntos sedimentarios: siliciclástico, bioclástico y mixto, variando según la posición del sondeo.

Respecto a los parámetros granulométricos, son muy variables y los calibrados en general son malos, por lo que el agente deposicional no era muy selectivo. La asimetría y la angulosidad presentan rangos de variación muy amplios y los carbonatos son relativamente altos.

Los elementos mayores que aparecen en las muestras son, por orden de abundancia: sílice> óxido de aluminio> óxido de calcio> óxido de hierro> cloro> óxido de potasio> óxido de magnesio> materia orgánica y elementos volátiles> óxido de sodio. A su vez, los elementos traza detectados por fluorescencia de rayos X han sido, por orden de abundancia: titanio> estroncio> zinc> rubidio> arsénico> cobre> plomo> mercurio. Por otro lado, aquellos elementos que superan el límite superior de background tienden ocupar las capas más superficiales (5-50 cm) y en ocasiones, las más profundas (205-235 cm); a excepción del sondeo Doppler 2, donde se dan valores por encima del background en zonas intermedias para los elementos As, Cu, Hg y Zn.

Por otra parte, los materiales con mayores enriquecimientos se localizan en las zonas superficiales y profundas, a excepción del sondeo Doppler 2, que muestra ligeros enriquecimientos en casi todos los elementos a profundidades intermedias (Fig. 35). En general, el plomo es el elemento que presenta los mayores enriquecimientos, seguido por el mercurio. El zinc tiene el valor de enriquecimiento más alto de todos. Arsénico y cobre muestran los enriquecimientos más bajos y, además, sólo se dan de forma puntual en el sondeo Doppler 2. Los resultados obtenidos por este método son similares a los de Igeo, mostrando enriquecimientos menores a las mismas profundidades. También se han detectado en otros puntos de zonas intermedias, destacando un enriquecimiento moderado en Zn en el sondeo Doppler 2 (Figura 2).

Las correlaciones más altas son las del Sr con SiO2 (-0,80) y CaO (0,88). También hay una buena correlación entre SiO_2 y CaO (-0,75). El Ti se correlaciona con SiO_2 (0,63) y CaO (-0,61); el Rb, con el Al_2O_3 (0,67), LOI (0,61) y Cl (-0.70); y el Sr con SiO_2 (0,80), CaO (-0,80) y Ti (-0,69).

Se obtuvieron 4 componentes principales que explicaban casi el 90 % de la varianza de los datos, lo cual se considera una buena estimación teniendo en cuenta que este análisis fue realizado solamente sobre los elementos potencialmente contaminantes.

Variable	*Componente 1*	*Componente 2*	*Componente 3*	*Componente 4*	
Ti	-0,027	**-0,911**	0,163	0,162	
Sr	-0,147	**0,916**	0,052	0,154	
Zn	**0,965**	-0,124	-0,021	-0,119	
Rb	0,198	-0,077	**0,961**	0,068	
As	**0,686**	-0,051	0,632	0,099	
Pb	0,124	-0,005	0,082	**0,969**	
Cu	**0,728**	-0,146	0,419	0,26	
Hg	**0,752**	0,094	0,321	0,3	
% Varianza	32,2	21,5	20,5	14,7	88,9

TABLA I. Componentes principales calculadas, peso de cada variable en la componente y varianza explicada por cada componente.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La morfología saliente hacia el norte del Cabo Peñas se interpone a la dinámica costera con movimientos preferenciales de las masas de agua hacia el Este. En el costado occidental de la punta de Peñas, la corriente choca contra ella, generando así un upwelling, un fenómeno de afloramiento de aguas desde el fondo (Flor, 1978). Las aguas más profundas son más frías y ascienden arrastrando consigo gran cantidad de nutrientes que crean un notable incremento del contenido carbonatado biogénico. En las partes más superficiales de los sondeos obtenidos dominan las arenas bioclásticas, con excepción de Doppler 2, situado más oriental, que presenta una fina capa de material siliciclástico, probablemente sedimentado bajo condiciones de oleajes de tormenta como término de decantación final. Todo esto apunta a que existe una desconexión entre los materiales de los sondeos y el tipo de sedimentación que se está produciendo actualmente. Estos bioclastos son depósitos relictos donde actualmente no se produce sedimentación aparente de ningún tipo.

Para encontrar una explicación a la composición de los sedimentos de los sondeos, habría que remontarse al último ciclo eustático, iniciado con ocasión de la regresión marina durante el último máximo glacial, hace aproximadamente 20.000 años. En ese momento la plataforma quedó expuesta en su totalidad a condiciones subaéreas (Fig. 3).

Durante el periodo posterior de recuperación eustática (Finipleistoceno), tuvo lugar la de transgresión durante la cual los valles excavados y zonas más deprimidas se comenzaron a rellenar de material del material generado durante etapas anteriores y las aportaciones en curso.

En general, la contaminación antrópica se localiza en los primeros centímetros de sedimento. En los materiales estudiados de la plataforma continental interna ocurre lo mismo, aunque también se han detectado algunas concentraciones anómalas en zonas más profundas. El ligero enriquecimiento, que se produce en las zonas más profundas, podría estar asociado al modo en que se extraen los sondeos; en muchas ocasiones, el tubo extraído se posa sobre el fondo antes de ser emergido, por lo que puede entrar en contacto directo con el sedimento más superficial y, así, ser enriquecido.

Aparentemente, las bajas concentraciones de elementos potencialmente contaminantes no deberían suponer una amenaza para los seres vivos que habitan la zona ya que los enriquecimientos detectados son bastante puntuales sin espesores significativos que indiquen grandes aportes. Sin embargo, sería conveniente realizar un estudio de la forma en la que se encuentran los elementos, para saber más acerca de su biodisponibilidad y potencial transferencia hacia el medio inmediato.

El análisis estadístico univariante muestra una buena correlación entre el Rb y el Al. Puesto que dicho elemento se encuentra principalmente asociado a los aluminosilicatos presentes en las arcillas, se trata de una correlación esperable. Destacar también la correlación existente entre Hg el As que podría deberse a su paragénesis mineral en los depósitos de mercurio presentes en la cuenca del río Nalón.

En cuanto al análisis de componentes principales, la componente 1 podría estar asociada a actividades antrópicas

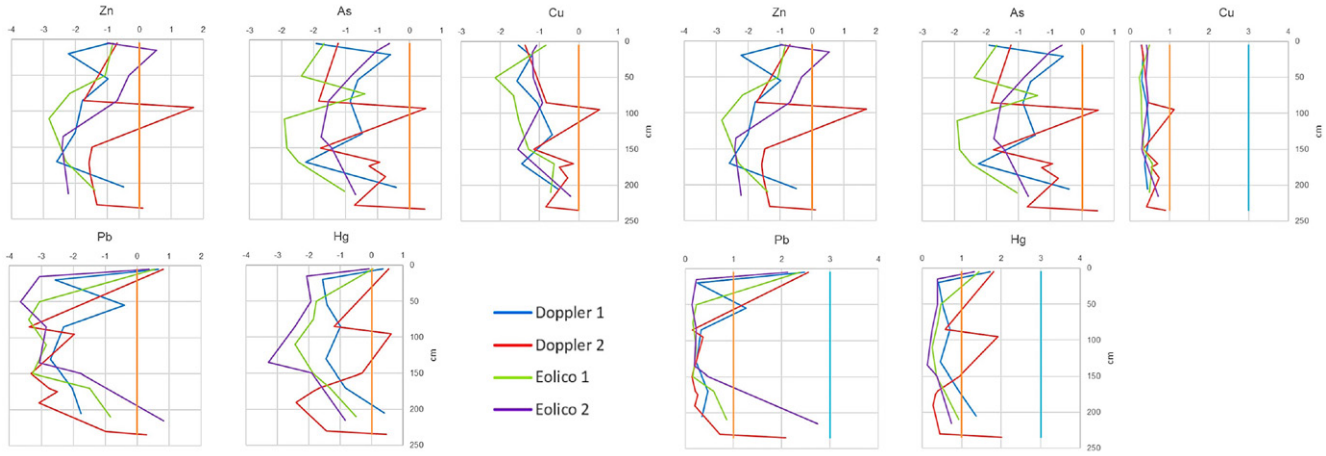


FIGURA 2. Factor de Enriquecimiento (izquierda) e Índice de Geoaculumación (derecha) de los elementos analizados en los cinco sondeos extraídos.

debido a que los elementos que mayor peso presentan en la misma (Zn, As, Cu, Hg) se pueden relacionar con actividades mineras asociadas al río Nalón. Por su parte, las componentes 2 y 3 explicarían la formación paragenética de algunos minerales, puesto que suelen encontrarse asociados de forma natural. Finalmente, en el caso de la componente 4 (Pb) representa el mayor peso. Dado que de manera natural los materiales geológicos cercanos no presentan elevados niveles de este elemento, el mismo se asocia probablemente a emisiones de industria pesada localizada en el área de Avilés, cercana a nuestra zona de estudio.

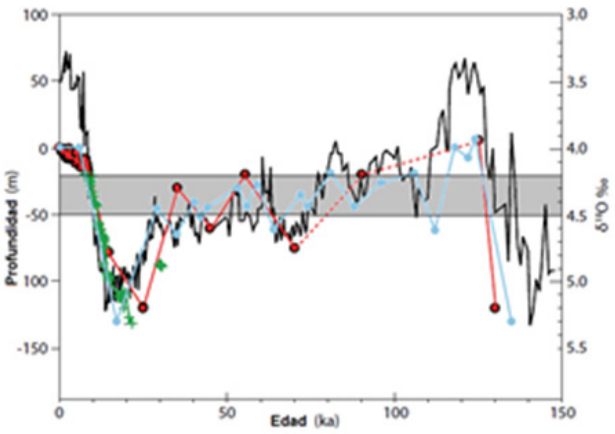


FIGURA 3. Fluctuaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno final para el Océano Atlántico. En negro, la curva propuesta por Shackleton *et al.* (1983). En rojo, verde y azul, curvas determinadas a partir de registros de δ18O en distintos puntos del Océano Atlántico. En gris, la franja batimétrica que abarca la plataforma interna.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Clúster de Energía, Medio Ambiente y Cambio Climático de la Universidad de Oviedo, así como a la empresa INSUMA, la cesión de información y sondeos para realización de este trabajo.

Este trabajo es una contribución al Proyecto 639 del PICG de la UNESCO “Cambio del nivel del mar de minutos a milenios”.

REFERENCIAS

Blott, S. J., y Pye, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11): 1237-1248.

Flor, G. (1978): Relación entre la distribución de sedimentos y la circulación costera en la región del Cabo Peñas. *Trabajos de Geología*, 10(10): 183-195.

Fernández-Valdés Lloret, J.M. (1997): *Morfología y sedimentación de la plataforma continental interna del área central de Asturias.* Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 232 p.

García-Ordiales, E., Loredo, J., Esbrí, J.M., Lominchar, M.A., Millán, R. y Higueras, P. (2014): Stream bottom sediments as a mean to assess metal contamination in the historic mining district of Almadén (Spain). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment,* 28(6): 357–376.

Shackleton, N.J., M.A., Hall, J. y Line C. (1983): Carbon isotope data in core V19-30 confirm reduced carbon dioxide concentration in the ice age atmosphere. *Nature*, 306. 319–322.

El Programa Internacional de Geociencias (PICG-UNESCO) en España: 45 años sirviendo al desarrollo de la Geología

The International Geosciences Program (IGCP-UNESCO) in Spain: 45 years serving to the progress of Geology

J.I. Valenzuela-Ríos

Depto. de Botánica y Geología; Universidad de Valencia; c/Dr. Moliner 50; 46100 Burjasot. jose.i.valenzuela@uv.es

Resumen: El Programa Internacional de Geociencias (PICG) es una iniciativa conjunta de la UNESCO y de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas y representa la única red mundial de cooperación internacional y multidisciplinar en Geociencias. El PICG constituye una plataforma internacional para que los científicos colaboren en proyectos encaminados a comprender la Tierra, sus recursos y el papel de la Geología en la sustentación de la sociedad. Los proyectos PICG han tejido una red mundial de infraestructuras y recursos humanos con gran nivel científico que permiten la transferencia de conocimientos y capacidades entre naciones y generaciones. El PICG se estructura en cinco temas: Cambio Global, Riesgos Geológicos, Hidrogeología, Recursos terrestres y Control Geodinámico de la Tierra. El Consejo Científico del PICG vela por la calidad de los proyectos financiados. España participó en la gestación del PICG y fue uno de los países pioneros en constituir un Comité Nacional que a través de su intensa actividad durante 45 años ha contribuido eficazmente al avance de los objetivos de la UNESCO y a la implementación de proyectos. Esta implicación del Comité ha influido notablemente en el avance del conocimiento geocientífico en España y ha contribuido decisivamente a la internacionalización de la Geología española.

Palabras clave: PICG, UNESCO, UICG, Comité Nacional Español, internacionalización de la Ciencia.

Abstract: *The International Geoscience Programme (IGCP) is a joint initiative of UNESCO and the International Union of Geological Sciences and represents the unique worldwide network intertwining international and multidisciplinary cooperation in Geosciences. IGCP furnishes scientists with an international forum to cooperate in projects aiming to better understand the Earth, its resources and the role the Geology plays in sustaining society. IGCP projects have tight-knitted a global network of research infrastructure and high-standard scientists allowing transfer of knowledge and capacities among nations and generations, IGCP projects deal with global issues within five main themes: Global Change, Geohazards, Hydrogeology, Earth Resources and Geodynamics. The IGCP International Scientific Board secures the quality of the supported projects. Spain participated at the beginning of the process and was one of the initial countries in having a National Committee, which through its rigorous and intensive activity during 45 years has significantly contributed to the advancement of the UNESCO's objectives and to the project implementation. This Committee's commitment with IGCP has played a remarkable part in the advancement of the geoscientific knowledge in Spain and has confidently catalysed the internationalization of the Spanish Geological literacy.*

Keywords: *IGCP, UNESCO, IUGS, Spanish National Committee, Science internationalization*

INTRODUCCIÓN

El Programa Internacional de Ciencias de la Tierra (PICG) es una iniciativa conjunta de la UNESCO y de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) que comenzó su andadura en 1972 con el objetivo de alcanzar un progreso mundial en la investigación sobre las Ciencias de la Tierra y que este progreso científico sirviera para mejorar la calidad de vida y la prosperidad en todo el mundo.

Desde su creación el PICG ha proporcionado a científicos de todo el mundo una plataforma internacional multidisciplinar donde compartir e intercambiar conocimientos y avances tecnológicos en la resolución de problemas científicos. Originalmente se abordó el tema de la correlación estratigráfica internacional, de ahí que el nombre inicial del programa fuera Programa Internacional de Correlación Geológica.

A lo largo de estos casi 50 años de desarrollo del programa, la estructura ha variado un poco y así los proyectos actuales deben de tener en cuenta los valores fundamentales de la UNESCO y tener un claro impacto social, de ahí el actual subtítulo del Programa "Las ciencias de la Tierra al servicio de la sociedad". De hecho, existe el compromiso decidido de contribuir en cada uno de los proyectos aprobados a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030.

España fue uno de los países pioneros que participó en la Conferencia Intergubernamental de Expertos que en 1971 en la Casa de la UNESCO en París preparó el diseño inicial del PICG. Los cuatro delegados españoles que participaron en esta reunión de Expertos fueron Manuel Alvarado Arillaga, José María Fúster Casas, Francisco de Pedro Herrera y Salvador Reguant Serra (Reguant, 1996).

Así entre 1973 y 1975 se creó la Comisión del CSIC para el PICG, que en la reunión del 6 de febrero de 1975 acordó la creación de un Comité o Comisión Nacional del PICG. Se puede considerar esta fecha como la de creación del Comité Nacional Español del PICG, que inicialmente se denominó Comisión Nacional del PICG y dos años después (reunión del 16 de junio de 1978) adquirió su denominación actual de Comité (Reguant, 1996; Valenzuela-Ríos & Mediavilla, 2017).

Por lo tanto, España es, junto con Austria, Suiza y Suecia, uno de los primeros países en contar con una Comisión Nacional del PICG.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar la evolución del programa PICG en estos 48 años y destacar la contribución española en el ámbito de cooperación internacional y en el impacto que ha tenido el PICG en el desarrollo de la Geología en España.

CREACCIÓN, FUNCIONAMIENTO Y EVOLUCIÓN DEL PICG

En la 17ª reunión de la Conferencia General de la UNESCO celebrada en París en 1972 (17 de octubre-21 de noviembre; Resolución 2.313, pp. 46-48; documento 17 C/66) se aprueban los objetivos, el contenido general del programa y los estatutos del PICG (UNESCO, 1972).

En esta resolución ya se vislumbran las importantes contribuciones de la Geología al desarrollo y la mejora del bienestar de la sociedad y subraya la importancia de formar especialistas para el necesario progreso económico y científico, especialmente en países emergentes. Además se decide que este Programa Internacional de Correlación Geológica sea "*interdisciplinario y a largo plazo en colaboración con la Unión Internacional de Ciencias Geológicas*" (UNESCO, 1972).

Para el desarrollo de los objetivos del PICG se propone la creación de cuatro grupos de trabajo que permitan desarrollar estudios multidisciplinares de ámbito global: 1) Cronología y estratigrafía: consecuencias prácticas. Este grupo se ocupa de aspectos estratigráficos, paleontológicos, sedimentológicos y los relacionados con los combustibles fósiles; 2) Principales fenómenos geológicos en el tiempo y el espacio y sus repercusiones en los procesos ambientales. Este grupo se ocupa de aspectos relacionados con el Cuaternario y con Geología ambiental e Ingeniería Geológica; 3) Distribución de los yacimientos minerales en el espacio y el tiempo y relación de los procesos mineralogénicos con otros fenómenos de la historia de la Tierra, Este grupo se ocupa de Yacimientos minerales, Petrología, Vulcanología y Geoquímica; 4) Métodos cuantitativos y tratamiento de datos en la correlación geológica. Este grupo se ocupa de Geofísica, Tectónica y Geología estructural. Posteriormente, en 2004 se sumo el Grupo de Trabajo de Hidrogeología.

A finales del siglo XX, la UNESCO encargó un estudio externo del PICG que finalizó con una serie de recomendaciones al programa. La conclusión principal fue que los proyectos deberían de hacer más hincapié con los valores fundamentales de la UNESCO y de este modo se prestará más atención a proyectos de geología aplicada con una marcada importancia social. Derbyshire (2012) detalla los cambios que este informe propició en el programa.

Entre ellos destaca que a partir de 2007 los Grupos de Trabajo desaparecen y se establecen cinco temáticas principales a las que se tienen que referir los proyectos PICG: 1) El cambio global y la evolución de la vida: las evidencias en el registro geológico. 2) Los riesgos geológicos: mitigación de riesgos. 3) Hidrogeología: las geociencias del ciclo del agua. 4) Los recursos de la Tierra: la sustentación de nuestra sociedad. 5) Control geodinámico de nuestro medio ambiente. Además se incluyó una nueva faceta, que son los proyectos de "Científicos Jóvenes" cuyo objetivo es fomentar la cooperación internacional entre científicos jóvenes de países en vías de desarrollo y países desarrollados, y en los que el líder principal debe ser un joven científico de un país en desarrollo.

Uno de los cambios recientes más importante ha sido la creación del nuevo Programa IGGP en 2015. Así en la 38ª Conferencia General de la UNESCO celebrada el 17 de noviembre de 2015 en París se adoptaron los estatutos de nuevo Programa Internacional de Geociencias y Geoparques (PIGG). Ello conllevo algunos cambios en los estatutos del PICG que habían permanecido invariables desde 1972.

El nuevo PIGG propició una revisión del PICG y permite conectar de un modo formal las actividades del PICG a las de los Geoparques Globales de la UNESCO. El nuevo programa PIGG proporciona una estructura bajo la cual ambos programas (PICG y Geoparques) puedan cooperar, manteniendo la independencia de cada uno de ellos. Este cambio ha propiciado un aumento en la visibilidad de la Geología en general dentro de la UNESCO y en las delegaciones de los Estados Miembros.

Los proyectos desarrollados en el marco del PICG permiten alcanzar los objetivos del mismo. La UNESCO (2012) elaboró un tríptico informativo sobre los criterios que deben de seguir los proyectos que se soliciten en este programa. Es importante destacar que se debe indicar la relevancia para la sociedad, afrontar la necesidad de crear capacidades en los países en vías de desarrollo, hacer hincapié en la enseñanza y formación y apoyar a los grupos con escasa representación.

Igualmente, en este tríptico se detallan los criterios que deben seguirse a la hora de solicitar un proyecto dentro del PICG. Además de la alta calidad científica, se pone énfasis en la cooperación interdisciplinar e internacional y se manifiesta la necesidad de participación de científicos de países en vías de desarrollo. Es importante mostrar el potencial de estos proyectos para las ciencias geológicas y los beneficios sociales y sobretodo apoyar la visibilidad internacional de las ciencias geológicas tanto mediante publicaciones científicas de calidad como divulgativas y también, mediante la difusión del programa y los logros en los medios de comunicación. Es muy importante reconocer explícitamente el apoyo de la UNESCO, la IUGS y el PICG.

El Consejo Internacional del PICG se encarga de evaluar las propuestas de los proyectos presentados cada año y de la evaluación anual del seguimiento de la calidad de los proyectos en curso de ejecución y de los que están en su último año. Esta evaluación continua de la calidad de los proyectos confiere al programa un reconocido prestigio internacional que ha permitido evaluaciones positivas del mismo por parte de la UNESCO.

Este Consejo Internacional está constituido por seis miembros ordinarios con derecho a voto: una persona que preside el Consejo y cinco directores temáticos. Estos seis miembros son nombrados de mutuo acuerdo por la Directora General de la UNESCO y el Presidente de la IUGS. La Directora General de la UNESCO y el Secretario General de la IUGS (o sus representantes) son miembros "*ex officio*" del Consejo sin derecho a voto.

Para desarrollar su labor científica el Consejo Internacional se apoya en el Consejo Científico Internacional que debe asesorar en la toma de decisiones científicas. Este Consejo Científico Internacional consta de unos 50 científicos (entre 8-10 científicos por cada uno de los cinco temas). Las decisiones finales las toman la Presidente juntamente con los directoras/es temáticos. Sin embargo, son los especialistas científicos quienes evalúan los proyectos y remiten sus informes a los directores temáticos correspondientes.

Todos los miembros del Consejo Científico Internacional se eligen por sus altas cualificaciones científicas en un contexto internacional altamente competitivo. Precisamente, una de las fortalezas del programa se basa en la excelencia científica de los proyectos.

Desde su creación, se han propuesto más de 700 proyectos, de los que unos 400 han sido financiados. Estos proyectos han permitido la colaboración internacional de miles de científicos de más de 150 países. En el año 2018 había 27 proyectos activos con participación de 105 países. Estos proyectos estaban liderados por 160 científicos de 57 países. En 2019, el número de proyectos activos aumentó a 31.

EL PICG EN ESPAÑA

Como se ha indicado anteriormente España participó con cuatro delegados en la Conferencia Intergubernamental de Expertos para preparar un Programa Internacional de Correlación Geológica celebrada en París del 19-28 de octubre de 1971. El informe que se elaboró sirvió de base para establecer el Programa, que se aprobó en la 18ª Conferencia General de la UNESCO en París. Así pues, España ha estado presente desde la gestación del PICG y su participación ha sido siempre muy activa. Además España ha sido uno de los cuatro países pioneros en crear un Comité Nacional que ha venido funcionando ininterrumpidamente desde 1975.

El Comité Nacional representa al PICG en España y el objetivo principal es organizar y coordinar la difusión del programa en España y mantener vínculos entre las instituciones geológicas nacionales, la población y las comunidad científica internacional.

El Comité Nacional ha fomentado la participación de los científicos españoles en los proyectos PICG facilitando el acceso a investigación y tecnología puntera, la construcción y reforzamiento de redes científicas internacionales que ha contribuido al progreso científico español y su visibilidad en distintos campos de las Ciencias Geológicas.

La implicación de investigadores españoles en el PICG comenzó muy pronto, en el Proyecto nº 2 "Correlation of the Precambrian in Mobile Zones", que se desarrolló entre 1974-1980, siendo el responsable del Grupo de Trabajo español el Prof. Fonboté de la Universidad de Granada. Desde entonces los investigadores españoles han participado en más de 100 proyectos del PICG, con una participación promedia ligeramente superior al 20%, que en varios momentos ha superado el 35% y que en el año 2017 alcanzó un 57 % con participación española en 12 de los 21 proyecto vigentes.

El liderazgo español de estos proyectos internacionales tardó un poco más. Así el primer proyecto PICG con una líder española fue el nº 286 "Early Paleogene Benthos" coliderado por los Profesores Hottinger (Universidad de Basilea) y Caus (Universidad Autónoma de Barcelona). Desde entonces el liderazgo español de proyectos ha sido continuo, contabilizándose un total de 20 proyectos (co) liderados por científicos españoles (Tabla I).

Como ponen de manifiesto Reguant (1996), Quesada (2017) y Valenzuela-Ríos & Mediavilla (2017) la cooperación internacional multidisciplinar y el intercambio científico de conocimientos y tecnología desarrollados en los proyectos PICG han sido relevantes para el progreso de la Geología en España y su visibilidad internacional.

Se puede indicar que el Comité Nacional Español del PICG contribuye de una manera sustancial al cumplimiento de los objetivos de la UNESCO y a la implementación del PICG en España y, mediante el apoyo a solicitudes transnacionales y el establecimiento de contactos con otros comités nacionales, a su activación internacional. En concreto el Comité apoya y asesora las propuestas científicas que se envían al Secretariado en París, propone candidatos al Consejo Científico y estimula la participación de los investigadores españoles en los nuevos proyectos PICG de modo que les permita tener acceso a las investigaciones punteras y compartir conocimientos. Asimismo, se mantiene un contacto periódico con la Secretaría General en Paris, mediante la elaboración anual del Informe del Comité y la participación activa en la reunión anual internacional.

Por último cabe destacar que se mantiene un contacto y colaboración estrecha con el programa "hermano" de Geoparques Globales de la UNESCO y que actualmente hay dos científicos españoles en el Consejo Científico Internacional en los temas Hidrogeología y Cambio Global.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mas sincera gratitud a todas las personas que han hecho posible la historia del PICG en España, desde los primeros delegados que acudieron a la reunión de

Proyecto nº	Título y duración	Líderes
286	Early Paleogene Benthos 1990-1994	L. Hottinger, **E. Caus**
324	GLOPALS: Global Limnogeology 1991-1995	**L. Cabrera, P. Anadón**
382	Seismotectonic and Seismic Hazard Assesment of the Mediterranean Basin 1996-2000	D. Giardini, K. Makropoulos, **J. Mezcua**, S. Riad
393	Neritic Middle-Upper Eocene 1996-2000, OET 2001	**E. Caus**
455	Basement Volcanoes Interplay and Human Activities 2001-2005	A. Tibaldi, **M. García**, A.M. Lagmay, V.V. Ponomareva
502	Global Comparison of Volcanic-Hosted Massive Sulphide Districts 2004-2008	R. Allen, **F. Tornos**, J. Peter , N Çagatay
511	Submarine Mass Movements and their Consequences 2005-2009	J. Locat, J. Mienert, **R. Urgele**s, A. Solheim
513	Global Study of Karst Aquifers and Water Resources 2005-2009	C. Groves, Y. Daoxian, **B. Andreo-Navarro**, H. Viles
519	Integrated Management of Coastal Aquifers in Iberian America 2005-2009	E. Bocanegra, **E. Custodio, M. Manzano**, G. Cardoso
546	Subduction zones of the Caribbean 2007-2011	**A. García-Casco**, U. Martens, D. Buchs
574	Bending and Bent Orogens, and Continental Ribbons 2009-2013	S.T. Johnston, **G. Gutiérrez-Alonso**, A. Weil
585	E-MARSHAL: Earth's Continental MARgins: aSessing the geoHAzard from submarine Landslides 2010-2014	**R. Urgeles**, D. Mosher, J. Chaytor, M. Strasser
597	Amalgamation and Breakup Pangea: The Type Example of the Supercontinent Cycle 2011-2015	J.B. Murphy, J.D. Keppie, **C. Quesada**, B. Collins
598	Environmental Change and Sustainability in Karst Systems 2011-2014	Z. Cheng, A. Auler, J. Yongjun, M. Knez, **B. Andreo-Navarro**, Y. Daoxian, C. Groves
604	Groundwater and Wetlands in Ibero-America 2011-2015	E. Bocanegra, G. Cardoso, **E. Custodio**, T. Betancur, **M. Manzano**,
619	Contourites: Processes & Products 2012-2016 (not implemented)	D.A.W. Stow, D. Van Rooij, **F.J. Hernández-Molina**, M. Rebesco, **P. Puig**, A. Voelker, A. Viana
637	Heritage Stone designation 2015-2019	**D. Pereira**, B.J. Cooper, B. Schouenborg, S. Kramar, J. Elsen, J.T. Hannibal, B. R. Prat, N.R. Shaffer, F. Cabañas Navarro, H. Kato, M. Jayananda, P. Paige-Green, B. R. Marker
655	Toarcian Oceanic Anoxic Event: Impact on Marine Carbon Cycle and Ecosystems 2017-2019	**M. Reolid**, E. Mattioli, L.V. Duarte, A. Marok
661	The Critical Zone in Karst Systems 2017-2021	J. Zhongcheng, Z. Cheng, M. Knez, C. Groves, A. Auler, j. Yongjun, **B. Andreo-Navarro**, Y. Daoxian, E. Raeisi
682	Mine Tailing Revalorization 2019-2021	M.A. Caraballo Monge, L. Yesares, J.C. Castillo Hernández, A. Parbhakar-Fox, G.J. Copello, M. Becerra, **R. Fernández de Luis, A. Parviainen**, A. Gómez Arias, E. González Diaz, B. Riquelme Rivas, S. García

TABLA 1. Listado de proyectos PICG con liderazgo español (en negrita). OET significa On Extended Term. Se puede prolongar la duración de un proyecto un año que continúa con el marchamo de UNESCO, pero sin financiación durante la extensión.

París en 1971 hasta el último investigador joven que se ha incorporado a uno de los PICGs vigentes.

REFERENCIAS

Derbyshire, E. (2012): The International Geoscience Programme: a brief history. En: *Tales Set in Stone-40 Years of the International Geoscience Programm (IGCP)*. (UNESCO ed.) Paris, France, 16-24.

Quesada, C. (2017): Influencia del PICG en los avances producidos en España en el campo de la Geodinámica. En: *El Programa Internacional de Geociencias en España* (J.I. Valenzuela-Ríos y R. Mediavilla López, eds.). IGME, Madrid, 17-29.

Reguant, S. (1996): El Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG): Perspectiva internacional y española. *Geogaceta*, 20 (7): 1644-1646.

UNESCO (1972): Actas de la Conferencia General 17ª reunión París, 17 de octubre-21 de noviembre de 1972. Volumen 1 Resoluciones recomendaciones. Res. 2.313: 46-48.

UNESCO (2012): International Geoscience Programme (IGCP) in the Service of Society. UNESCO IGCP Secretariat.

Valenzuela-Ríos, J. I. y Mediavilla López, R. (2017): Introducción. En: *El Programa Internacional de Geociencias en España* (J.I. Valenzuela-Ríos y R. Mediavilla López, eds.). IGME, Madrid, V-VI.

El Programa Internacional de Geociencias de la UNESCO PICG-596 y la internacionalización de la Ciencia Española

The UNESCO International Geoscience Programme, IGCP-596 and the internationalization of the Spanish Science

J. I. Valenzuela-Ríos y J.-C. Liao

Dpto. de Botánica y Geología, Universidad de Valencia; c/Dr. Moliner 50; 46100 Burjasot. jose.i.valenzuela@uv.es; jau.liao@uv.es

Palabras clave: UNESCO, cambio climático, biodiversidad, Devónico, liderazgo científico español

Resumen

El PICG 596 auspiciado por la UNESCO y la IUGS (2011-2016) tuvo como principal objetivo el análisis mundial de los cambios climáticos y los patrones de biodiversidad acontecidos en el Paleozoico Medio. Además, los estudios detallados se planificaron en tres intervalos de tiempo específicos: 1) el predominio de condiciones "greenhouse" durante el Givetiense; 2) el comienzo del cambio climático durante la transición del Frasniense Inferior-Frasniense Medio (Zona *Punctata*) y 3) el cambio a condiciones de "icehouse" durante el Fameniense tardío al Tournaisiense.

En la primera reunión del Proyecto (Graz, Austria, 2011) la candidatura española de formar un grupo regional dentro del proyecto fue aprobada por unanimidad. El Grupo Español de Trabajo ha sido uno de los más activos y su liderazgo se ha notado específicamente en los Pisos del Devónico Inferior (Valenzuela-Ríos y Liao, 2016) y en el Givetiense (Liao y Valenzuela-Ríos, 2016). Además de las numerosas contribuciones científicas el proyecto sirvió de plataforma para el desarrollo de nuevas colaboraciones internacionales y proyectos conjuntos. España alcanzó altas cotas de liderazgo y estaba en la frontera del conocimiento, pero la falta de financiación adecuada por parte del Estado Español ha supuesto un claro retroceso científico en el contexto internacional y ha mermado las esperanzadoras perspectivas de futuro que nuestro país podría haber alcanzado ya con un apoyo económico apropiado.

Abstract

The main goal of IGCP 596 funded by UNESCO and IUGS (2011-2016) was to analyse climatic change and biodiversity patterns during the Mid-Palaeozoic (Devonian, Carboniferous). Besides, three unique intervals were examined in detail: 1) Givetian greenhouse; 2) Early-Middle Frasnian (punctata Zone) beginning of climate change and 3) Late Famennian-Tournaisian icehouse.

During the opening Meeting (Graz, Austria, 2011) the Spanish proposal of creating a regional group within the project was unanimously approved. The Spanish Working Group has been one or the more active ones and its leadership had a special impact in the Lower Devonian Stages (Valenzuela-Ríos and Liao, 2016) and Givetian (Liao and Valenzuela-Ríos, 2016). In addition to the numerous scientific contributions the IGCP 596 was a platform for developing new collaborations and joint projects. Spain reached a strong leadership and was at the cutting-edge in these matters; however, the lack of appropriate support by the Spanish Government had a negative impact in the Spanish scientific progress within the international context and has considerable shrink the promising future perspectives, which would have been reached with the proper economic support.

Referencias

Liao, J.-C. y Valenzuela-Ríos, J.I. (2016). *Berichte des Institutes für Erdwissenschaften, Karl-Franzes-Universität Graz* 22, 51-55.

Valenzuela-Ríos, J.I. y Liao, J.-C. (2016). *Berichte des Institutes für Erdwissenschaften, Karl-Franzes-Universität Graz* 22, 77-82.

La diversidad cultural y el diálogo internacional para un mundo en PAZ: La aportación del PICG

Cultural diversity and international dialogue for a World in PEACE: IGCP contribution.

J. I. Valenzuela-Ríos y J.-C. Liao

Dpto. de Botánica y Geología, Universidad de Valencia; c/Dr. Moliner 50; 46100 Burjasot. jose.i.valenzuela@uv.es; jau.liao@uv.es

Palabras clave: tolerancia, cooperación, sostenibilidad, paz mundial, Geología.

Resumen

La UNESCO promueve una serie de valores que persiguen el entendimiento entre culturas diferentes, el respeto, la cooperación internacional,…en búsqueda de un mundo más justo, más sostenible y en paz. El Programa Internacional de Ciencias Geológicas (PICG) contribuye a alcanzar los objetivos principales de la UNESCO. De este modo el PICG representa un programa internacional y multidisciplinar de cooperación científica entre países desarrollados y emergentes y entre generaciones con el propósito de contribuir a un mundo más estable y en paz y con el intento de promover el uso de las Ciencias Geológicas en problemas globales, como p. ej., desarrollo sostenible, seguridad y salud de la población mundial y la reducción de los efectos negativos que causan los desastres naturales y la explotación de recursos terrestres.

Esta comprensión global de la Geología terrestre y de las aportaciones que los geólogos podemos hacer al bienestar general de la población se ven favorecidas por la implementación de los PICGs. Por definición los proyectos son internacionales y las actividades que en ellos se desarrollan (trabajos de campo, talleres, conferencias, cursos especiales de capacitación,…) requieren la continua exposición de los participantes a diferentes culturas y diversas maneras de entender la vida. Los lazos trabados en las numerosas actividades permiten una mejor comprensión de las diferencias culturales y facilita el diálogo entre naciones. Asimismo estas actividades tienden a reducir las diferencias metodológicas y tecnológicas entre países con diferentes grados de desarrollo científico. En definitiva se tiende a construir un mundo más solidario, justo, tolerante, sostenible y seguro, que a la larga facilitará el acercamiento a un mundo en PAZ.

Abstract

UNESCO promotes several values aiming at the understanding among different cultures, respect, international cooperation... These values attempt a more peaceful, equitable and sustainable World. The International Geoscience Programme (IGCP) contributes to reach the main UNESCO pursuits. In this sense, the IGCP is an international and multidisciplinary program of scientific cooperation between developed and emerging countries and between generations with the goal of contributing to a more stable and friendly Planet. IGCP also aspires to promote the use of geological knowledge in global issues, such us e.g. sustainable development, the health and safety of humanity and the reduction of "unfriendly" effects caused by natural disasters and resources exploitation.

The holistic comprehension of the Earth Geology and the inputs geologist can provide to the human wellbeing are favoured by the implementation of IGCPs. By definition, these projects are international and the activities that take place in them (e.g., fieldwork, workshops, capacity-building and training courses, conferences) require participants to be continuously exposed to different cultures and diverse ways of seeing and understanding the world. The bonds forged through numerous common activities enable a better comprehension of cultural diversity and facilitate the dialogue among nations. In addition to these activities, they bridge the methodological and technological gaps between developing and developed countries. In brief, IGCP helps to built a better, more harmonious, tolerant and safe world, which in turn will pave the way towards a World in PEACE.

Potencial minero en bismuto de Andalucía

Andalusian Bismuth Mining Potential

E. Boixereu[1], A. Santiago[2], R. Martinez-Orio[1], T. Sánchez-García[1], C. Fernández-Leyva[3] y A. Del Olmo[1]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. e.boixereu@igme.es; ro.martinez@igme.es; t.sanchez@igme.es; a.delolmo@igme.es
2 Dpto. Investigación Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Litoteca, Ctra. Estación, s/n, 14200 Peñarroya. a.santiago@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo. 18006 Granada. c.fernandez@igme.es

Palabras clave: bismuto, Zona Centro Ibérica, Pedroches, perovskita, POMINAL.

Resumen

El bismuto es un metal muy escaso en la corteza terrestre, y su producción anual mundial es reducida, del orden de las 19.000 t anuales (Callaghan, 2020). Sus aplicaciones industriales son limitadas. Sin embargo, gracias a que tiene un peso atómico similar al del plomo, pero muy baja toxicidad, se considera un sustituto muy eficaz de éste. En este sentido, recientes estudios han descubierto un semiconductor estable de óxido de perovskita, basado en bismuto, que se podría utilizar en la fabricación de células solares de lámina delgada (Te Cd GIGS) (Bartolomé *et al.*, 2019). Las perovskitas de plomo, que eran las que se utilizaban hasta ahora no podían desarrollarse comercialmente debido a su alta toxicidad. Este descubrimiento abre una gran esperanza para el futuro del bismuto por sus prometedoras aplicaciones en el campo de la energía fotovoltaica.

En Andalucía, en el batolito de Los Pedroches, se encuentran un conjunto de pequeños yacimientos de bismuto de gran interés, por ser de las escasas mineralizaciones conocidas a nivel mundial dónde los minerales de bismuto son la mena principal. Estos yacimientos produjeron entre los años 1906 a 1969 unas 5.000 t de mineral (Boixereu *et al.*, 2011). Se trata de mineralizaciones filonianas, venas polimetálicas (Bi-Co-Ni-As-Ag), que arman en las pizarras de la aureola de metamorfismo de contacto. En el proyecto POMINAL se pretende valorar su potencial minero.

Abstract

Bismuth is a very rare metal in the earth's crust, and its annual world production is scarce, about 19,000 t per year (Callaghan, 2020). Its industrial applications are limited, however, because it has an atomic weight similar to lead, but very low toxicity, and it is considered a very effective substitute for it. Recent studies have discovered a stable semiconductor of perovskite oxide, based on bismuth, which could be used in the manufacture of thin-film solar cells (Te Cd GIGS) (Bartolomé et al., 2019).

Los Pedroches batholith (Andalusia) has a set of small interesting bismuth deposits. Globally, these mineralizations are one of the few locations where bismuth minerals are the main ore. Between 1906 and 1969, these deposits has produced about 5,000 tons of ore (Boixereu et al. 2011). These are polymetallic (Bi-Co-Ni-As-Ag) vein type deposits. The POMINAL project aims to assess its mining potential.

Referencias

Bartolomé, J., Climent-Pascual, E., Redondo Obispo, C. Zaldo, C., Álvarez, A.L. Andrés, de A. y Coya C. (2019). *Chemistry of Materials*., 31, 10, 3662-3671 doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b00270

Boixereu, E., Palero, F., Marimón, J. y Feixas, C. (2011). Descripción de las mineralizaciones de la Zona Centro Ibérica. En: *Cartografía de recursos minerales de Andalucía* (A. García-Cortés, Ed. ppal.), IGME-Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Madrid, 61-75.

Callaghan, R.M. (2020). Bismuth *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.*

Elaboración de mapas predictivos para la prospección de antimonio mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial

Elaboration of predictive maps for antimony prospecting using artificial intelligence techniques

D. Carrasco[1], S. Lorenzo[2,3], J.A. López-Gomez[4], J.M. Esbrí[2,3] y P. Higueras[2,3]

1 Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Daniel.Carrasco1@alu.uclm.es;
2 Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, UCLM. Saturnino.Lorenzo@uclm.es;
3 Instituto de Geología Aplicada y Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, UCLM. josemaria.esbri@uclm.es; pablo.higueras@uclm.es
4 Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información. Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, UCLM. julioalberto.lopez@uclm.es

Resumen: Los mapas predictivos de mineralización constituyen actualmente una poderosa herramienta para la prospección minera y se basan, por un lado, en la utilización de datos relacionados con el contexto geológico y minero de área y, por el otro, en sus características geoquímicas. Nuestro equipo trabaja en dos proyectos en el sector meridional de la Zona Centroibérica, en el que se localizan mineralizaciones de mercurio (Hg) importantes y bien conocidas, pero sin interés minero en el momento actual, y mineralizaciones de antimonio (Sb), que en la actualidad tiene la consideración de materia prima crítica para la Unión Europea. Las mineralizaciones de Hg se localizan en el sinclinal de Almadén, y las de Sb, en el de Guadalmez, adyacente al sur del de Almadén. Teniendo en cuenta la afinidad geoquímica entre ambos elementos, se pretende utilizar los datos del sinclinal de Almadén para entrenar a sistemas de inteligencia artificial en la realización de mapas predictivos para mineralizaciones de Sb en el contexto de la Zona Centroibérica meridional, como base para la creación de este tipo de mapas en otras regiones de Europa central y meridional, en la que la explotación de este metal tuvo importancia en tiempos relativamente recientes.

Palabras clave: antimonio, mercurio, mapas predictivos, geoquímica de suelos, Almadén.

Abstract: *Predictive maps of mineralization are currently a powerful tool for mineral exploration; they are based on data both related to the geological and mining context of the area, and to its geochemical characteristics. Our team is currently working on two projects in the southern sector of the Central Iberian Zone; in this area are located important and well-known mercury (Hg) mineralizations, without mining interest at the present time, but also antimony (Sb) mineralizations, which is presently considered as a critical raw material for the European Union. The Almadén syncline hosts the Hg mineralizations, meanwhile the Guadalmez syncline, located parallel and to the south, hosts the Sb ones. Considering the geochemical affinity between both elements, the idea is using the Hg data from the Almadén syncline to train artificial intelligence systems in the obtention of predictive maps for Sb mineralizations in the context of the southern Central Iberian Zone. This can be the basis for the creation of this type of maps in other regions of central and southern Europe, in which the exploitation of this metal was important in relatively recent times.*

Keywords: *antimony, mercury, predictive maps, soils geochemistry, Almadén.*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En la presente comunicación se describen las actividades actualmente en ejecución para elaborar mapas predictivos de mineralizaciones de antimonio en base a información geológico-minera y geoquímica, mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, y tomando como base datos ya existentes para mineralizaciones de mercurio, todo ello en el contexto del Distrito Minero de Almadén y su entorno.

La zona de estudio comprende fundamentalmente los sinclinales de Almadén y Guadalmez, en el sector meridional de la Zona Centroibérica del Macizo Varisco (Fig. 1). En el sinclinal de Almadén es bien conocida la presencia de mineralizaciones de mercurio, que han sido intensamente investigadas desde el punto de vista geológico-minero en la segunda mitad del Siglo XX. Estas mineralizaciones corresponden a dos tipos genéticos: el tipo Almadén, correspondiente a mineralizaciones estratoligadas en la Cuarcita de Criadero (Ordovícico Superior-Silúrico Inferior); y mineralizaciones tipo Las Cuevas, de carácter epigenético, y encajadas en distintas formaciones de la secuencia paleozoica del sinclinal (Hernández *et al.*, 1999). Por su parte, en el sinclinal de Guadalmez, adyacente al sur del de Almadén, existen mineralizaciones filonianas de antimonio, de carácter epigenético, y encajadas también en Cuarcita de Criadero (Gumiel, 1983). Por otra parte, la afinidad geoquímica entre estos dos elementos permite plan-

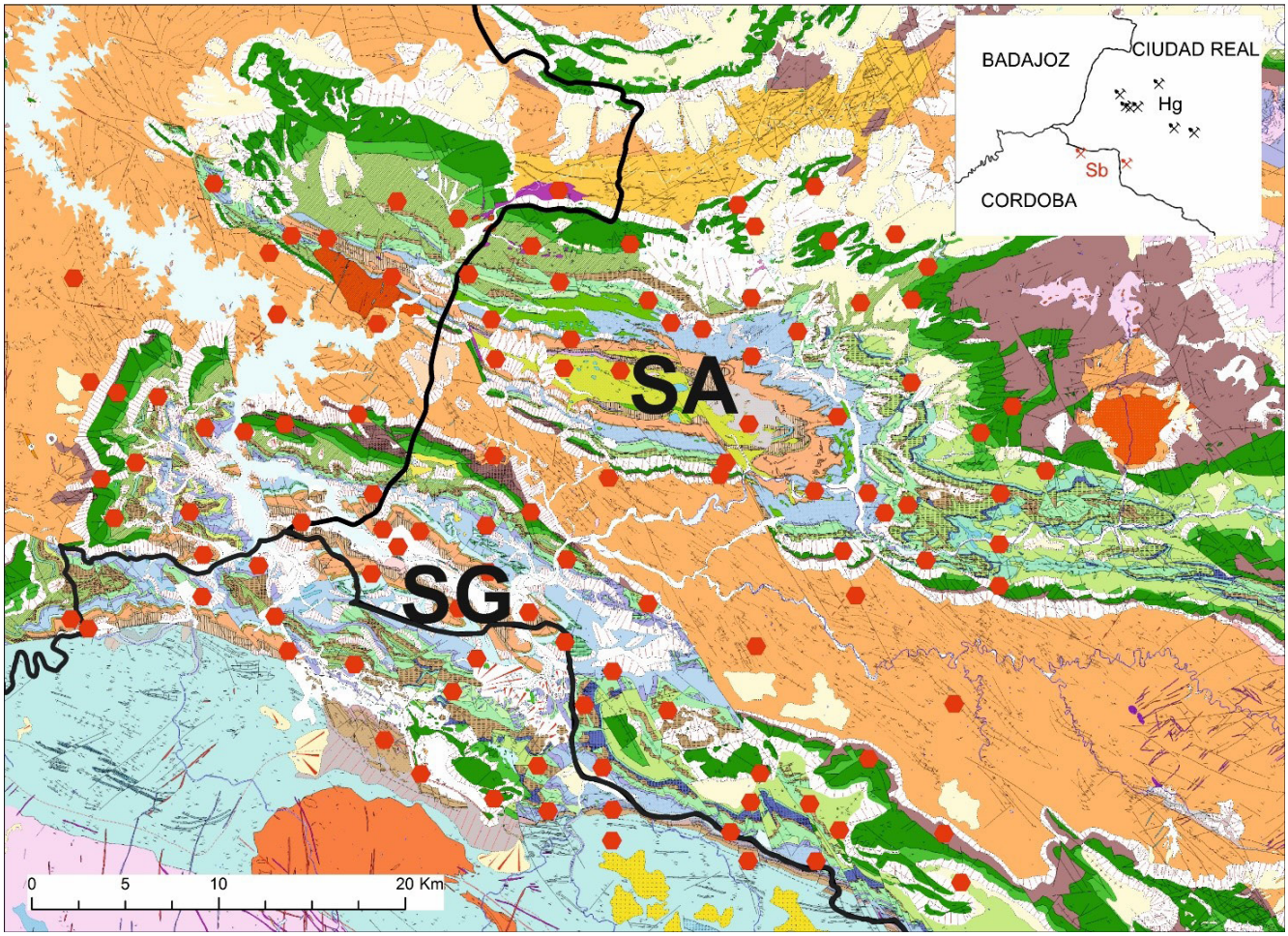


Figura 1.- Esquema geológico de la zona de estudio, con indicación de la situación de las muestras de geoquímica de suelos. En el recuadro de la esquina superior derecha se muestra la localización de las principales mineralizaciones de mercurio y de antimonio. SA: sinclinal de Almadén; SG: sinclinal de Guadalmez.

tear como posible una relación genética entre ambos tipos de mineralizaciones. Para la realización de este proyecto se están tomando un total de 904 muestras de geoquímica de suelos de toda la región de Castilla-La Mancha, y un total de 130 muestras del mismo tipo de la zona de los sinclinales de Almadén y Guadalmez.

En particular el antimonio es un elemento que la Unión Europea considera como recurso estratégico (EC, 2017); se trata de un elemento con numerosos usos en la industria moderna, que en su momento fue objeto de una intensa explotación en España (Gumiel, 1983), y que, debido a su importancia económica y a su alto riesgo de suministro, ya que es producido por escasos países, tiene esta consideración.

METODOLOGIA

El planteamiento para el estudio de la zona correspondiente a los sinclinales de Almadén y Guadalmez es la obtención de mapas predictivos de mineralizaciones de mercurio y antimonio, utilizando técnicas basadas en inteligencia artificial, concretamente, técnicas de aprendizaje automático. Se pretende que los datos de que se dispone sobre la investigación geológico-minera para mercurio en el sinclinal de Almadén, incluyendo localización de mineralizaciones conocidas (más de 50), junto con los datos geológicos y geoquímicos (de arroyos y de suelos) sirvan de base para el establecimiento de uno o varios modelos aplicables al antimonio en el sinclinal de Guadalmez.

Los mapas predictivos de mineralizaciones son representaciones espaciales de la probabilidad de existencia de yacimientos minerales, en base al análisis de información geológico-minera.

Para la obtención de los mapas de mineralización de antimonio se seguirá la metodología indicada en la Figura 2. Se pretende construir un sistema que, dados los datos geológicos y geoquímicos, así como de yacimientos e indicios minerales de que se dispone en el sinclinal de Almadén, sea capaz de aprender a identificar aquellas regiones donde la probabilidad de la existencia de yacimientos de antimonio sea mayor. Esta premisa se establece suponiendo, como se mencionó anteriormente, que existiera una relación genética entre los depósitos de Hg y los de Sb. Finalmente, se desea llevar a cabo una etapa de visualización que permita generar mapas de calor predictivos con los datos obtenidos del modelo.

Así pues, el sistema desarrollado tendrá los siguientes componentes:

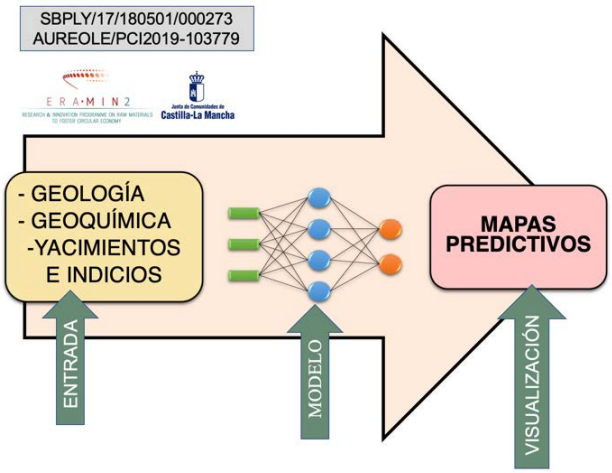


Figura 2. Metodología para la elaboración de mapas predictivos de antimonio, a través de datos de mineralizaciones de mercurio.

Datos de entrada

Los datos de entrada constituyen una parte fundamental dentro del sistema de aprendizaje. Con el objetivo de garantizar un aprendizaje óptimo, los datos de entrada suministrados deben ser lo más exhaustivos y variados posible. Por este motivo se han incluido dentro del conjunto de los datos de entrada datos geológicos de la zona (litológicos y estructurales), geoquímicos (268 muestras de suelos, con determinaciones de 34 elementos de interés y de parámetros edafológicos) y también los yacimientos e indicios de la zona (incluyendo solo los indicios confirmados por las últimas prospecciones realizadas en el distrito minero), con el objetivo de suministrar al sistema la mayor cantidad de información disponible sobre la zona de estudio. En total, se cuenta con un conjunto de 268 muestras analizadas, para cada una de las cuales se han obtenido un total de 43 medidas o variables.

Modelo

Una vez definidos los datos de entrada, el modelo es el componente del sistema que, mediante uno o varios algoritmos, garantizará el aprendizaje de una de las variables en función de los datos de las diferentes muestras. A la hora de elegir un modelo para un sistema de aprendizaje, es importante definir el tipo de problema que se va a abordar, esto es, si es un problema de clasificación, en el que se dispone de un conjunto de datos etiquetados y el modelo debe ser capaz de clasificar una nueva instancia en alguna de las categorías existentes, o si se trata de un problema de regresión, en el que el objetivo es predecir el valor de una variable continua en función del resto de valores de las variables.

En este caso concreto, se trata de un problema de regresión, ya que pretendemos predecir numéricamente la probabilidad de existencia de mineralizaciones de antimonio en el contexto estudiado, en función de la proximidad a los elementos litológicos y estructurales más favorables a la existencia de estas mineralizaciones y de la distribución regional del Sb y elementos relacionados en los suelos.

En el proceso de aprendizaje, el conjunto de datos se divide, a su vez, en dos conjuntos: el conjunto de entrenamiento, que será la muestra o el subconjunto de datos que el modelo utilizará para aprender, y el conjunto de prueba, que será el subconjunto de datos que se utilizará para validar las capacidades predictivas de los modelos construidos.

En la actualidad, los modelos más ampliamente utilizados para la realización de mapas predictivos son los métodos basados en redes de neuronas artificiales (RRNN), máquinas de vectores de soporte (SVM) y *random forest*, siendo esta última técnica la que mejores resultados obtiene en la literatura revisada (Rodríguez-Galiano *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2019). En este trabajo se pretende utilizar estos y otros modelos y validarlos con el objetivo de encontrar aquel que mejor rendimiento ofrezca ante el problema propuesto.

Salida

Al tratarse de un problema de regresión, los datos de salida del modelo constituirán los valores de la variable a predecir para cada una de las instancias o muestras, en este caso, la salida del modelo será el valor de la probabilidad de encontrar un yacimiento de antimonio en una ubicación concreta.

No obstante, y para poner en valor los resultados obtenidos, el objetivo es generar una serie de mapas prospectivos que permitan identificar de forma visual aquellas áreas con mayor probabilidad de encontrar antimonio.

RESULTADOS ESPERABLES

Dado que el trabajo que se presenta en esta contribución es un trabajo actualmente en progreso, en esta sección se incluyen los resultados que se esperan obtener tras la aplicación de la metodología desarrollada en la sección anterior con los datos de que se dispone. Por tanto, los resultados esperables son:

– Aumentar el conocimiento existente con respecto a la utilización de algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*) para la prospección minera, constatando si son herramientas útiles en este contexto.

– Contrastar la hipótesis que se establece al principio de este trabajo sobre el origen común de las mineralizaciones de Hg y Sb.

– Estudiar qué modelo de aprendizaje automático se adapta mejor a las características del problema, ofreciendo mejores resultados.

– Identificar qué variables intervienen con mayor relevancia en la obtención de los resultados del modelo, obteniendo correlaciones y dependencias entre distintas variables que podrán ayudar a la resolución de problemas similares.

– Elaborar mapas de calor predictivos que indiquen la probabilidad de encontrar yacimientos de Sb en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está siendo financiado por los proyectos SBPLY/17/180501/000273 (Consejería de Educación de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha) y AUREOLE/PCI2019-103779 (ERA-MIN2 *Topic 1-Supply of raw materials from exploration and mining* y "Programación Conjunta Internacional", Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades).

REFERENCIAS

EC, European Commission (2017). Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU. EUR-Lex - 52017DC0490. Available at https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0490&from=EN.

Gumiel, P. (1983). Metalogenia de los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica. *Tecniterrae*, 54, 120 pp.

Hernández, A., Jébrak, M., Higueras, P., Oyarzun, R., Morata, D. y Munhá, J. (1999). The Almadén mercury mining district, Spain. *Mineralium Deposita*, 34: 539-548.

Rodríguez-Galiano, V., Sanchez-Castillo, M., Chica-Olmo, M. y Chica-Rivas, M. (2015). Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geology Reviews*. 71: 804–818.

Sun, T., Chen, F., Zhong, L.X., Liu, W. y Wang, Y. (2019). GIS-based mineral prospectivity mapping using machine learning methods: A case study from Tongling ore district, eastern China. *Ore Geology Reviews*. 109:26–49.

Consideraciones petrogenéticas sobre los granitos albíticos de metales raros del Macizo Ibérico y su mineralización asociada

Petrogenetic constraints about rare-metal albite granites from the Iberian Massif and their associated ore

F. J. López-Moro

Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca 37008 Salamanca. fjlopez@usal.es

Palabras clave: cristalización fraccionada, exsolución de fluidos, procesos magmático-hidrotermales.

Resumen

Los granitos albíticos de metales raros (GAMR), aunque escasos en la naturaleza, son relativamente abundantes en el Macizo Ibérico, *e.g.* Penouta, Golpejas, El Trasquilón, Argemela, Fuentes de Oñoro, Ponte Segade y Laza, algunos de ellos con potencialidad económica en Sn, Nb, Ta ± Be y ± Li. Sin embargo, la génesis de estos granitos y su mineralización asociada es objeto de debate. Un hecho aún sin resolver es la causa que genera los altos contenidos iniciales de metales raros. Se ha propuesto que los GAMR del Macizo Ibérico podrían derivar de leucogranitos o granitos de la Serie Mixta por un proceso de fraccionación magmática extrema (Roda-Robles *et al.*, 2018). Esta hipótesis parece aplicable a los granitos de Golpejas, Fuentes de Oñoro y El Trasquilón, pero no para el de Penouta, ya que por su quimismo parece derivar de granodioritas. Para todos ellos, parece haber un consenso general que el principal mineral portador de Nb-Ta (la columbita-tantalita) es de origen magmático, aunque tardíamente experimenta una fuerte interacción con una fase fluida. Los modelos realizados en el GAMR de Penouta sugieren un enriquecimiento hacia arriba en Ta relativo al Nb, que podría ser explicado por un proceso de cristalización fraccionada, con un papel destacado de la mica blanca (López-Moro *et al.*, 2017). También es muy probable que una fase fluida exsuelta enriquezca en Sn and Be el granito de Penouta (López-Moro *et al.*, 2017), como parece ser también el caso del granito de Golpejas, como se desprende en este trabajo.

Abstract

Rare-metals albite granites (RMAG), although uncommon in nature, are relatively abundant in the Iberian Massif, e.g. Penouta, Golpejas, El Trasquilón, Argemela, Fuentes de Oñoro, Ponte Segade y Laza, some of them with economic potential in Sn, Nb, Ta ± Be and ± Li. However, the genesis of the RMAG and the associated mineralization are still open issues. An unresolved issue is the cause that generates the initial high contents of rare metals in these magmas. It has been proposed that RMAG of the Iberian Massif could be derived from leucogranites or the so-called Serie Mixta granites, by a process of extreme magmatic fractionation (Roda-Robles et al., 2018). This hypothesis seems applicable to the Golpejas, Fuentes de Oñoro and El Trasquilón granites, but not to the Penouta granite, which seems to derive from a granodiorite melt. There seems to be a general consensus for albite granites that the main Nb-Ta carrier mineral (columbite-tantalite) is magmatic in origin, although lately undergoes an interaction with a fluid phase. Modeling carried out in the Penouta granite suggests that the enrichment upwards in Ta relative to Nb could be explained in terms of fractional crystallization processes, with a major role played by white mica (López-Moro et al., 2017). An exsolved fluid phase is likely to have favored the enrichment in Sn and Be in the Penouta granite (López-Moro et al., 2017), but also in the Golpejas one as it is revealed in this work.

Referencias

López-Moro, F.J., García Polonio, F., Llorens González, T., Sanz Contreras, J.L., Fernández Fernández, A. y Moro Benito, M.C. (2017). *Ore Geology Reviews* 82, 10–30.

Roda-Robles, E., Villaseca, C., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Vieira, R., Lima, A. y Garate-Olave, I. (2018). *Ore Geology Reviews* 95, 408–430.

Exploración de elementos de tierras raras en materiales geológicos subaéreos y submarinos de las Islas Canarias: estado de la cuestión

Exploration of rare earth elements in subaerial and subsea geological materials of the Canary Islands: state of the art

J. Mangas[1], L. Quevedo[1], I. Menéndez[1], M. Campeny[2], J. Rivera[3], E. Tauler[4], J. Yepes-Temiño[1], J.C. Melgarejo[4], E. González-Clavijo[5], J. Méndez-Ramos[6]

1 Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC, Campus de Tafira 35017 Las Palmas de Gran Canaria. jose.mangas@ulpgc.es; luis.quevedo101@alu.ulpgc.es; inmaculada.menendez@ulpgc.es; jorge.yepes@ulpgc.es
2 Departament de Mineralogia, Museu de Ciències Naturals de Barcelona, 08003 Barcelona. mcampenyc@bcn.cat
3 Instituto Español de Oceanografia, Geología Marina, Servicios Centrales, 28002 Madrid. jesus.rivera@ieo.es
4 Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona.esperancatauler@ub.edu; joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu
5 Centro Nacional-Instituto Geológico y Minero de España (CN-IGME CSIC), 37001 Salamanca. e.clavijo@igme.es
6 Departamento de Física, Universidad de La Laguna, 38200 La Laguna, Tenerife. jmendezr@ull.edu.es

Palabras clave: elementos de tierras raras, carbonatitas, rocas félsicas, costras de Fe-Mn, Islas Canarias

Resumen

La exploración de mineralizaciones de tierras raras (TR) en islas volcánicas y montes submarinos del archipiélago canario se ha llevado a cabo en tres tipos de materiales geológicos: (1) rocas ígneas félsicas (traquitas, fonolitas, riolitas, sienitas), carbonatitas, y sus horizontes edáficos, de las islas de Fuerteventura y Gran Canaria; (2) costras polimetálicas de hierro y manganeso submarinas (578-1.853 m de profundidad); y (3) calizas bioclásticas fosfatadas (368-1.551 m profundidad) y arenas limosas (109-1.371 m profundidad) de terrazas y laderas de los montes submarinos de Amanay, El Banquete y Banco de la Concepción. Los análisis geoquímicos de las rocas subaéreas arrojan concentraciones totales de TR entre 20 y 2.290 g/t para las rocas félsicas y paleosuelos asociados de las islas, y entre 511 y 10.144 g/t en carbonatitas de Fuerteventura. Las TR están presentes en los minerales accesorios, como los fosfatos (monacita, britolita, y rhabdofana), carbonatos (synchysita), silicatos (allanita), y óxidos (pirocloro). En los depósitos submarinos, la suma total de TR está comprendida entre 66 y 2.586 g/t en costras de hierro-manganeso, entre 17 y 424 g/t en calizas bioclásticas, y entre 14 y 71 g/t en sedimentos sueltos. Las TR submarinas están asociadas a oxi-hidróxidos de Fe-Mn (goetita, todorokita, woodruffita) y fluorapatito (CFA). En general, las TR ligeras (Ce > La > Nd > Pr) son más abundantes que las pesadas en todas las muestras subaéreas y submarinas estudiadas.

Abstract

The exploration of rare earth element (REE) mineralization on volcanic islands and seamounts of the Canary archipelago has been conducted in three types of geological materials: (1) felsic igneous rocks (i.e.: trachytes, phonolites, rhyolites, syenites), carbonatites, and their associated edaphic horizons, from Gran Canaria and Fuerteventura islands; (2) submarine, polymetallic, Fe-Mn crusts (578-1,853 m depth); and (3) phosphatized limestones (368-1,551 m depth) and silty sands (109-1,371 m depth) from terraces and slopes of the Amanay Seamount, El Banquete, and Conception Bank. Geochemical analyses of subaerial samples yielded total REE concentrations between 20 and 2,290 g/t in felsic rocks and related paleosols on islands, whereas from 511 up to 10,144 g/t in carbonatites from Fuerteventura. REE occur in rocks as accessory minerals of phosphates (i.e.: monazite, britholite, rhabdophane), carbonates (i.e.: synchysite), silicates (i.e.: allanite), and oxides (i.e.: pyrochlore). In submarine deposits, total REE sums are constrained between 66 and 2,586 g/t in Fe-Mn crusts, from 17 to 424 g/t in limestones, and 14 through 71 g/t in loose sediments. Submarine REE occurrences are related to iron and manganese oxy-hydroxides (i.e.: goethite, todorokite, woodruffite) and fluorapatite (CFA). In general, light REE (Ce > La > Nd > Pr) are more abundant than heavy REE among both subaerial and submarine studied samples.

El potencial minero español de un recurso crítico: el grafito

Spanish mineral potential of a critical raw material: graphite

I. Martín-Méndez[1], E. Boixereu[2] y P. Delgado[2]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, Unidad de Geoquímica, CN-IGME (CSIC). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid i.martin@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, Área de Recursos Minerales, CN-IGME (CSIC). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid e.boixereu@igme.es; p.delgado@igme.es

Palabras clave: grafito, minerales críticos, exploración minera.

Resumen

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías, el consumo mundial de grafito ha experimentado en la última década un gran incremento. Además, su producción se concentra en unos pocos países como China, India y Brasil por lo que la Unión Europea considera este mineral como crítico (EC, 2017).

En España se encuentran indicios de este mineral que históricamente han sido explotados. En la base de datos BDMIN del CN-IGME (CSIC) figuran inventariados 53 indicios de esta sustancia, pero no se ha completado el estudio de todo el territorio. Los indicios más importantes se encuentran en Málaga (peridotitas de la Serranía de Ronda, ligado a sulfuros en rocas ultrabásicas), en Huelva (Almonaster la Real, Cortegana, Aroche y Santa Ana la Real, en áreas de alto grado metamórfico), en Segovia (El Muyo, Madriguera, Becerril y Ayllón, ligado a pizarras negras) y en Toledo (Guadamur y La Española, ligado a las granulitas del Complejo Anatéctico de Toledo).

Según trabajos recientes (Martín-Méndez *et al.*, 2016), son los yacimientos de Toledo los que presentan un potencial minero más importante. Aun así, es necesaria una investigación más detallada tanto de éste como del resto de yacimientos para conocer el verdadero potencial minero de esta sustancia en España.

Abstract

Consumption of natural graphite have increased in the last decade with the development of new technologies. Production of natural graphite is mainly dominated by few countries like China, India and Brazil, that is why European Union consider this mineral like a critical raw material.

Spain has some graphite mineral occurrences that have been historically mined. BDMIN database of CN-IGME (CSIC) show that there are 53 graphite mineral occurrence, but it is necessary to finish the study of all the country. The main graphite occurrence in Spain are in Málaga (Ronda peridotites, where graphite is associated with sulfides in ultramafic rocks), Huelva (Almonaster la Real, Cortegana, Aroche, and Santa Ana la Real, where graphite is present in high-grade metamorphic rocks), Segovia (El Muyo, Madriguera, Becerril and Ayllón, where graphite and carbonaceous material are associated with black shales), and Toledo (Guadamur y La Española where graphite is associated to Anatectic Complex of Toledo).

Graphite deposits from Toledo has the most important mineral potential based on Martín-Méndez et al. (2016). Even so, it is necessary to make a more detail investigation of these ore deposits and of the rest of them for knowing the real mineral potential of graphite in Spain.

Referencias

European Commission (2017). http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2017:0490:FIN

Martín-Méndez, I., Boixereu, E., y Villaseca, C. (2016). *Mineralium Deposita* 51(5), 575-590.

Estudio geoquímico de los sondeos del stock granítico de El Trasquilón (Cáceres). Aplicación de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X

Geochemical study of The Trasquilón granite stock from boreholes (Cáceres). Application of portable X-ray fluorescence

J.F. Mediato[1], T. Sánchez-García[1], J. García-Crespo[1], A. Díez-Montes[2], C. Molina[3], J.P. Blanco[3] y S. M. Timón-Sánchez[2]

1 CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas, 24, 28003, Madrid. jf.mediato@igme.es; t.sanchez@igme.es; garcia.crespo@igme.es
2 CN-IGME (CSIC), Plaza de la Constitución, nº1, Planta 3ª, 37001 Salamanca. s.timon@igme.es; al.diez@igme.es
3 Litoteca del CN-IGME (CSIC). Ctra. Estación, Pol. Ind. La Papelera s/n, 14200 Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba).c.molina@igme.es; jp.blanco@igme.es

Palabras clave: p-XRF, geoquímica, análisis estadístico multivariante, granito El Trasquilón, Sn, Nb

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio geoquímico de roca total con un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (pXRF). Esta técnica permite realizar análisis geoquímicos *in situ* no destructivos sobre muestras de roca sólida. Para realizar este estudio se seleccionó el *stock* granítico de El Trasquilón. Se trata de un pequeño stock, rico en Sn, Li, Nb y Ta (Lillo *et al.*, 1996), de forma elipsoidal con unas dimensiones de 1100 m en dirección E-O, y de 750 m en la dirección N-S, que fue explotado en los años 70-80 del siglo pasado.

En la Litoteca del CN-IGME (CSIC) se dispone de 7 sondeos con muestras sólidas molidas y datos geoquímicos de roca total. Se ha realizado un estudio comparativo entre los valores obtenidos por pXRF sobre las muestras molidas y los datos de laboratorio, dando como resultado una excelente correlación entre ambos métodos para los minerales metálicos Sn y Nb, que son dos de las sustancias de interés que se están estudiando en el proyecto FRAME (Forecasting and assessing europe's strategic raw materials needs, https://geoera.eu/). Como conclusión, se demuestra que la aplicación de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X permite obtener medidas semicuantitativas rápidas y fiables. Esta técnica es una herramienta útil para hacer una primera evaluación de los yacimientos en estudios de investigación minera así como en otras aplicaciones geológicas.

Este trabajo ha sido co-financiado por el programa de investigación e innovación de la Unión Europea H2020 nº 731166.

Abstract

In this work, a study of geochemical total-rock analysis with portable X-ray fluorescence (pXRF) equipment is presented. This technique allows performing non-destructive in situ geochemical analysis on solid rock samples. The granitic stock of El Trasquilón was selected to carry out this study. It is a little stock, rich in Sn, Li, Nb and Ta (Lillo et al., 1996), ellipsoidal-shaped with dimensions of 1100 m E-W direction and 750 m N-S direction, which it was studied in the 70-80`s of the last century.

In the Litoteca of CN-IGME (CSIC), 7 drillholes with solid ground samples and their total-rock geochemical data are available. A comparative study was carried out between the values measured in the samples ground by pXRF and the laboratory. It shows an excellent correlation between both methods for the metallic minerals (Sn y Nb). These two elements are interest raw materials in the FRAME project (Forecasting and assessing Europe's strategic raw materials needs, https://geoera.eu/). In conclusion, it is demonstrated that the application of portable X-ray fluorescence equipment allows to obtain rapid and very reliable semiquantitative measurements. This technique is a useful tool to make a first evaluation of the deposits in mining research as well as in other geological applications.

Referencias

Lillo, J., Oyarzun, R., Ortega L. y Gallego M. (1996). *Geogaceta* 19, 55-58.

Ferriallanita-(Ce), el principal portador de tierras raras en los lamprófidos calco-alcalinos de Les Guilleries

Ferriallanite-(Ce), the main carrier of REE in calc-alkaline lamprophyres from Les Guilleries

E. Mellado[1*] y M. Corbella[1]

1 Departament de Geologia, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.
* esteban.mellado@e-campus.uab.cat

Palabras clave: allanita, lamprófido calco-alcalino, tierras raras, Catalánides, Orogenia Varisca.

Resumen

Hay muy pocos estudios de allanita en rocas ígneas potásicas como son los lamprófidos calco-alcalinos, a pesar de que se ha reconocido su presencia en varios de los macizos paleozoicos de Europa Occidental (Soder, 2017). En este trabajo se presentan datos geoquímicos, obtenidos con microsonda electrónica, de la allanita presente en los lamprófidos calco-alcalinos de Les Guilleries (Cordilleras Costero Catalanas; Mellado y Corbella, 2019). Todas las especies analizadas contienen Ce>La>Nd con contenidos de cerio de hasta 0.41 apfu y de tierras raras totales hasta 0.75 apfu. La fórmula estructural calculada para las especies menos alteradas corresponde a ferriallanita-(Ce), con Mn, Mg, Ti, F y una concentración de Th y U inferior al límite de detección. La variación composicional observada entre los núcleos de los cristales de la allanita y los bordes alterados se corresponde con la solución sólida ferriallanita-allanita-epidota, con un decrecimiento del contenido de tierras raras de núcleo a borde; características similares se han observado en la allanita de los granitoides variscos del batolito Moldanubiense (René, 2019). La allanita de los lamprófidos podría haber cristalizado en el magma o ser remanente de procesos de metasomatismo del manto litosférico subcontinental en períodos de subducción-colisión.

Abstract

There are very few studies on allanite in potassic igneous rocks such as calc-alkaline lamprophyres, even though it has been noticed the presence of allanite in several of the Paleozoic massifs of Western Europe (Soder, 2017). This contribution presents geochemical data, obtained with electron microprobe, of allanite present in calc-alkaline lamprophyres from Les Guilleries massif (Catalan Coastal Mountain Ranges; Mellado and Corbella, 2019). All species analyzed contain Ce> La> Nd with cerium contents up to 0.41 apfu and total rare earths up to 0.75 apfu. The structural formula calculated for the least altered species corresponds to ferriallanite-(Ce), with Mn, Mg, Ti, F and concentration of Th and U below detection limit. The compositional variation observed between the nuclei of allanite crystals and altered rims corresponds to the ferriallanite-allanite-epidote solid solution, with a decrease of rare earths content from core to rim; similar characteristics have been observed in allanite from Variscan granitoids of the Moldanubian batholith (René, 2019). The lamprophyre allanite may have crystallized within the magma or be remnants of metasomatic processes in subcontinental lithospheric mantle during subduction-collision periods.

Referencias

Mellado, E. y Corbella, M. (2019). Macla 24.

René, M. (2019). Allanite from Granitic Rocks of the Moldanubian Batholith (Central European Variscan Belt), doi: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86356.

Soder, C. (2017). *Geochemistry and petrology of lamprophyres from the Hellenides and the European Variscides.* PhD Thesis, Univ. Heidelberg, 185 p.

Elaboration of a metallogenic map for W-Sn for Northern and Central Portugal, and Castilla y León, Spain: the case study of the "Alto-Douro" area

Elaboración de un mapa metalogénico para W-Sn para el Norte y Centro de Portugal y Castilla y León, España: caso de estudio del área "Alto-Duero"

A. Mota[1,2], V. Ramos[2,3], S. Leal[1,2], O. Fadón[4], F. Noronha[1,2]

1 Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal. alexandra.fernandes@fc.up.pt, fmnoronh@fc.up.pt
2 Instituto de Ciências da Terra, Pólo do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal.
3 Camborne School of Mines, University of Exeter, Penryn Campus, Cornwall TR10 9FE, UK. v.i.monteiro-ramos@exeter.ac.uk
4 SIEMCALSA, Avda. Rodrigo Zamorano, 6, Cp. 47151 Parque Tecnológico de Boecillo, Valladolid, España. ofadon@siemcalsa.com

Abstract: *In this work, the study of W and/or Sn mineralizations in Northern and Central - Portugal, Castilla y León - Spain is carried out. The research was made within the scope of the ESMIMET project. For the development of this work, it was essential to homogenize the geology of the two countries in order to organize the information and be able to make comparisons between the geology and mineralizations. We present as example the area of "Alto Douro" where a more detailed study is made on two-mica granites related to the W-Sn mineralizations. The petrographic study allowed the distinction of different two-mica granites. The geochemical study, in particular the rare earth elements (REE), provides us useful information for the discrimination of different types of granite. The muscovite granites show lower REE values and different spectra compared to the two-mica granites with which they appear associated, suggesting different origins.*

Keywords: *metallogenic map, W-Sn, geochemistry, REE*

Resumen: En este trabajo, se presenta parte de la investigación realizada dentro del proyecto ESMIMET, donde se realiza el estudio de mineralizaciones de W y/o Sn en el Norte y Centro - Portugal, y en Castilla y León - España. Para el desarrollo de este trabajo, fue esencial homogeneizar la geología de los dos países para organizar la información y poder hacer comparaciones entre la geologia y las mineralizaciones. Presentamos como ejemplo el área del "Alto Duero" donde se realiza un estudio más detallado sobre dos granitos de dos micas relacionados con las mineralizaciones de W-Sn. El estudio petrográfico permitió la distinción de diferentes tipos de granito de dos micas. El estudio geoquímico, en particular de los elementos de tierras raras (REE), nos proporciona información útil para la discriminación de los diferentes tipos de granito. Los granitos moscovíticos muestran valores REE más bajos y espectros diferentes en comparación con los granitos de dos micas con los que aparecen asociados, lo que sugiere orígenes diferentes.

Palabras clave: mapa metalogénico, W-Sn, geoquímica, ETR

INTRODUCTION

One of the main objectives of the ESMIMET project is the elaboration of a metallogenic map for hypogenic mineralizations of W and Sn in the North and Central regions of Portugal, Castilla y León in Spain. The work carried out in this task of the project included a sample collection by SIEMCALSA and the Faculty of Sciences of the University of Porto (FCUP) and also laboratory studies made by FCUP and University of Leon on pre-defined targets.

METALLOGENIC MAP (MM)

A metallotect is a geologic characteristic that is related with the concentration of one or more elements. It can be structural, stratigraphic, lithological, and geochemical or even combine the space and time that made the mineral concentration possible. In the case of W and/or Sn hypogenic mineralization, it is extremely important to have into account the state of the knowledge on granite magmatism and its relationship with the proximity rocks. The granite classifications adopted in the geological maps published in Portugal and in Spain are diverse and that leaves us the need of adopting a uniform classification in the studied areas. The type and age of the granites are the most important factors in the elaboration of the MM. A lithological classification, where is possible to distinguish a trend for a specific mineralization related to a certain type of granite, was adopted.

CASE STUDY: THE "ALTO-DOURO" AREA

From the field notes, the petrographic and the geochemical data obtained during the progress of the project, and along the bibliography from previous studies of the area, we could elaborate a database for the main mineralization types:

1) quartz veins with cassiterite associated with pre-D3 muscovite granites (Feli);

2) pegmatites with cassiterite (Almendra, Bajoca, La Frejeneda) in the exocontact of syn-D3 two-micas granites, such the ones in the alignment Penedono-Escalhão-Lumbrales;

3) quartz veins with wolframite and cassiterite (Vale das Gatas, Alijó) and scheelite (Fonte Santa) in the exocontact of muscovite granites that appear in small areas and related with biotite-muscovite granites syn- to late-D3 in the alignment of Vila Real-Carviçais-Bruçó-Mieza;

4) quartz veins with tungstates (scheelite ± wolframite) and gold in the exocontact of late-D3 two-mica granites (Brincones, Barruecopardo, Saucelle, Tabuaço, Numão)

5) skarns with scheelite and fluorite (S.Pedro das Águias and Sta. Leocádia) associated with muscovite granites.

For the mineralization distribution analyses, it is possible to verify that the essential of mineralization occur where the granites intrude the metasediments of the Schist-Greywacke Complex (Douro Group – Bateiras Formation or equivalent) (Fig. 1).

The granite massifs are composite and have similar petrographic and geochemical characteristics. The two-mica granites Ms>Bt when compared with associated Bt>Ms granites, have lower values of total REE. The REE distribution is characterized by identical spectres where light REE are more abundant than heavy REE and spectra with identical profiles suggesting differentiation processes and identical genesis and evolution for this type of granites (Fig. 2).

The muscovite leucogranites are poor in REE and reveal flat spectres and a stronger Eu anomaly, and so they are distinguishable from the two-mica granites suggesting a different origin ((S. Pedro das Águias (Tabuaço area), Fonte Santa and Favaios (Vale das Gatas area)) (Fig. 3).

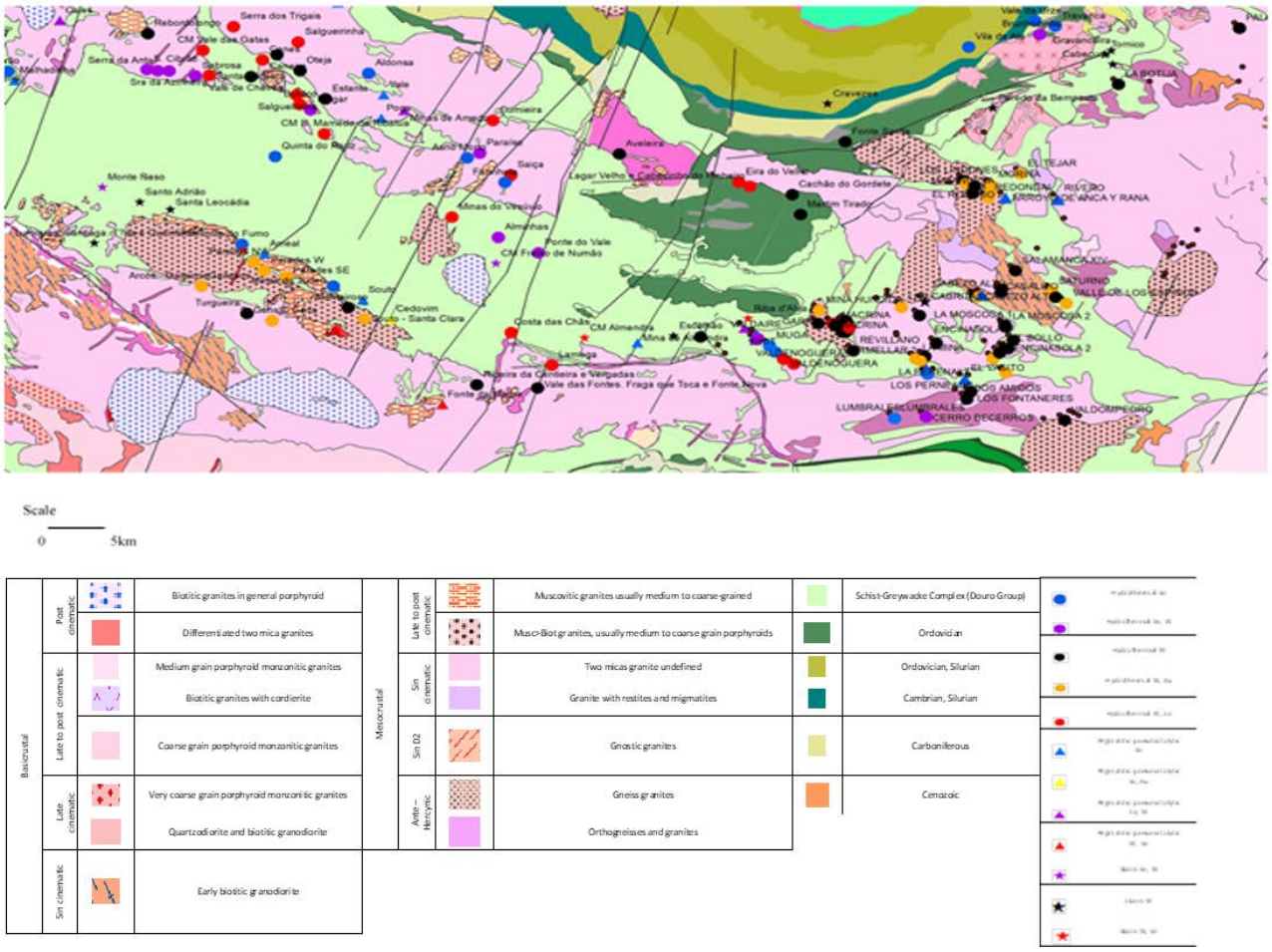


FIGURE 1. Metallogenetic map of "Alto Douro area". Geology based in Serv. Geol. Portugal (1992); INETI (2006) and IGME (2015). Granite classification based in Ferreira et al. (1987)FIGURE 1. Metallogenetic map of "Alto Douro area". Geology based in Serv. Geol. Portugal (1992); INETI (2006) and IGME (2015). Granite classification based in Ferreira et al.

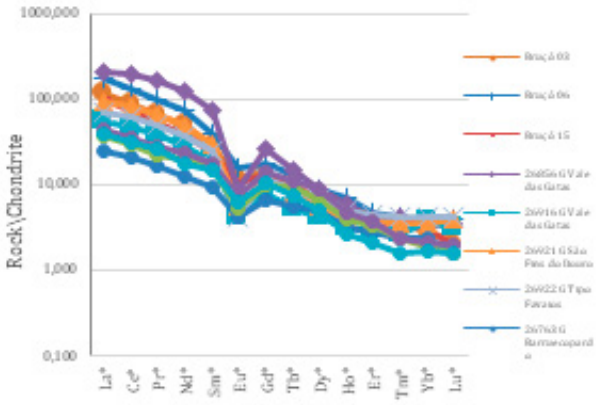


FIGURE 2. Rare earth elements spectra for the two mica granites. The Bruçó analyses were made by Silva (2000).

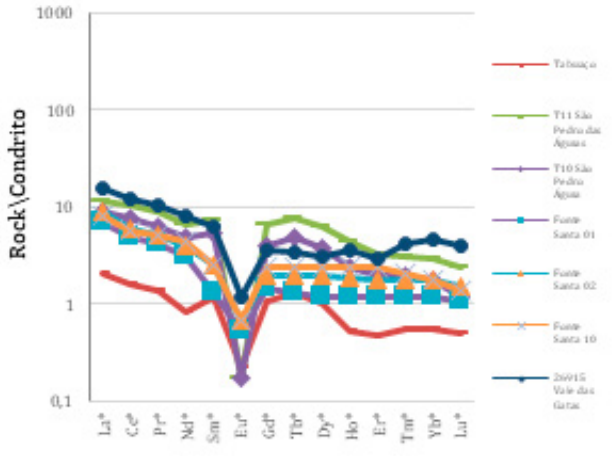


FIGURE 3. Rare earth element spectra for the muscovite leucogranites. The Fonte Santa analyses were made by Silva (2000) and São Pedro das Águias analyses were made by Cerejo (2013).

FINAL CONSIDERATIONS

The objective of this project is the elaboration of a metallogenic map that points out to areas with the greatest potential, namely for the occurrence of non-outcrop deposits.

The geochemical data of total rock combined with the petrography prove to be discriminative, which indirectly allows conclusions to be drawn about mineralogy and the presence or absence of mineralization. It appears that the muscovite leucogranites show lower REE values and distinct spectra when compared to the two-mica granites with which they appear associated with, suggesting, therefore, different origins.

It is intended to go deeper in this investigation, checking the alignments of the mineralizations, what are their conditions and how it is possible to extrapolate these conditions in the future of prospecting W and Sn deposits.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the project POCTEP-Interreg 0284_ESMIMET_3_E "Desarollo de Capacidades Interregionales en torno a los Recursos Estratégicos en Mineria Metálica" for the financial support and the ICT through the project COMPETE 2020 UIBB/04683/2020 with the reference POCI-01-0145-FED

REFERENCES

Cerejo, T. (2013). *Geoquímica da Área de S. Pedro das Águias–Concessão de Tabuaço*. Dissertação de Mestrado Universidade de Aveiro, 122 p.

Ferreira, N., Iglesias, M,, Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. and Ribeiro, M.L. (1987). Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmica. In: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico* (F. Bea, A. Carnicero, J.C. Gonzalo, M. López Plaza M. and M.D. Rodríguez Alonso M.D., eds).. Libro Homenaje a L.C. García de Figuerola, Editorial Rueda, Madrid, 37-51.

Florido, P. coord. (1999). Memoria de la Hoja nº 36 (Vitigudino). *Mapa Metalogenético de España 1:200.000*. IGME, Madrid.

IGME (2015). *Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000.*

INETI (2006). *Carta Geológica de Portugal 1/200.000, Folha 2.*

Serviços Geológicos de Portugal (1992). *Carta Geológica de Portugal, 1/500.000, folha norte de Portugal.*

Silva, P.J.A.B.A. (2000). *Estudo petrográfico, mineralógico e geoquímico dos maciços graníticos de Bruçó e Fonte Santa (NE de Portugal)*. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto, 209p.

Fluorescencia de rayos-X portátil en prospección mineral. Estudio del granito de Golpejas (Zona Centro-Ibérica, España)

Portable X-ray fluorescence and survey data in mineral prospecting. Study of Golpejas granite (Central-Iberian Zone, Spain)

T. Sánchez-García[1], J.F. Mediato[1], S.M. Timón-Sánchez[2], A. Díez-Montes[3] y J. García-Crespo[1]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid t.sanchez@igme.es; jf.mediato@igme.es; garcia.crespo@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos CN-IGME (CSIC), Pza. Constitución, 1, 3º, 37001 Salamanca s.timon@igme.es
3 Dpto. de Investigación y Prospectiva Geocientífica, CN-IGME (CSIC), Pza. Constitución, 1, 3º, 37001 Salamanca al.diez@igme.es

Palabras clave: fluorescencia RX portátil, Sn-Nb-Ta, prospección geológico-minera, Golpejas, GeoERA.

Resumen

El leucogranito de Golpejas es una lámina que buza al NW y que intruye en las pizarras negras del Ordovícico Medio, sobre las que produce un metamorfismo de contacto. En superficie, los afloramientos son de pequeñas dimensiones, el mayor tiene 2,2 km x 1 km, con una dirección NE-SW, y otro 900 m x 130 m y una dirección E-W. El afloramiento mayor está cortado por una falla de dirección E-W a NE-SW. Este granito presenta una mineralización diseminada de Sn-Nb-Ta que ha sido objeto de explotación en los años 1970-1980, estando actualmente inactiva. Dentro del proyecto europeo FRAME, enmarcado en la convocatoria GeoERA (https://geoera.eu/), se ha realizado una campaña de exploración sistemática con un aparato portátil de fluorescencia de Rayos X (pXRF) que ha permitido de obtener datos nuevos y de una forma rápida y económica para la prospección geológico-minera de este depósito.

La campaña de toma de datos se ha realizado siguiendo una malla de 100 x 100 m que cubre todo el área de afloramiento del granito, en una superficie de unos 9 km^2. Estos datos se han comparado con los análisis geoquímicos de muestras de roca total, comprobándose que la utilización de un pXRF permite obtener medidas semi-cuantitativas rápidas y fiables. Esta técnica puede ser una herramienta útil para descubrir anomalías de elementos de interés y hacer una primera evaluación de los yacimientos en estudios de investigación minera, así como en otras aplicaciones geológicas.

Abstract

The Golpejas leucogranite is a sheet dipping to the NW and intruding the black shales of the Middle Ordovician, on which it produces a contact metamorphism. On the surface, the outcrops are small, the largest one is 2.2 km x 1 km, with a NE-SW direction, and the smaller one, 900 m x 130 m with an E-W direction. The major outcrop is cut by an E-W to NE-SW direction fault. This granite has a disseminated mineralization of Sn-Nb-Ta that has been exploited in the years 1970-1980, being currently inactive. Within the European FRAME project, framed in the GeoERA call (https://geoera.eu/), a systematic exploration survey has been carried out with portable X-ray fluorescence (p-XRF) whose aim is to obtain new data and in a quick and cheap way for the geological-mining prospecting of this deposit.

The data collection survey was carried out following a 100 x 100 m mesh covering the entire area of granite outcrop, on an area of about 9 km^2. These data are compared with the geochemical analyses of total rock samples, so it can be verified that the use of p-XRF equipment allows obtaining reliable fast semi-quantitative measurements. This technique can be a useful tool to discover anomalies of elements of interest and make a first evaluation of the deposits in mining research studies, as well as in other geological applications.

Presencia de fluorcarbonatos de REE en yacimientos de fluorita y baritina en la Zona de Ossa-Morena (España).

Presence of REE fluorcarbonate in prospects of fluoride and barium in the Ossa-Morena Zone (Spain).

T. Sánchez-García[1]; A. Santiago[2]; R. Martinez-Orio[1]; C. Fernández-Leyva[3]; E. Boixereu[1]; A. Del Olmo[1]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid; t.sanchez@igme.es; ro.martinez@igme.es; e.boixereu@igme.es ; a.delolmo@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC); Litoteca, Ctra. Estación, s/n; 14200 Peñarroya Peñarroya; a.santiago@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC): Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo.18006 -Granada; c.fernandez@igme.es

Palabras clave: fluorcarbonatos; REE; Metalogenia; Zona de Ossa-Morena; Proyecto POMINAL.

Resumen

La Unión Europea publicó en septiembre de 2020 la última lista de materias primas críticas (CRMs) que son cruciales para su economía, en la que se incluyen las Tierras Raras (REE), un conjunto de 17 elementos entre los que se encuentran el lantano, el cerio y el ytrio. Una de las menas de REE es la parisita, un flúor-carbonato de REE que forma un subgrupo compuesto por dos variedades minerales ($Ca(Ce, La, Nd)_2 CO_3F_2$), siendo el Ce el elemento más común dentro del grupo mineral. En España únicamente ha sido citada en gneises (Galiñeiro), en granitos, (Porriño, Galicia, y La Cabrera, Madrid) y en carbonatitas (Fuerteventura), (Calvo Rebollar, 2012). En una reciente campaña de investigación sistemática de las mineralizaciones de fluorita y baritina en la Zona de Ossa Morena, en la provincia de Córdoba, se ha puesto de manifiesto la presencia de parisita en algunas mineralizaciones (Mina Gloria (F, Ba) y Mina Las Carboneras (Ba). Ambos indicios presentan una morfología filoniana, con direcciones entre N20E a N45E y que cortan tanto cuerpos ígneos como metasedimentarios. El mineral ha sido identificado por microscopio electrónico de barrido.

Abstract

The European Union published in September 2020 the latest list of critical raw materials (CRMs) that are crucial to its economy, which includes the Rare Earths (REE), a set of 17 elements among which are lanthanum, cerium and ytrium. One of REE's ores is parisite, a REE fluorine carbonate that forms a subgroup consisting of two mineral varieties ($Ca(Ce, La, Nd)_2 CO_3F_2$), with Ce being the most common element within the mineral group. In Spain, it has only been cited in gneises (Galiñeiro), in granites, (Porriño, Galicia, and La Cabrera, Madrid) and in carbonatites (Fuerteventura), (Calvo Rebollar, 2012). In a recent survey, of systematic investigation of fluorite and barite mineralizations, in the Ossa Morena Zone, in the Cordoba province, the presence of parisite in some mineralizations (Mina Gloria (F, Ba) and Carbonera Mine (Ba) has been revealed. Both prospects have a vein morphology, with N20E to N45E directions and that cut both igneous and metasedimentary bodies. The mineral has been identified by scanning electron microscope.

Referencias

Calvo Rebollar, M. (2012). *Minerales y minas de España.* (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Madrid Eds). ISBN: 978-84-95063-98-4.

Minerales con elementos críticos en Andalucía: berilio

Minerals with critical elements in Andalusia: berylium

A. Santiago[1], R. Martínez-Orio[2], T. Sánchez-García[2], C. Fernández-Leyva[3], E. Boixereu[2] y A. Del Olmo[2]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Litoteca, Ctra. Estación s/n, 14200 Peñarroya. a.santiago@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. ro.martinez@igme.es; t.sanchez@igme.es; e.boixereu@igme.es; a.delolmo@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada. c.fernandez@igme.es

Palabras clave: berilio, pegmatita, berilo, Zona de Ossa-Morena, proyecto POMINAL

Resumen

El 13 de septiembre de 2017 la Comisión Europea publicó la lista de materias primas fundamentales para la UE. Un convenio de colaboración entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España está permitiendo desarrollar el proyecto POMINAL para la investigación de estas sustancias, entre las que se encuentra el berilio. Este material se aprovecha por su elevado punto de fusión, módulo de elasticidad, conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica lineal, alto valor del calor especifico, ausencia de magnetismo, resistencia al ácido nítrico y permeabilidad a los rayos X, entre otras características. Además, es frecuente el empleo de minerales de Be como gemas en joyería (variedades esmeralda, aguamarina, heliodoro y morganita).

El Be es un elemento crítico porque en muchas de las aleaciones es difícil sustituirlo. Además, la complejidad del producto para su puesta en el mercado, la calidad y el perfil competitivo están generando incremento de demanda por varias razones: un acelerado crecimiento tecnológico de sus aplicaciones, un relativo impacto ambiental más bajo frente a otros materiales, una mayor seguridad y eficiencia de los productos y un menor coste.

El Be se encuentra en 30 minerales diferentes; los más importantes son el berilo y la bertrandita, principales fuentes del berilio comercial. Las pegmatitas son las rocas berilíferas por excelencia. Las regiones con formaciones de pegmatitas más importantes en Andalucía se localizan en el Dominio Geológico de Sierra Albarrana (Zona de Ossa Morena); son las más evolucionadas genéticamente, sencillas y de bajo interés gemológico o económico. Además de berilio, contienen uranio, tierras raras o tántalo. Hasta el momento, los berilos de esta región no han sido el objetivo minero principal; deberían ser investigados junto a otros minerales que permitan alcanzar una posible rentabilidad conjunta.

Abstract

In September 13th, 2017, the European Commission published the list of raw materials that are considered critical for the European industry. An agreement between the Spanish Geological Survey and the regional government of Andalusia includes a specific Project (POMINAL) in order to locate these materials, including beryllium. This chemical element is highly valued because of its high fusion point, elastic module, thermal conductivity, low magnetism and resistance to acid. Be minerals are frequently used in jewelry in the precious shapes (varieties of emerald, aquamarine, heliodor and morganite).

Be is a critical element because in many alloys it can not be substituted. Moreover, the complexity to get this product into markets is generating high technology developments demand for several reasons: accelerated technological growth of its applications, a relative lower environmental impact compared to other materials, greater product safety and efficiency, and lower production costs.

Be can be found in 30 different minerals, being beryl and bertrandite the most relevant sources of commercial beryllium. Pegmatites are the most common example of beryllium-rich rocks. In Andalusia, large pegmatitic deposits are found in the Geological Domain of Sierra Albarrana, (Ossa Morena Zone); they are the most genetically evolved, simple and of low gemological or economic interest. Besides beryllium, these pegmatites contain uranium, rare earths and tantalum. To this point, beryl in this region has not been a main mining objective and they should be evaluated together with other minerals in order to obtain possible shared rentability.

Minerales con elementos críticos en Andalucía: flúor

Minerals with critical elements in Andalusia: fluorine

A. Santiago[1], R. Martínez-Orío[2], T. Sánchez-García[2], C. Fernández-Leyva[3], E. Boixereu[2] y A. Del Olmo[2]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Litoteca, Ctra. Estación s/n, 14200 Peñarroya. a.santiago@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. ro.martinez@igme.es; t.sanchez@igme.es; e.boixereu@igme.es; a.delolmo@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada. c.fernandez@igme.es

Palabras clave: fluorita, flúor, Complejo Alpujárride, Zona de Ossa-Morena, proyecto POMINAL

Resumen

Un convenio de Colaboración entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) está permitiendo desarrollar el proyecto POMINAL para la investigación de sustancias críticas, entre las que se encuentra la fluorita (espato de flúor). Se utiliza para la obtención de ácido fluorhídrico y se aplica en cerámica, vidrios ópticos y como fundente industrial siderometalúrgico.

Las fluoritas españolas se localizan en diferentes contextos geológicos, fundamentalmente en filones intragraníticos y en depósitos estratoligados en ambientes sedimentarios. Los yacimientos más importantes de fluorita se concentran en el Principado de Asturias, alcanzando el 82% de la producción nacional, y en Andalucía donde se produce el 18% restante. Se han contabilizado un total de 328 indicios de fluorita en el territorio andaluz, muchos de los cuales fueron explotados para el beneficio del plomo y del zinc, cuando la fluorita asociada se consideraba como ganga. Las escombreras de antiguas explotaciones constituyen también un tipo de recurso a tener en cuenta, si bien muchas de ellas ya han sido explotadas para obtener minerales que antes se consideraban ganga.

Los derechos mineros andaluces relacionados con la fluorita se concentran en el Complejo Alpujárride de la Zona Interna de la Cordillera Bética. El único yacimiento en explotación se localiza en la sierra de Lújar (Órgiva, Granada), donde se extrae un mineral de tipo cerámico, metalúgico y cementero. Además, hay importantes indicios investigables en las sierras alpujárrides de Baza, Gádor, Lújar, Alhamilla, Contraviesa, Las Estancias, Albuñuelas-Tejeda y otras. Algunas mineralizaciones de fluorita de escaso volumen aparecen en la Zona Externa Bética (Alcalá La Real) y en el Neógeno.

Otras antiguas explotaciones están en la Zona de Ossa Morena (Hornachuelos, Fuente Obejuna, Villanueva de Córdoba, Cardeña, Cerro Muriano, Villaviciosa de Córdoba), más algunos indicios en la Zona Centroibérica (Belalcázar, Villanueva de Córdoba, Andújar, Espiel) y en la Zona Sudportuguesa (Cerro de Andévalo, Río Tinto).

Abstract

IGME and the regional government of Andalusia are carrying out the POMINAL project, researching critical raw materials as fluorite (fluorspar). It is used to obtain hydrofluoric acid and it is widely applied in pottery and in the steel industry.

Spanish fluorites are found in different geological settings, mainly as intragranitic veins and stratabound deposits in sedimentary environments. Most important deposits are located in Asturias, who holds 82% of the national production. Andalusia produces the other 18%. IGME has listed 328 mineral prospects of fluorite in the Andalusian territory, many of them already mined for zinc and lead, when fluorspar was considered as a waste. Most mining rights related to fluorite are located in the Internal Zone of the Betic Cordillera. The only active mine is placed in Órgiva, Granada, where ceramic quality is obtained. Quite promising prospects have been found in the sierras of Baza, Gádor, Lújar, Alhamilla and others.

Other old mines are in the Ossa Morena Zone, like Hornachuelos, Cerro Muriano or Villanueva de Córdoba, in the Central Iberian Zone, like Espiel and Andújar, and in the South Portuguese Zone, close to Riotinto.

Sustancias críticas: minerales de cobalto para la transición energética en Andalucía

Critical substances: cobalt minerals for the energy transition in Andalusia

A. Santiago[1], R. Martínez-Orio[2], T. Sánchez-García[2], C. Fernández-Leyva[3], E. Boixereu[2] y A. Del Olmo[2]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Litoteca, Ctra. Estación s/n, 14200 Peñarroya. a.santiago@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. ro.martinez@igme.es; t.sanchez@igme.es; e.boixereu@igme.es; a.delolmo@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada. c.fernandez@igme.es

Palabras clave: eritrina, cobaltita, asbolana, Zona Centro Ibérica, Zona de Ossa-Morena, Complejo Alpujárride, proyecto POMINAL

Resumen

El concepto de transición energética abarca varias materias primas entre las que está el cobalto. El proyecto POMINAL está dentro del convenio de colaboración entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y permite desarrollar la investigación de este elemento y otras sustancias.

El cobalto se utiliza para la fabricación de las superaleaciones de Ni/Co/Fe de la industria aeroespacial; baterías de litio; colorantes para vidrios, esmaltes, plásticos, cerámica, pintura o tejidos; aleaciones magnéticas y equipos eléctricos; catálisis industrial; medicina, etc. El consumo mundial de cobalto se hace en un 73% en forma de metal, un 20% como compuestos químicos con óxido de cobalto, y un 7% en esmaltina y óxido de cobalto (Co_3O_4).

Se ha catalogado como elemento estratégico y crítico por la UE debido a la concentración espacial de los depósitos y de la producción en países externos a Europa, al incremento del consumo para nuevas aplicaciones industriales y tecnológicas, a la difícil sustitución por otro metal, y especulación en los mercados internacionales de minerales de cobalto.

Los principales depósitos de cobalto se localizan en el Cinturón Cuprífero Centroafricano (R. D. del Congo, Zambia, Zimbabue y Uganda). Son de tipo ortomagmático y estratiformes de sulfuros vulcano-sedimentarios, donde el cobalto se explota como subproducto de minerales de níquel, cromo, cobre, etc. Los minerales más conocidos como mena de Co son la cobaltita, eritrina, asbolana, esmaltita, escuterudita, carrolita, etc.

Una de las provincias metalogenéticas con mayor interés prospectivo para el cobalto reside en la Faja Pirítica al SO de España (Huelva-Sevilla), donde los indicios están asociados a sulfuros masivos en las minas de Tharsis, Ríotinto, Sotiel y Aznalcóllar. Otros importantes indicios andaluces de cobalto se localizan en las Zonas de Ossa Morena y Centro Ibérica del Macizo Varisco (provincias de Huelva, Sevilla y Córdoba) y en el complejo Alpujárride de la Zona Interna de la Cordillera Bética (provincias de Granada y Almería).

Abstract

Structural changes of the energetic systems have resulted in a new concept of energy transition that needs several raw materials, including cobalt. The POMINAL Project, developed by IGME in agreement with the regional government of Andalusia, is locating potentially interesting deposits. Cobalt is used for superalloys with Ni and Fe in aerospace industry, in the production of lithium batteries, magnetic alloys and electrical equipment, medicine, etc. 73% of the global cobalt consumption is in the metallic form, 20% are cobalt oxides and 7% as cobalt carbide.

Cobalt is considered a critical raw material because of the concentration of ore deposits in countries outside Europe and the large increase of consumption in new industrial applications, together with the difficulties to find suitable substitutes for this mineral. Main cobalt deposits are located in Central Africa, (Congo, Zambia, Zimbabwe and Uganda). These deposits are ortomagmatic and stratabound volcanic sulphides, where cobalt is benefited together with nickel, chrome, copper, etc.

The most interesting metallogenetic province to find cobalt in Andalusia is the Iberian Pyritic Belt, where cobalt prospects are linked to massive sulphides in the mines of Tharsis, Riotinto, Sotiel and Aznalcóllar. Other deposits may be found in Ossa Morena and Central Iberian Zones and in the Internal Zone of the Betic Cordillera.

Sustancias críticas: minerales de vanadio para la transición energética en Andalucía

Critical substances: vanadium minerals for the energy transition in Andalusia

A. Santiago[1], R. Martínez-Orio[2], T. Sánchez-García[2], C. Fernández-Leyva[3], E. Boixereu[2] y A. Del Olmo[2]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Litoteca, Ctra. Estación s/n, 14200 Peñarroya. a.santiago@igme.es
2 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. ro.martinez@igme.es; t.sanchez@igme.es; e.boixereu@igme.es; a.delolmo@igme.es
3 Dpto. Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada. c.fernandez@igme.es

Palabras clave: vanadio, vanadinita, magnetita vanadífera, Zona de Ossa-Morena, proyecto POMINAL

Resumen

El cambio estructural en los sistemas energéticos ha abocado a una transición energética donde son necesarias nuevas materias primas entre las que está el vanadio. Un convenio de colaboración entre la Junta de Andalucía y el Instituto Geológico y Minero de España está permitiendo desarrollar el proyecto POMINAL para la investigación de estas sustancias.

Los principales usos del vanadio son: aleaciones de aceros especiales y aleaciones de titanio, como electrolito para las Baterías de Flujo Redox de Vanadio o VRB, catalizadores o en la industria electrónica. El V ha adquirido el nivel de estratégico y de criticidad por diferentes razones: crucial en la revolución de las energías renovables, utilizado en las baterías de elevado almacenamiento y duración; y la aplicación de las aleaciones de Ti en la industria aeroespacial y en la construcción de estructuras antisísmicas.

El V se extrae habitualmente como un subproducto o coproducto de otros elementos tales como hierro (magnetita vanadífera), uranio (carnotita) o fósforo. Los minerales de V, como vanadinita, calderonita, mottramita, descloizita y magnetita vanadífera, son de origen tardío, formados en condiciones alcalinas muy ricas en carbonato y en ambientes áridos. También se pueden encontrar en multitud de materiales de los vertederos industriales.

Los indicios de minerales de V de Andalucía se concentran por diferentes regiones. En la provincia de Córdoba se encuentran: Navalespino-La Solución (Fuente Obejuna), Sierras de Gata y Los Santos (Fuente Obejuna-Belmez), Sierra Albarrana y alrededores de la mina Venus (Hornachuelos), en la Zona de Ossa Morena. La Zona Centro Ibérica de Andalucía presenta indicios de V asociados a sistemas filonianos subparalelos con minerales de Pb-Zn-Fe-Cu, así como en las aureolas de metamorfismo de contacto de las pizarras del Cámbrico que han sido atravesadas por filones de galena, y en los filones del batolito de Los Pedroches en los municipios de Cardeña, El Guijo, Torrecampo, Belalcázar, Villanueva del Duque y Pozoblanco. En el Alpujárride de la Cordillera Bética afloran indicios de V por las sierras de Albuñuelas, Almijaras y Guájares (Granada), asociado a carbonatos de plomo y galena, como productos minoritarios.

No están evaluados los recursos de V en España, a pesar de los numerosos indicios identificados, lo que puede dar pie a proyectos de investigación con tal finalidad.

Abstract

Structural changes of the energetic systems have resulted in a new concept of energy transition that needs several raw materials, including vanadium. The POMINAL Project, developed by IGME in agreement with the regional government of Andalusia, is locating potentially interesting deposits. V is used as an alloy in the steel industry and as the base for Redox Flux Batteries. V has become strategic because of its application in renewable energy, high capacity batteries and the construction of anti-seismic structures. V is usually extracted as a byproduct in the mining of iron, uranium (carnotite) or phosphorus. Vanadium minerals are usually formed under alkaline conditions and arid environments. It also may be found in industrial dumps.

Main V prospects in Andalusia are located in several areas within the Ossa Morena Zone, but also associated to Pb-Zn-Fe-Cu fractures in the Central Iberian Zone and to lead ores in the Betic Cordillera. V resources have never been evaluated in Spain, and it might be of large interest for research in the upcoming years.

Los recursos potenciales de Nb-Ta en la Zona Centro Ibérica, España

Nb-Ta potential resources in the Central Iberian Zone, Spain

S.M. Timón-Sánchez[1], A. Díez-Montes[2], J. García-Crespo[3], J. F. Mediato-Arribas[3], T. Sánchez-García[3], P. Valverde-Vaquero[4]

1 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC). Pza. de la Constitución, 1, 3º, 37001 Salamanca s.timon@igme.es
2 Dpto. de Invest. y Prospectiva Geocientífica, CN-IGME (CSIC), Pza. de la Constitución, 1, 3º, 37001 Salamanca al.diez@igme.es
3 Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, CN-IGME (CSIC), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid garcia.crespo@igme.es; jf.mediato@igme.es; t.sanchez@igme.es
4 Dpto. de Infraestructura Geocientífica y Servicios, CN-IGME (CSIC), La Calera 1, Tres Cantos, 28760 Madrid p.valverde@igme.es

Palabras clave: depósitos de Nb-Ta, metalogenia, Zona Centro Ibérica, GeoERA.

Resumen

Una de las principales preocupaciones para la Unión Europea (UE) es asegurar el suministro sostenible de materias primas y elementos considerados críticos, entre los que se encuentran el niobio (Nb) y el tántalo (Ta). La producción de Nb y Ta en los países de la UE no es suficiente para abastecer la demanda creciente, siendo necesaria la importación de mercados exteriores. Ante esta situación, la UE se ha visto obligada a apoyar nuevas líneas de investigación cuyo fin último es identificar recursos potenciales de estos elementos. La Zona Centro Ibérica (ZCI) del Macizo Varisco representa una importante provincia metalogenética con distritos mineros de Sn-W y depósitos de metales raros (Nb, Ta, Li, Be, Mo). Estos yacimientos han sido explotados en el pasado para la extracción de Sn y/o W pero, en su mayor parte, no han sido estudiados en detalle desde los años 70-80. En este trabajo se estudian las mineralizaciones de Nb-Ta que se presentan diseminadas en pequeños cuerpos leucograníticos de la ZCI. Se llevarán a cabo estudios metalogenéticos que incluyen la caracterización geológica, mineralógica, geoquímica y geocronológica exhaustiva de cada depósito y una estimación actualizada de las reservas. Todo ello contribuirá a aumentar el conocimiento sobre los recursos potenciales de Nb y Ta y otros elementos asociados en nuestro país.

Este estudio forma parte de un paquete de trabajo del proyecto FRAME (Forecasting and assesing europe's strategic raw materials needs) enmarcado en la convocatoria GeoERA (https://geoera.eu/) y cofinanciado por el programa de investigación e innovación de la Unión Europea H2020 nº 731166.

Abstract

One of the most important concerns for the European Union (EU) is to ensure the sustainable supply of a number of raw materials and elements considered critical, such as niobium (Nb) and tantalum (Ta). Nb and Ta production by the UE is not enough to supply the growing demand and imports from foreign markets is required. Therefore, the EU has been forced to support new lines of research in order to identify potential sources of these critical elements. The Central Iberian Zone (CIZ) of the Variscan Massif is a well-known metallogenic province with Sn-W mining districts and rare metal deposits (Nb, Ta, Li, Be, Mo). These ore deposits have been exploited previously for Sn and/or W but most of them have not been studied in any detail since the 1970-80's. This work focuses on the study of Nb-Ta mineralizations that occur as disseminations throughout small leucogranite bodies in the CIZ. Metallogenic studies that include exhaustive geological, mineralogical, geochemical and geochronological characterization of each deposit, and update of reserves, will be carried out. This will contribute to increasing knowledge about the potential resources of Nb and Ta and other associated elements in our country.

This study is part of a work package of FRAME, which is part of the GeoERA project (https://geoera.eu/) co-funded through the European Union's H2020 research and innovative programme under grant agreement Nº 731166.

Canarias aguas profundas y el sondeo Sandía-1x

The deep waters of the Canary Islands and the Sandia 1x well

W. Martínez del Olmo

C/ Ángel Muñoz 3. Madrid wmartinez@oilandgascapital.com

Resumen:

Las aguas profundas del Este de Lanzarote y Fuerteventura albergan una cuenca de más de 15.000 km^2 y más de 9.000 m de sedimentos del Mesozoico y del Cenozoico. En 1988 la tecnología de perforación-producción en aguas profundas es usual y ello motivó que Repsol iniciase la evaluación del área mediante reprocesados y nueva adquisición de sísmica 2D. Base de datos que, combinada con información de 13 sondeos de las colindantes aguas de Marruecos, lleva a estimar que la cuenca alberga un potencial exploratorio cifrado en 2.000 a 6.000 MBOR. En 2012 Repsol, Woodside y RWDEA ofrecen un programa exploratorio de dos sondeos de 3.500 m de profundidad y una sísmica 3D de 3.249 km^2, todo un récord para España; pero por problemas nada justificados, propiciados por el Gobierno de la CA de Canarias, el programa se interrumpe hasta la perforación en 2015 del sondeo Sandia-1x. Un resumen de sus resultados es: 1. Objetivo principal alcanzado 180-200 m por debajo de la culminación estructural de la trampa. 2. Indicios de C_1 a C_5 en toda la inmadura sección perforada. 3. Indicios de petróleo desde 950 m hasta el fondo, sin duda procedentes de una roca madre madura y profunda. 4. Rocas madres en el Eoceno-Paleoceno. 5. Diagrafías de pozo con impregnaciones inferiores al metro de espesor.

Resultados que resumen: a) Existencia de potencial en la culminación estructural, no investigada por Sandia-1x. b) Presencia de una roca madre del Mesozoico activa y profunda, lo que unido a los muchos otros prospectos existentes, permite concluir que bajo condiciones mediáticas no adversas, quizás no se habría producido la renuncia a los permisos Canarias 1-9.

Palabras clave: Sondeo exploratorio, inconcluso potencial en hidrocarburos.

Abstract:

The deep waters of the East of Lanzarote and Fuerteventura (Canary Islands) contain a basin of 15,000 km^2 with more than 9,000 m of sediments from the Mesozoic and Cenozoic. In 1988 deepwater drilling and production technology is common and this motivates Repsol to initiate the evaluation of the basin through reprocessing and acquisition of new 2D seismic data, a database that was combined with information of 13 wells drilled in the adjoining waters of Morocco. The initial geologic-geophysical review concludes that the basin has an assessed exploratory potential of 2,000 to 6,000 MBOR. In 2012 Repsol, Woodside and RWDEA offered an exploratory program of two wells 3,500 m deep and 3,249 km^2 3D seismic, a record for Spain; but, due to unjustified problems, brought about by the Government of the Canary Islands CA, the program was interrupted until the drilling of the Sandia-1x well in 2015.

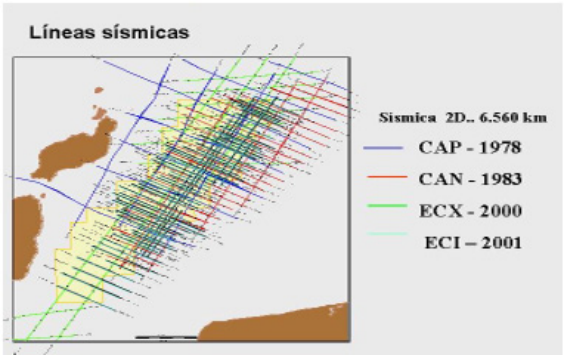
A summary of well results is:1. Main target reached 180-200 m below the structural culmination of the Sandia trap. 2. Multiple C_1 to C_5 shows throughout the immature perforated section. 3. Petroleum indications from 950 m to the bottom, no doubt coming from a mature and deep source rock. 4. Other source rocks in the Eocene-Paleocene. 5. Well logs without a single meter impregnated by hydrocarbons.

Results that summarize: a) Existence of hydrocarbon potential near the top of the structure, not investigated by Sandia-1x. b) Presence of an active and deep Mesozoic source rock, which together with the many other existing prospects, allows us to conclude that under non-adverse media conditions, there would have been no relinquishment of the Canarias 1-9 permits.

Keywords: *Exploratory well, overlooked exploration area.*

INTRODUCCIÓN

Desde el recién creado Dto de Aguas profundas, en el año1988, Repsol inicia la evaluación de las aguas al Este de Lanzarote y Fuerteventura partiendo de una extensa base de datos sísmicos (reprocesados de viejas campañas y nuevas adquisiciones en 2000 y 2001) a la que conecta la información de 13 sondeos realizados en las aguas más occidentales de Marruecos, dos de ellos (sondeos MO-2 y MO-8) con un descubrimiento de petróleo pesado en el Jurásico del borde externo de la plataforma occidental. A este tiempo la exploración de las aguas profundas de muchas cuencas ha sido muy exitosa en áreas aledañas a las viejas plataformas productivas. La repetición del productivo patrón, plataforma productiva y aguas profundas,



gob. es /ATHv2/.

FIGURA 1. Campañas sísmicas que inician la interpretación de lo que luego serían los Permisos Canarias 1 a 9. La extremidad Este de las líneas sísmicas es coincidente con la equidistancia de las costas.

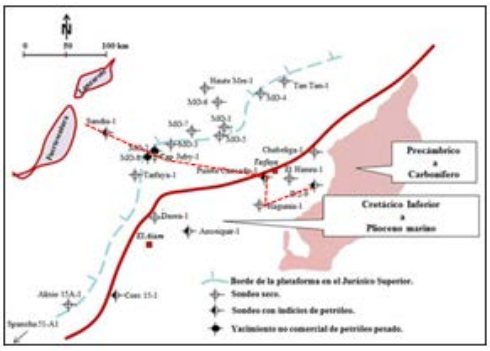


FIGURA 2. Sondeos incorporados a la interpretación. Nótese que Sandía-1 no existía y la posición de los descubrimientos MO-2 y MO-8. Línea roja a trazos: posición de la trasversal de la figura 3.

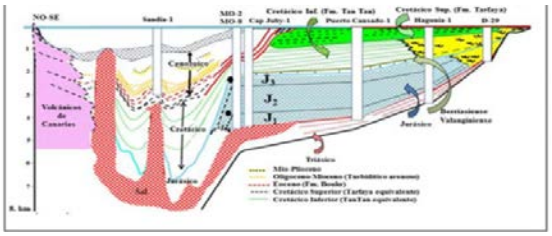


FIGURA 3. Esquema geológico mostrando los datos que sustentaban el proyecto exploratorio de Canarias Aguas Profundas.

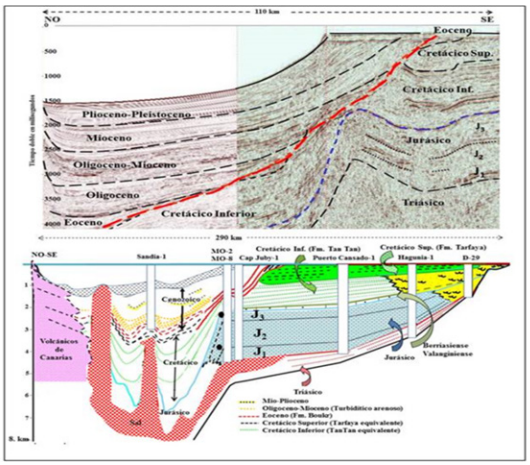


FIGURA 4. Línea sísmica que sustenta las interpretaciones geológicas de las FIGURAS 3 y 4.

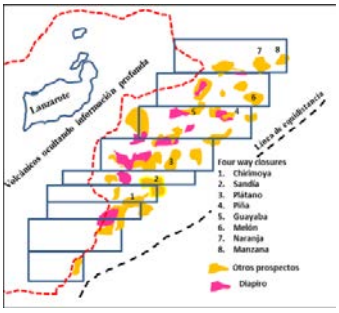


FIGURA 5. Número y tipo de prospectos identificados desde la sísmica 2D (Oeste) y 3D en centro y Este de Canarias 1 a 9.

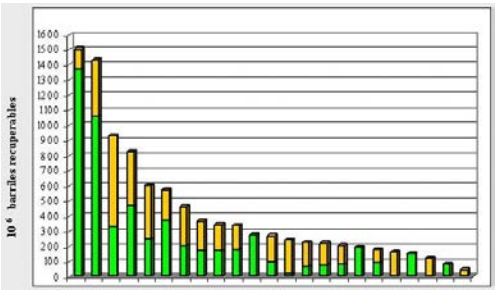


FIGURA 6. Estimaciones del potencial de las diferentes trampas (verde, Oligoceno-Mioceno y naranja, Eoceno-Paleoceno). Sandía es la primera por la izquierda.

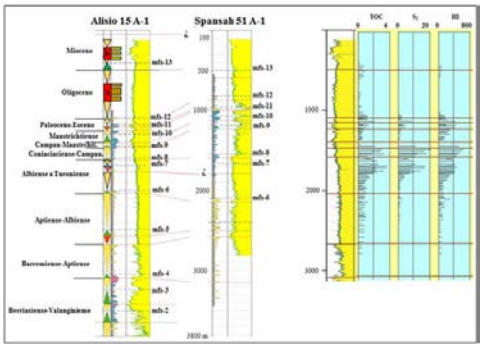


FIGURA 7. Análisis geoquímicos de los somdeos Alisio 15 A-1 y Spansah 51 A-1. La Formación Boukra del Eoceno fue alcanzada en Sandía 1-x y mostró potencial de roca madre.

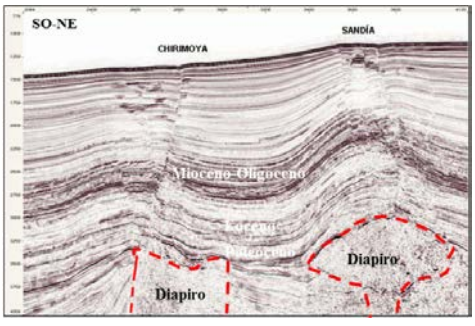


FIGURA 8. Linea sísmica conectando los prospectos Chirimoya y Sandía (1 y 2 de la fig.5). Nótense las anomalías de amplitud que muestran el gas migrado y biogénico (hydrocarbon flags) hasta la proximidad del fondo marino y los fuertes paquetes de reflexiones que se correponden con los intervalos turbidíticos del Oligoceno-Mioceno Inferior, Eoceno y Paleoceno.

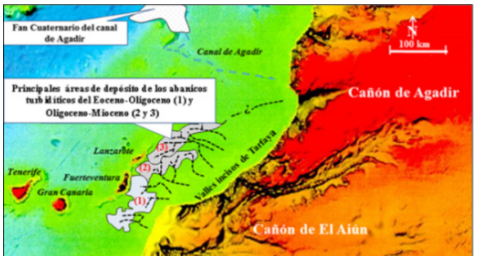


FIGURA 9. Área de depósito de los sistemas turbidíticos que conforman los almacenes arenosos procedentes desde los valles incisos del margen africano. (1, 2 y 3, nomenclatura adoptada para los abanicos en función de su área de depósito principal)

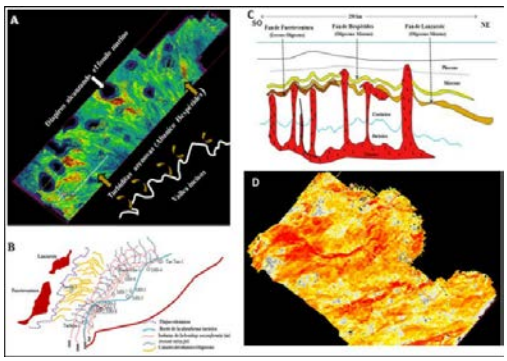


FIGURA 10. A. Modelo sedimentario de los valles incisos y anomalías de amplitud que muestran los depósitos turbidíticos. B. Esquema regional. C. Dispositivo sedimentario de los tres grandes ciclos turbidíticos en una transversal S0-NE. D. Detalle de la extracción de amplitudes al techo del abanico turbidítico con canales y lóbulos del Oligoceno-Mioceno Inferior.

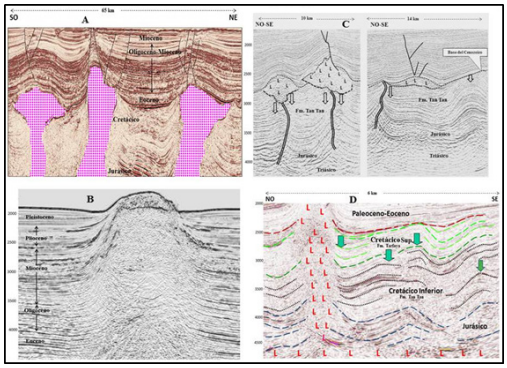


FIGURA 11. A. Chimeneas diapíricas que alcanzan la discordancia base del Cenozoico (break unconformity). B. Diapiros alcanzando el fondo marino. C. Cicatrices y overhangs. D. Prospectos en las formaciones del Cretácico Tarfaya oil shale y Tan Tan deltaica.

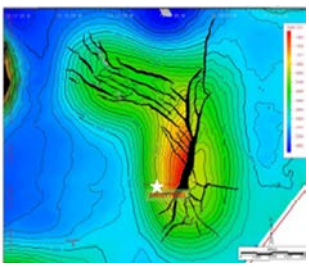


FIGURA 12. Mapa estructural del prospecto Sandia (i.c.10 m) mostrando la baja posición estructural del sondeo para evitar los hydrocarbon flags poco profundos y el ático no investigado.

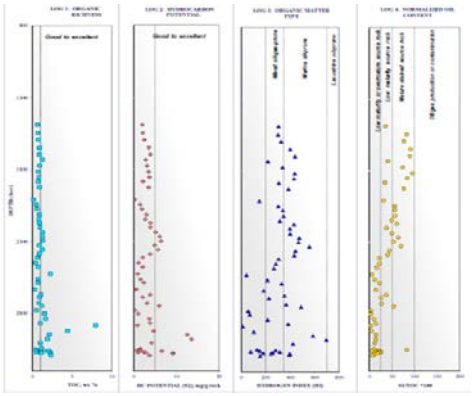


FIGURA 13. Geoquímica Sandía-1x. Nótese la inmadurez del Cenozoico, los altos índices de hidrógeno y el hidrocarburo migrado.

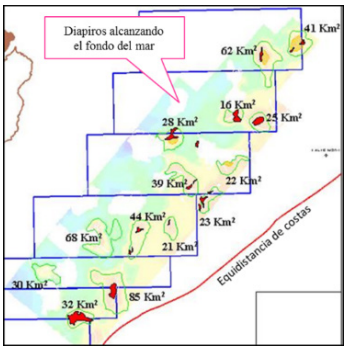


FIGURA 14. Prospectos presentes en Canarias 1 a 9. En rojo se representa el área con hydrocarbon flags semejantes a los mostrados en la figura 8 para Sandía y Chirimoya.
ESSO perforó en aguas españolas el sondeo Haute Mer-1(Fig. 2) en un permiso bajo la ley marroquí, lo que da idea de mala praxis y ambición, al no haberse informado a las autoridades españolas.

Depth (mMDRT)	Peak Type	TG (ppm)	C1 (ppm)	C2 (ppm)	C3 (ppm)	iC4 (ppm)	nC4 (ppm)	iC5 (ppm)	nC5 (ppm)
1522	FG	3363	3271	2	0	0	0	0	0
1583	FG	3234	3282	3	0	0	0	0	0
1666	FG	4605	4582	17	0	0	0	0	0
1723	FG	4700	4629	19	0	0	0	0	0
1920	FG	4878	4386	8	0	0	0	0	0
2096	FG	41600	36917	209	21	6	0	0	0
2121	POG	63000	59316	375	83	31	9	10	3
2122	CG	41800	40623	93	11	8	1	3	1
2162	CG	47100	46258	108	13	5	1	2	0
2202	CG	41800	34017	82	19	13	3	5	1
2244	CG	34400	23921	129	48	22	8	8	2
2285	CG	19400	13643	102	45	21	8	10	3
2294	FG	16200	15432	79	16	12	4	5	1
2325	CG	97700	92992	645	172	56	20	21	5
2354	FG	31100	28436	141	20	14	4	9	2
2364	CG	22800	29304	159	55	26	9	11	4
2380	FG	28800	27543	92	19	14	4	7	1
2389	FG	29500	28684	120	19	14	4	9	1
2393	FG	22800	20416	101	18	13	3	8	1
2399	FG	19000	18090	94	16	12	4	7	1
2405	POG	89300	73889	384	94	41	14	14	4
2405	POG	73500	62909	349	81	35	12	14	13
2079	POG	66000	60098	77	1	4	0	3	0
2405	TG	76000	74242	232	78	32	6	10	2
2431	FG	12100	11222	55	8	8	3	5	1
2711	FG	6500	6115	39	1	2	4	5	1
2756	POG	25300	23485	83	1	6	4	7	2
2756	TG	102800	94766	259	40	25	8	13	3
2756	POG	12000	10650	53	1	4	5	6	2
1850	TG	28000	-	-	-	-	-	-	-
2280	TG	50000	-	-	-	-	-	-	-
2780	FG	2500	2224	18	3	2	3	4	1
2796	TG	1300	-	-	-	-	-	-	-
2840	CG	4300	3895	30	6	4	7	7	3
2881	POG	2700	2215	22	8	5	9	9	4
2881	TG	7100	5739	42	5	6	12	13	6
2942	FG	3500	2895	34	6	4	6	8	3
3013	FG	1448	1044	17	9	5	7	8	3
3086	FG	1100	892	28	8	8	6	4	3

TABLA 1. Cromatografía durante la perforación de Sandía 1-x.

Nota complementaría: Todas las figuras, excepto las 12, 13, y la tabla 1, que han sido tomadas desde el Informe Sandía-1x del Archivo Técnico de Hidrocarburos, proceden de las restantes referencias indicadas.

y la constatación de que los viejos informes internos atribuían a volcanes las chimeneas diapíricas y no percibían la presencia de almacenes turbidíticos. Información que combinada con la posible presencia regional de las *Tarfaya oil shales* (Bouchta, 1984) y el petróleo en los sondeos MO-2 y MO-8 lleva al grupo Repsol a considerar la posibilidad de encontrar de 2.000 a 6.000 MBOR. Este potencial se fija en 6 prospectos *four way closures* relacionados con un intervalo, arenoso y turbidítico, que abarca desde el Mioceno Inferior al Paleoceno (Buitrago *et al.*, 2003; Martínez del Olmo y Buitrago, 2002; Martínez del Olmo, 2004 a, b; 2005; 2019; Martínez del Olmo *et al.*, 2018) dejando para una segunda fase exploratoria las posibilidades visibles en el más profundo Cretácico y obviando por su excesiva profundidad (8.000-9.000 m) el potencial del Jurásico. En 2012 Repsol, Woodside y RWDEA se comprometen a un programa exploratorio de dos sondeos de 3.500 m de profundidad (nivel del mar) y una sísmica 3D de 3.249 km^2, pero por problemas nada justificados y propiciados por el Gobierno de la CA de Canarias, el programa se interrumpe hasta la perforación en 2015 del sondeo Sandia-1x, cuyos resultados (Archivo Técnico de Hidrocarburos, 2019) permiten diferentes interpretaciones de la renuncia a los Permisos de Investigación Canarias 1 a 9.

DATOS

Sandía-1x (880 m de agua) se planteó como sondeo desviado y paralelo a una falla de cresta diapírica para así evitar los visibles *hydrocarbon flags* que la jalonan en toda su longitud. La perforación se detiene en el Paleoceno a 3.093 m MDRT=2.921 TVDSS y muestra:

1. Objetivo principal alcanzado 200 m por debajo de la culminación estructural de la trampa.

2. Indicios C_1 a C_5 en toda la inmadura sección perforada.

3. Indicios de petróleo desde 950 m hasta el fondo, procedentes de una roca madre madura y profunda.

4. Rocas madre en el Eoceno-Paleoceno.

5. En diagrafías, impregnaciones muy delgadas (< 1,0 m).

INTERPRETACIÓN

El sondeo Sandía 1-x ha demostrado:

a) La presencia de roca madre del Mesozoico, activa y profunda, porque toda la sección del Cenozoico perforada está inmadura (Ro.5 a. 6, Tmax < 430) y al perforarla se registraron notables indicios de C_1 a C_5 (normal gas, taponeS de fondo y de conexión del 6 al 70 %).

b) La existencia de almacenes arenosos con espesor total neto > 250 m y porosidades del 17-19 % en el Mioceno Inferior-Oligoceno, Eoceno y Paleoceno.

c) La posible existencia de hidrocarburos en los 200 m finales de la culminación estructural de la trampa Sandía, que no fueron investigados por el sondeo Sandía-1x.

d) La constatación de que las banderas de hidrocarburo (*hydrocarbon flags*) someras no solo son de gas biogénico, como inicialmente se había interpretado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

No hay duda de la existencia de almacenes arenosos espesos y una roca madre del Mesozoico, activa y profunda, que ha generado una migración en vertical posiblemente por fallas, pero sí existen dudas relativas a: su riqueza, volumen y edad. A la vez, la sísmica en 3D ha permitido definir numerosas trampas estructurales, a techo o flanco de las extrusiones diapíricas (Jackson and Talbot, 1996; Martínez del Olmo, 2004 b, 2005) que alcanzan el Cenozoico o de tipo *turtle back* en las turbiditas, quizás deltas, del Cretácico. Es así como el área ocupada por los Permisos Canarias 1 a 9 se entiende demasiado extensa para considerar que un único sondeo exploratorio la ha evaluado correctamente, motivo que permite interpretar que, bajo condiciones mediáticas no adversas, no se habría producido la renuncia a los permisos Canarias 1-9.

REFERENCIAS

Bouchta, R. (1984): Valorization studies of the Morocan oil shales. *Office Nationale de Researches et Explotations Pétrolièrs Bulletin*, 774, Agdal, Rabat.

Buitrago, J., *et al.* (2003): An Emergent Play in the Deep Water Basin between Canary Island and Morocco. *American Association of Petroleum Geologist. Search and Discovery Article*, # 90017.

Jackson, M. P. A. and Talbot, C. J. (1996): External kinematics of salt pillows shapes, strain rates and dynamics of salt structures. *Geological Society of America Bulletin*, 97:305-323.

Martínez del Olmo, W. y Buitrago, J. (2002): Sedimentación y volcanismo al este de las islas de Fuerteventura y Lanzarote (Surco Fúster Casas). *Geogaceta*, 32, 51-54.

Martínez del Olmo, W. (2004a): La exploración de hidrocarburos en el Terciario de España. *Boletín del Geológico y Minero,* 115(3): 411-426.

Martínez del Olmo, W. (2004b): Potencial Exploratorio de la Zona de Exclusividad Económica de España. Cursos de verano de El Escorial. Madrid. 41pp.

Martínez del Olmo, W. (2005): Bloques Canarias 1 a 9. Curso ICOG de España, 130 p.

Martínez del Olmo, W., *et al.* (2018): The Spanish Petroleum System and the Overlooked Areas. *AAPG*.. Granada, Spain.

Martínez del Olmo, W. (2019): The Hydrocarbon Systems of the Spanish Territory and the overlooked areas and exploration targets. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 130 (2). 289-315.

Archivo Técnico Hidrocarburos (2019): Inf.final sondeo Sandía-1x. *Arch. Téc. Hidroc.*, https://geoportal. Minetur.

Si a las renovables y a la exploración con el gas como objetivo

Yes to renewable energies and gas exploration

W. Martínez del Olmo[1]

1 Oil and Gas Capital s. l. C / Ángel Muñoz 3, Madrid . wmartinez@oilandgascapital.com

Resumen: En la cumbre de París España se ha comprometido en llegar al 2030 con emisiones totales de CO_2 de 110 MTm. Compromiso que debemos conseguir sin colapsar el estado del bienestar cuando el viento, el sol y la lluvia, no alcancen a satisfacer la demanda de electricidad; pero si atendemos a los medios lo único en lo que parecen interesados, es en suprimir la quema de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas. Iniciativas sin duda saludables y beneficiosas, pero insuficientes porque para producir desde las renovables el 100% de la electricidad que España precisa (253 TWh / 10^{12} vatios hora) necesitaríamos, por sectores, pasar de 13.000 a 65.000 aerogeneradores, de 50 a 700 plantas termosolares, de 1300 a 12.000 hidroeléctricas, y olvidando Fukushima y Chernobil de 7 a 38 reactores nucleares. A nivel mundial, la generación de energía procede en porcentajes del 33 (petróleo), 30 (carbón), 24 (gas), 6 (hidroeléctrica), 5 (nuclear) y 1,3 (renovables). Por lo que suprimir en un corto plazo el 87 % procedente de los combustibles fósiles es, aparentemente, imposible. A la vez, conviene recordar lo que significó el gas del Mar del Norte para la desaparición del famoso *smock* de Londres, pues parece un buen indicador del camino a seguir, y, contradice el énfasis mediático en la supresión total de los combustibles fósiles entre los que se incluye el gas, porque aparenta ser, más una doctrina a seguir para la aminoración del cambio climático, que una necesidad nacional y mundial. Nuestro consumo de electricidad ha tenido picos punta de 45.000 Mw y nuestro mix eléctrico se aproxima a una distribución tal como: nuclear, térmicas de carbón y eólica con 10.000 Mw cada una (30.000), hidráulica, cogeneración, ciclos combinados y solar con 5000 Mw cada una (20.000). Por tanto, si en un futuro próximo abandonamos la nuclear y el carbón tendríamos un déficit de 20.000 Mw. Déficit que nuestros ciclos combinados a gas con una potencia instalada de 24.000 Mw. podrían perfectamente asumir si el suministro de gas natural estuviese asegurado, porque conviene no olvidar que importamos el 99,8% del gas que consumimos.

Palabras clave: España, Compromiso 2030, Exploración para gas.

Abstract: *At the Paris summit Spain has committed to reach 2030 with total CO_2 emissions of 110 MTm. Commitment that we must achieve without collapsing the welfare state: housing, industry, agriculture, health, transport and electricity generation, and achieve this when wind, sun and rain fail to meet the demand for electricity; but if we take care of the media the only thing they seem interested in is suppressing the burning of fossil fuels coal, oil and gas, certainly healthy and beneficial initiatives, but insufficient because to produce 100% of the electricity from renewables that Spain needs (253 TWh / 1012 watt hours) we would need to go from 13,000 to 65,000 wind turbines, from 50 to 700 solar thermal plants, from 1300 to 12,000 hydroelectric plants, and forgetting Fukushima and Chernobyl from 7 to 38 nuclear reactors. Globally, power generation proceeds in percentages of 33, 30, 24, 6, 5 and 1.3 of oil, coal, gas, hydroelectric, nuclear and renewables, then eliminating fossil fuels in the short term is an impossible mission. What The North Sea gas meant for the disappearance of London's famous smock is a good indicator of the way forward, which does not explain the media emphasis on the total suppression of fossil fuels in our country, because it is more of a doctrine to follow than a national necessity. Our electricity consumption has peaks of 45,000 Mw and our electric mix is approaching a distribution such as: nuclear, coal, wind and solar with 10,000 Mw each (30,000), hydraulics, cogeneration, gas cycles and solar with 5000 Mw each (20,000). That is, if we left nuclear and coal in the near future, we would have a deficit of 20,000 Mw. Deficit that our gas combined cycles with an installed power of 24,000 Mw could perfectly assume if the supply of natural gas were insured, because it should be not forgotten that we import 99.8% of the gas we consume.*

Keywords: *Spain, Commitment 2030, Gas Exploration*

INTRODUCCIÓN

En el año 2017 nuestro país ha emitido 340 MTm de CO_2 un 18 % más de lo emitido en 1990 que fue de 280 MTm. Nuestro compromiso con la UE (Paris. 2015) ha sido fijado en reducir un 40 % (112 MTm) las emisiones de ese año 1990, tomado como referencia, es decir llegar al 2030 con unas emisiones totales de 168 MTm, lo que supone reducir las cifras del 2017 en 172 MTm anuales es decir reducir en un 50,5 % lo emitido en 2017. Compromiso y reto que debe conseguirse sin que por ello colapsemos el estado del bienestar, que principalmente consiste en proporcionar: vivienda digna, industria, agricultura, sanidad, transporte y generación de electricidad, y hacerlo cuando el viento, el sol y la lluvia no alcancen a satisfacer nuestra demanda de electricidad.

Alcanzar el compromiso español, no es fácil, y es evidente que hay tres trabajos a los que dedicar esfuerzo, capacidades, financiación y ayudas de todas las instituciones competentes (Gobierno, CCAA y Ayuntamientos)

1) Reducir emisiones incrementando las renovables, a las que en el resumen se han dado cifras que, por sectores, visualizan la dimensión del problema.

2) Capturar, transportar e inyectar el CO_2 en trampas geológicas, y para ello necesitamos datos de sísmica y sondeo, que solo pueden venir de la metodología usada en la exploración de hidrocarburos.

3) Hacer trabajar al 80-100 % (ahora al 10 %) los ciclos combinados existentes, pues para idéntica potencia instalada emiten un 60 % menos de lo que emiten los que queman carbón u otro tipo de hidrocarburo líquido (Termuelen, 2001) y para ello también necesitamos un suministro de gas, deseablemente no importado, porque conviene conocer que importamos el 99,8 % del que consumimos, lo que genera una muy abultada factura, y sin duda una cínica respuesta al cambio climático, pues los países productores de gas y petróleo también están en el Planeta que necesitamos proteger y su desarrollo acelerado generará nuevas emisiones. A no ser que con pagar nuestras importaciones de hidrocarburos, les prohibamos el desarrollo industrial. "Zanahoria y palo"

DATOS

Es evidente que el devenir geológico de España no nos ofreció las condiciones necesarias para hacernos, lo que coloquialmente se llama, un país petrolero, pero también es verdad que nuestro esfuerzo exploratorio se realizó hace 30 años, tiempo en el que no existían la diversidad de tecnologías que hoy son accesibles (Amplitud Versus Offset, sísmica en 3D para la visualización de trampas estratigráficas, modernos algoritmos de reprocesado de viejas o nuevas líneas sísmicas, perforación con altas desviaciones, perforación en aguas profundas, etc.) y ello amplia considerablemente nuestra capacidad exploratoria.

También hay que destacar (Martínez del Olmo y Motis, 2012) que cuando más se exploró, en España, el gas natural no fue un objetivo preferencial, lo que deja un vacío de datos que conviene revisar y ningún mejor ejemplo que el descubrimiento en el año 2010 del yacimiento de gas y condensado de Viura (3-4.000Mm^3) en la hasta entonces, aparentemente bien explorada (6 sondeos) pequeña cuenca de La Rioja.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La exclusiva presencia de yacimientos de petróleo en la dos regiones más exploradas, Burgos y Golfo de Valencia, no permite albergar muchas expectativas petrolíferas, caso que no puede extenderse a las posibilidades gasíferas, donde las esperanzas se acrecientan, ejemplos del Guadalquivir-Golfo de Cádiz pre y post-olistostromas, (Martínez del Olmo y Martín, 2016), Mesozoico de la Cordillera Bética bajo la caótica masa del Subbético (Martínez del Olmo, 2018), el Messiniense pre salino de las cuencas Norte y Sur de las Baleares (Martínez del Olmo y Martín, 2015), el Mesozoico pre y post-olistostromas de la Cordillera Bética y el *on* y *offshore* de la Cuenca cantábrica en trampas estructurales y especialmente estratigráficas alimentadas por las formaciones Valmaseda y Lías margoso, y especialmente los detríticos pre-Keuper (Martínez del Olmo, 2019) que tantas reservas recuperables de gas han proporcionado en modelos geológicos semejantes de Argelia, Holanda y Reino Unido.

En conclusión, tenemos medios para poder iniciar una nueva fase exploratoria que podría llevarnos a reducir nuestra dependencia en el necesario suministro de gas natural y en la reducción de la abultada factura que suponen

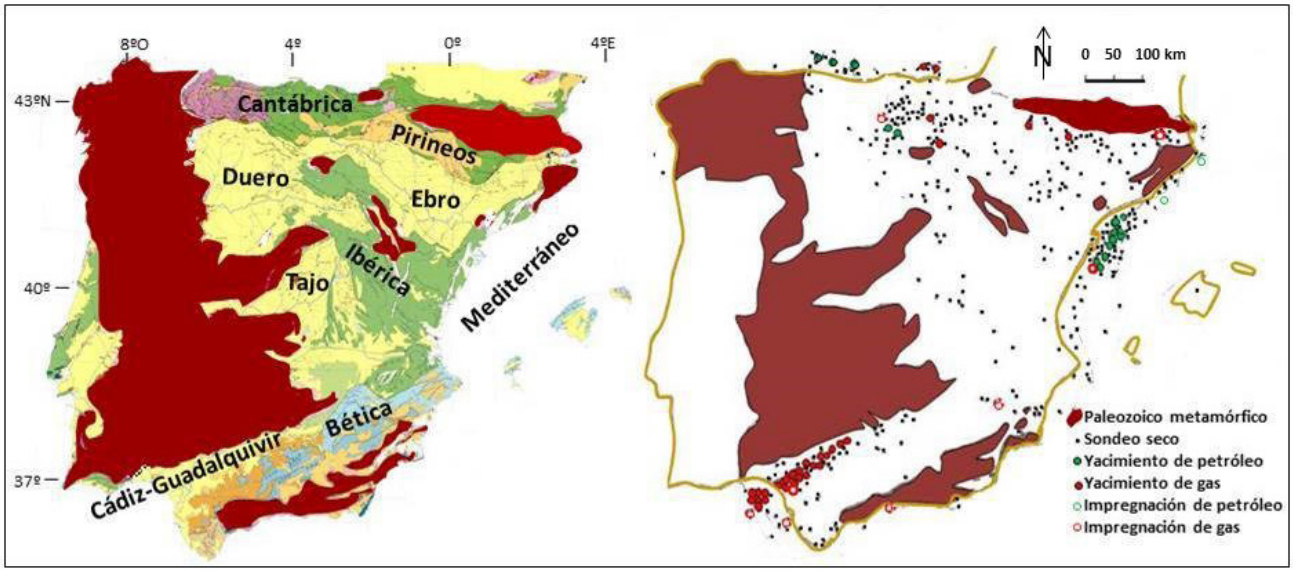


FIGURA 1. Las cuencas sedimentarias de España y los sondeos y descubrimientos en ellas realizados. Nótese que Cantábrica, Ebro, Golfo de Valencia y Guadalquivir-Cádiz contienen una aceptable densidad de sondeos.

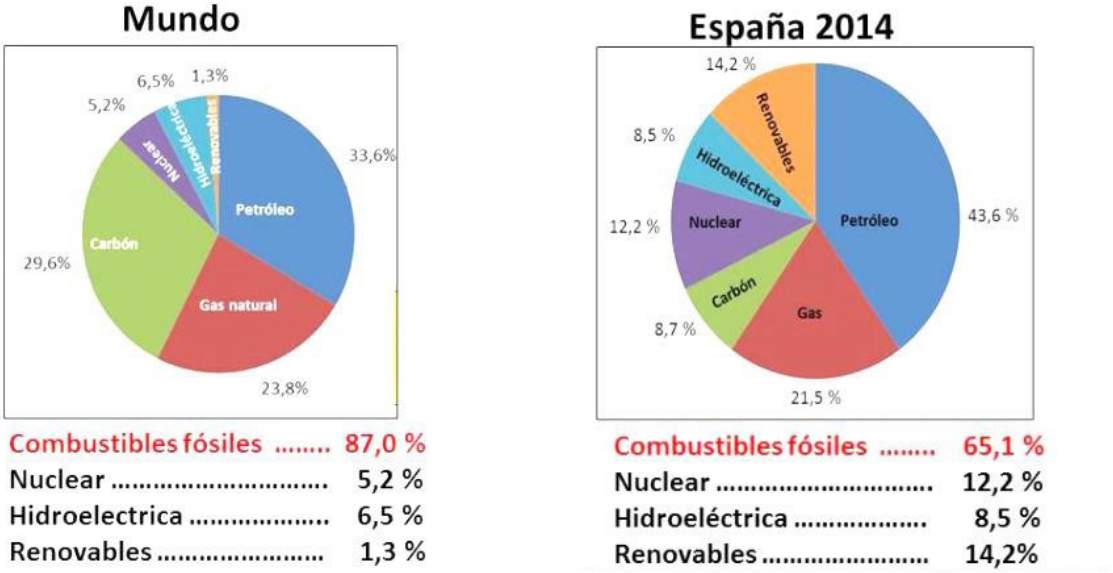


FIGURA 2. Procedencia de la energía, de la que se deduce la excelente posición de España en renovables. Desde Energy Outlook (2013); Ministerio de Industria Turismo y Comercio (2014).

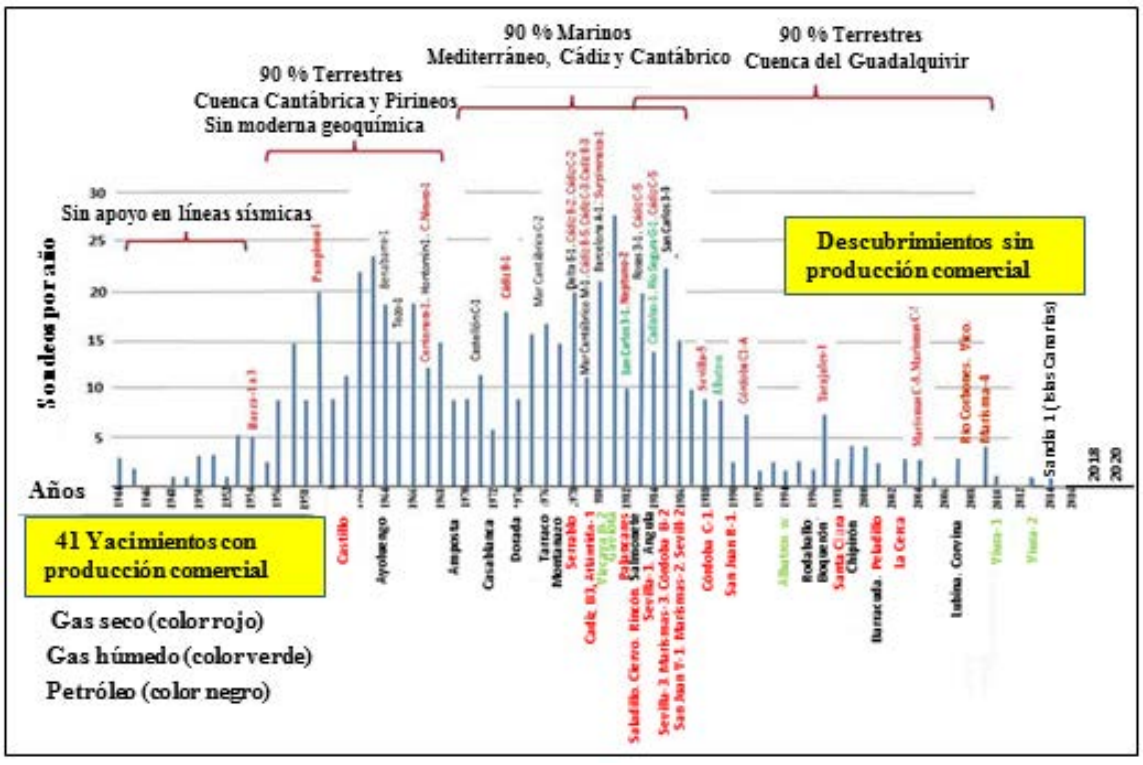


FIGURA 3. Resumen de los medios utilizados, años de realización y resultados de los 560 sondeos exploratorios perforados en España. Nótese como las dificultades operacionales promovidas por las campañas mediáticas anti combustibles fósiles han llevado a perforar sólo dos sondeos en los últimos 15 años, y como a partir de 2007 (Lubina y Corvina) la exploración en el prolífico Golfo de Valencia fue suspendida, no por ausencia de proyectos exploratorios sino por sorprendentes criterios medioambientales.

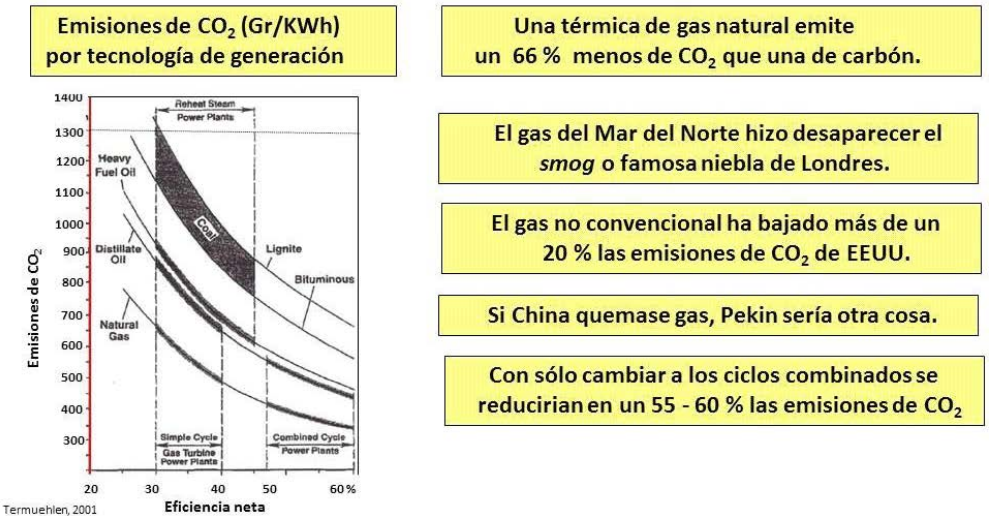


FIGURA 4. Eficiencia y emisiones de C0₂ por tipo de combustible en las térmicas.

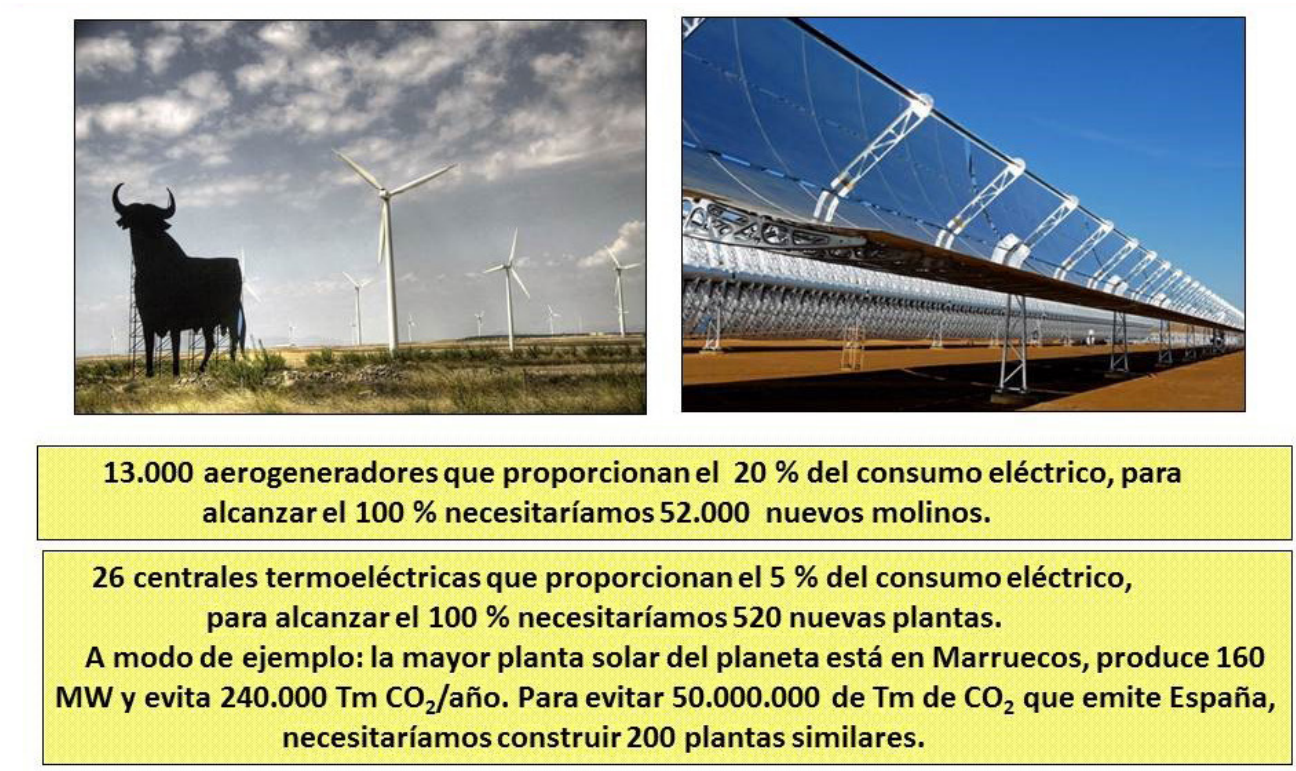


FIGURA 5. Necesidades de España contando con sólo renovables.

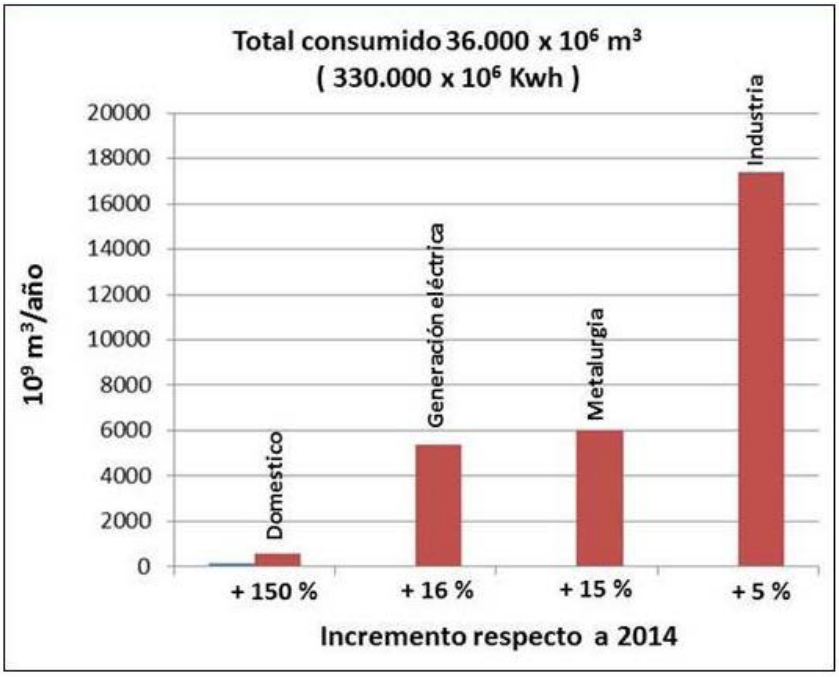


FIGURA 6. Consumo de gas en España por sectores (cifras del 2017). La producción nacionales es < del 92,8 % del consumo, luego si adoptasemos el cambio al gas en las térmicas, es absolutamente necesario fomentar la exploración con objetivo gas. Desde MINITCO (2017).

nuestras importaciones del mismo, pero es indudable que para conseguirlo necesitamos:

– No dedicar tanto tiempo en contestar a todas las alegaciones e impedimentos que nos llegan desde los Organismos e Instituciones competentes y desde ignorantes y bien intencionados ciudadanos, que sólo abogan por la supresión de los combustibles fósiles, entre los que incluyen al menos contaminante de todos ellos, que no es otro que el gas natural.

– La ayuda de todas las Instituciones para poder llevar a cabo, en especial, las líneas sísmicas y sondeos que necesitamos.

Por último, solo queda agregar que:

1) El crecimiento de la población y la conservación del estado del bienestar apuntan, a que las emisiones procedentes de los combustibles fósiles, de la industria y de la agricultura aumentarán más de un 40-60 % en una década. 2) Que debemos apoyar la obtención del necesario suministro energético en las condiciones más compatibles con la conservación del medioambiente del Planeta y apoyar, sin fisuras, un uso racional de las fuentes de energía limpia. 3) Que si el punto 1 es evidente, y el 2 se ha convertido en una doctrina a seguir, no lo es menos que si las previsiones de crecimiento de las emisiones se cumplen, el estado del bien estar corre peligro de colapso.

REFERENCIAS

British Petroleum (2013): Energy outlook.

Martínez del Olmo, W. y Martín. D. (2016): El Neógeno de la cuenca Guadalquivir-Cádiz (Sur de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España.* 29 (1): 35-58.

Martínez del Olmo, W. (2018): Geología, cambio climático y como tratar de aminorarlo. *XIV Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales, Sevilla,* 10 p.

Martínez del Olmo, W. (2019): Cambio Climático, acuerdos de París y trampas geológicas donde secuestrar el CO2 en España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*. 32 (2): 87-106.

Martínez del Olmo, W. y Motis, K. (2012): Lo aprendido de la pasada exploración y un vistazo a su futuro. *VIII Congeso Geológico de España. Oviedo.*

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019): Inven tario Nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Informe Resumen. 6 p.

Ministerio de Industria Turismo y Comercio (2014 y 2017). Producción y consumos anuales.

Termuelen, H. (2001): 100 years of power plant development: focus on steam gas turbines as prime movers. New York: ASME. Press. 208 p.

Caracterización de facies del sondeo de hidrocarburos del Castillo-2 a partir de técnicas de testificación no destructivas.

Facies characterization of Castillo-2 borehole from non-destructive logging techniques.

J.F. Mediato[1], B. del Moral[2], I. López-Cilla[2], L.Galan[2], E. Ugarte-Manzanares[2], E. Fernández de Arévalo[2]

1 Departamento de Investigación en Recursos Geológicos. IGME C/Ríos Rosas 23, Madrid 28003. jf.mediato@igme.es
2 Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios. IGME C/ Calera 1 y 2. Tres Cantos 28760. Madrid. b.delmoral@igme.es ; i.lopez@igme.es; l.galan@igme.es; e.ugarte@igme.es; e.fernandez@igme.es

Palabras clave: facies, geoquímica, geofísica, estadística, sondeo, Castillo-2

Resumen

El sondeo Castillo-2 está situado en la terminación del Anticlinal de Zuazo-Cuartango donde, a principios de la década de los 60 del siglo pasado, se encontró una acumulación de gas asociada a las margas del Albiense-Cenomaniense (Fm. Valmaseda) y se estableció el yacimiento de gas de "Castillo". En este trabajo se describen las distintas facies de un tramo del sondeo de Castillo-2, conservado en la Litoteca del IGME (Peñarroya), sin que suponga la destrucción, total o parcial, del testigo. El tramo elegido para los análisis geoquímicos y geofísicos se extiende entre los 3440,25 y 3449 metros. Se trata de uno de los tramos con mejor recuperación y conservación, además de haber proporcionado las mayores cantidades de gas.

Los distintos ensayos se han llevado a cabo en los Laboratorios Generales del IGME. Así, los análisis de susceptibilidad magnética y densidad aparente se han realizado con un Multisensor Core Logger (Geotek©) con un espaciado de 1 cm. Los análisis de elementos químicos, desde el Mg hasta el U, se efectuaron con un escáner XRF (Geotek©), también con espaciado de 1 cm, descartando aquellos tramos que por presentar una intensa fracturación pudieran generar valores anómalos. Los datos obtenidos se verificaron con análisis de difracción y fluorescencia de rayos-X. El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el programa R.

El análisis de los datos permite identificar 5 facies, que van desde facies carbonatadas, arcillosas, arenosas e intermedias que representan distintos ambientes de sedimentación marina somera.

Abstract

Castillo-2 borehole is located in the Anticlinal de Zuazo-Cuartango. In the early 60s of the last century the "Castillo" gas field was developed, for exploiting a gas accumulation associated to the Albiense-Cenomanian marls (Fm. Valmaseda). This paper shows the different facies of a section of Castillo-2 borehole that is preserved in the IGME Litoteca (Peñarroya), without a total or partial destruction of the core. The selected section for geochemical and geophysical analyses extends between 3440.25 and 3449 meters.In this section, the largest quantities of gas were recovered and it is one of the sections with the better recovery and conservation.

Different analyses have been carried out in the IGME General Laboratories. Magnetic susceptibility and bulk density have been performed with a Core Logger Multisensor (Geotek ©) with 1 cm spacing. Chemical elements from Mg to U were performed with an XRF scanner (Geotek ©), with 1 cm spacing, dismissing those sections that are intensely cracked. Data was verified with X-ray diffraction and fluorescence analysis. Statistical study of the data was carried out with the R program.

Data analysis allows to identify 5 lithofacies from carbonated, clayey, sandy and intermediate facies that represent different shallow marine sedimentation environments.

Sedimentología virtual de análogos aflorantes: ventajas y limitaciones.

Virtual sedimentology of outcrop analogues: advantages and limitations.

C. Viseras[1], L.M. Yeste[1], F. García-García[1] y J. Jaímez[2]

1 Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Campus Fuentenueva. Universidad de Granada. 18071-Granada (viseras@ugr.es)
2 Centro de Instrumentación Científica. Campus Fuentenueva. Universidad de Granada. 18071-Granada

Palabras clave: Modelo Virtual de Afloramiento, exploración, desarrollo, CCS.

Resumen

La incorporación de Modelos Digitales de Afloramiento a los estudios de sedimentología y al training profesional se encuentra en auge por cuanto que aporta un gran volumen de datos de información cuantitativa (Howell *et al.*, 2014), al tiempo que se abaratan costes y se simplifican procedimientos de salud y seguridad laboral.

Sin embargo, cuando se trata de conocer en detalle y cuantificar la geometría y el grado de conectividad dentro de una roca almacén el uso abusivo de la realidad virtual y aumentada puede conducir a la obtención de modelos conceptuales muy distantes de la realidad. Esto dará lugar a modelos numéricos poco realistas y muy imprecisos a la hora de minimizar incertidumbre en proyectos de exploración de hidrocarburos, desarrollo de campos o captura y almacenamiento geológico de CO_2 (Viseras *et al.*, 2018; Yeste *et al.*, 2018).

Agradecimientos: Proyecto CGL2017-89618-R (AEI/FEDER, UE); Grupo de investigación RNM369 (PAI); Convenio Repsol-Universidad de Granada; REPSOL E.P.; CEPSA E.P.; Schlumberger; Crimidesa Maroc.

Abstract

The use of Digital Outcrop Models to sedimentology studies and professional training is booming because it provides a large dataset of quantitative information (Howell et al., 2014), while reducing costs and simplifying HSE procedures.

However, when it comes to knowing in detail and quantifying the geometry and degree of connectivity within a reservoir, the abusive use of virtual and augmented reality can lead to the obtaining of conceptual models that are very distant from reality. This will lead to unrealistic and very imprecise numerical models when it comes to minimizing uncertainty in hydrocarbon exploration, field development or carbon capture and storage projects (CCS) (Viseras et al., 2018; Yeste et al., 2018).

Acknowledgements: Research project CGL2017-89618-R (AEI/FEDER, UE); RNM369 Research Group (PAI); Repsol-University of Granada agreement; REPSOL E.P.; CEPSA E.P.; Schlumberger; Crimidesa Maroc.

Referencias

Howell, J. A., Martinius A.W. y Good T.R. (2013). *Geological Society of London, Special Publications*, doi: 10.1144/SP387.12.

Viseras, C., Henares, S., Yeste, L.M. y García-García, F. (2018). En: Fluvial Meanders and Their Sedimentary Products in the Rock Record (M. Ghinassi, L. Colombera, N.P. Mountney y A.J.H. Reesink, Eds.). *IAS Special Publication,* 48, 419-444, doi: 10.1002/9781119424437.ch16.

Yeste, L.M., Henares, S., McDougall, N., García-García, F. y Viseras, C. (2018). *Geological Society of London, Special Publications*, v.488, doi: 10.1144/SP488.3.

Corriente Circumpolar Antártica durante el Oligoceno-Mioceno inferior.

Antarctic Circumpolar Current during the Oligocene-early Miocene.

D. Evangelinos[1], C. Escutia[1], T. van de Flierdt[2], J. Etourneau[1], J.A. Flores[3], L. Valero[4], F. Hoem[5], P. Bijl[5], K. Kreissig[2], K. Kerr[6], L. Holder[2], A. López-Quirós[1], A. Salabarnada[1]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Univ. de Granada, Av. de las Palmeras, 4, 18100, Armilla, Spain. dimevangelinos@correo.ugr.es; cescutia@ugr.es johan.etourneau@iact.ugr-csic.es ;alquiros@iact.ugr-csic.es; ariad.sr@gmail.com
2 Department of Earth Sciences and Engineering , South Kensington Campus, London SW7 2AZ, United Kingdom.tina. vandeflierdt@imperial.ac.uk; k.kreissig@imperial.ac.uk; l.holder18@imperial.ac.uk
3 Department of Geology, University of Salamanca, 37008, Salamanca, Spain. flores@usal.es
4 Département des Sciences de la Terre, Université de Genève, Rue des Maraîchers 13, 1205 Geneva, Switzerland. Luis.Valero@unige.ch
5 Palaeoecology, Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Utrecht, University, Budapestlann, 4, 3584 CD, Utrecht, The Netherlands. f.s.hoem@uu.nl; P.K.Bijl@uu.nl
6 Open University , Milton Keynes, Buckinghamshire, MK7 6AA, GB, UK Katrina.Kerr@open.ac.uk

Palabras clave: DSDP, Isótopos de Nd, Circumpolar Deep Water, Corriente Circumpolar Antarctica.

Resumen

La formación de la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) tal y como se conoce hoy en día sigue siendo objeto de debate. El estudio de sedimentos recuperados por el *Deep Sea Drilling Project (DSDP)* en los sondeos 278 y 274 permite reconstruir la evolución de la CCA en la región suroeste del Océano Pacífico. En este trabajo se analizan isótopos de Neodimio (Nd), en dientes de peces fósiles y otros restos óseos en dos secciones del Oligoceno-Mioceno inferior (33-19 Ma), para así caracterizar la evolución profunda de la CCA (i.e. *Circumpolar Deep Water, CDW*). Nuestros resultados, combinados con otros datos de isótopos de Nd en el Océano Austral, muestran que la CDW tenía una señal isotópica de Nd más radiogénica en la parte oriental del Paso de Tasmania comparado con su parte occidental. Esto indica la diferenciación de isótopos de Nd en ambos lados del portal oceánico entre 31 y 19 Ma. Lo cual contrasta con la homogeneidad en la composición isotópica de Nd registrada en la actualidad para la CDW en el Océano Austral. Nuestros datos sugieren una CCA más débil que la actual entre el Oligoceno-Mioceno inferior, y que la instauración de una CCA con las características actuales, pudo haber ocurrido en algún momento durante el Neógeno.

Abstract

The establishment of a strong and deep-reaching Antarctic Circumpolar Current (ACC) flow is still poorly understood. Sediments collected by the Deep Sea Drilling Project (DSDP) at Sites 278 and 274 provide an opportunity to reconstruct the evolution of the ACC in the Southwest Pacific Ocean. Here we use neodymium (Nd) isotope ratios from fossil fish teeth/ bone debris from two Oligocene-early Miocene sections (33-19 Ma) to trace the evolution of the Circumpolar Deep Water (CDW) (which covers the deeper layers of the ACC). In combination with other Nd isotope data from the Southern Ocean, our results show that CDW had a more radiogenic Nd isotope signal in the eastern side of the Tasmanian Gateway than in the western part, indicating provinciality in the Nd isotopes on both sides of the gateway between 31 to 19 Ma. This contrasts with the homogenous modern CDW Nd isotopic composition in the Southern Ocean. Our data suggest a weaker ACC than today between the Oligocene and at least the early Miocene. This implies that the establishment of the modern-like, strong, deep-reaching ACC may have occurred sometime during the Neogene.

IMMAGE: Una propuesta anfibia ICDP-IODP para explorar los intercambios de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo desde el Mioceno superior.

IMMAGE: An ICDP-IODP amphibious proposal to explore the Atlantic-Mediterranean water exchange since the late Miocene

R. Flecker[1] and the IMMAGE team*

1 BRIDGE, School of Geographical Sciences and Cabot Institute, University of Bristol, University Road, Bristol BS8 1SS, UK
R.Flecker@bristol.ac.uk

Palabras clave: Corredores Atlántico Mediterráneo, Intercambio de agua, Mioceno

Resumen

En la actualidad, el volumen de agua densa aportada por el Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar esta entre los más grandes del Océano global. A lo largo de los últimos 5 millones de años el "Overflow" del Mediterráneo ha formado una masa de agua salina que se extiende hacia el oeste y norte en el Atlántico a profundidades intermedias, que ha contribuido a la formación de aguas profundas y a regular el transporte de sal y calor en el Atlántico. Durante el Mioceno superior el cierre gradual de los estrechos Bético y Rifeño condujo a un aislamiento progresivo del Mediterráneo, con la consiguiente subida de salinidad que desencadenó los primeros flujos de agua densa hacia el Atlántico. Este cierre progresivo de los corredores culminó con la formación del "SaltGiant" Messiniense. IMMAGE es una propuesta anfibia diseñada para recuperar un registro completo de los intercambios de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo desde el inicio de los primeros flujos salinos en el mioceno final hasta la actualidad. Este objetivo se pretende alcanzar mediante la propuesta de perforación de varios sondeos marinos a ambos lados del estrecho de Gibraltar en el marco del programa IODP (International Ocean Discovery Program) y otros sondeos en tierra en los antiguos estrechos Bético y Rifeño, en el sur de España y norte de Marruecos, a través del programa ICDP (International Continental Drilling Program).

Abstract

The Today, the volume of dense water supplied by Atlantic-Mediterranean exchange through the Gibraltar Strait is amongst the largest in the global ocean. For the past five million years this overflow has generated a saline plume at intermediate depths in the Atlantic that contributes to the formation of North Atlantic Deep Water and to regulate heat and salt transport in the Atlantic. During the Miocene, a wide, open seaway linking the Mediterranean and Atlantic evolved into two narrow corridors: one in northern Morocco; the other in southern Spain. Formation of these corridors permitted Mediterranean salinity to rise and a new, distinct, dense water mass to form and overspill into the Atlantic for the first time. Further restriction and closure of these connections resulted in the Messinian salinity crisis. IMMAGE is an amphibious drilling proposal designed to recover a complete record of Atlantic-Mediterranean exchange from its Late Miocene inception to its current configuration. This will be achieved by targeting Miocene offshore sediments on either side of the Gibraltar Strait with IODP and recovering Miocene core from the two precursor connections now exposed on land with ICDP. The scientific aims of IMMAGE are to constrain quantitatively the consequences for ocean circulation and global climate of the inception of Atlantic Mediterranean exchange; to explore the mechanisms for high amplitude environmental change in marginal marine systems and to test physical oceanographic hypotheses for extreme high-density overflow dynamics that do not exist in the world today on this scale.

*IMMAGE Team: A. Ait Salem, M. Achab, N. Barhoun, G. Booth Rea, D. Chiarella, E. Dmitrieva, H. El Talibi, G. Ercilla, M. Gutjahr, T. Herbert, J. Hernandez-Molina, F.J. Hilgen, F.J. Jiménez-Espejo, W. Krijgsman, S. Ledesma-Mateo, S. Legg, E. Llave, A. Manar, P. Mata, P. Meijer, M. I. Reguera García, F.J. Rodriguez Tovar, C. Rodriguez Ranero, M. Rogerson, C. Roque, F.J. Sierro, Z. Yousfi.

Evolución geodinámica y paleoceanográfica del Mar de Scotia. Expedición IODP 382

Geodynamic and paleoceanographic evolution of the Scotia Sea. IODP EXPEDITION 382

M. García[1,2], L.F. Pérez[3], Y. Martos[4], M. Weber[5], M. Raymo[6], T. Williams[7], F. Bohoyo[8], C. Escutia[1] and IODP Exp382 Scientists[*].

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR). Avda. de las Palmeras 4, Armilla (Granada). m.garcia@csic.es
2 Instituto Español de Oceanografía, Centro de Cádiz. Muelle Pesquero S/N, 11006, Cádiz. marguita.garcia@gmail.com
3 British Antarctic Survey. High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET (Reino Unido). larrez@bas.ac.uk
4 NASA Goddard Space Flight Center (Greenbelt, MD, EEUU), yasmina.martos@nasa.gov
5 Steinmann-Institute, University of Bonn. Nußallee 8, 53115, Bonn (Alemania), mike.weber@uni-bonn.de
6 Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University. 61 Rte 9W, Palisades, NY 10964 (EEUU), raymo@ldeo.columbia.edu
7 International Ocean Discovery Program, Texas A&M University (EEUU), williams@iodp.tamu.edu
8 Instituto Geológico y Minero de España. C/ de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos (Madrid), f.bohoyo@igme.es

Palabras clave: Expedición IODP 382, Océano Antártico, Capa de hielo de la Antártida oriental, Discontinuidades sísmicas, Sedimentología.

Resumen

La Expedición IODP 382 (marzo-mayo 2019) tuvo como objetivo el estudio de la historia climática de la capa de hielo de la Antártida, su correlación cronológica con el registro de polvo, la implicación para los cambios del nivel del mar, los cambios en las masas de agua y el forzamiento termal, la procedencia de los detritos arrastrados por icebergs, los cambios en el hielo marino, y la ciclicidad climática y sus causas durante el Plioceno-Pleistoceno (Weber *et al.*, 2019). Se perforaron dos sitios en el drift contornítico de Falkland-Malvinas y tres sitios en las cuencas Pirie y Dove en el sur del Mar de Scotia, obteniendo una recuperación de unos 2800 m de sedimento de edad Mioceno-reciente. Este trabajo investigará las propiedades físicas en combinación con análisis de tamaño de grano, composición elemental (XRF) y radiografías para reconstruir la evolución geodinámica y paleoceanográfica del Oceáno Antártico a partir de la caracterización de las discontinuidades identificadas en perfiles sísmicos de multicanal y sonda paramétrica.

Abstract

The IODP Expedition 382 (March-May 2019) focused on the study of the climatic history of the Antarctic Ice Sheet, the chronologic correlation with dust, the implications for sea level, the changes in water masses and thermal forcing, the provenance of iceberg rafted debris, the changes in sea ice and the climatic cyclicity and its causes during the Pliocene-Pleistocene (Weber et al., 2019). Two sites were drilled in the Falkland-Malvinas contouritic drift and three sites in Pirie and Dove Basins in the South Scotia Sea. About 2800 m of sediment were recovered, with an age from Miocene to present. This work will investigate the physical properties in combination with grain size and element composition (XRF) analyses and X-Ray images to reconstruct the geodynamic and paleoceanographic history of the Southern Ocean based on the characterization of seismic unconformities identified in multichannel and parametric sounder profiles.

Referencias

Weber, M.E., Raymo, M.E., Peck, V.L., Williams, T., y Científicos de la Expedición 382 Scientists (2019). Expedition 382 Preliminary Report: Iceberg Alley and Subantarctic Ice and Ocean Dynamics. *International Ocean Discovery Program.* https://doi.org/10.14379/iodp.pr.382.2019.

* IODP Exp382 Scientists: L. Armbrecht, I. Bailey, S. Brachfeld, Z. Du, G. Fauth, A. Glüder, M. Guitard, M. Gutjahr, S. Hemming, I. Hernandez-Almeida, F. Snilsveit Hoem, J.-H. Hwang, M. Iizuka, Y. Kato, B. Lee, S. O'Connell, V. Peck, B. Reilly, T. Ronge, O. Seki, L. Tauxe, S. Tripathi, J. Warnock, X. Zheng

Facies Holocenas de deglaciación, Tierra de Wilkes, IODP U1357A

Holocene deglaciation facies, Wilkes Land margin, IODP Site U1357A

J. Gutiérrez-Pastor[1], C. Escutia[1], F. Jiménez Espejo[1], B.K. Khim[2], X. Crosta[3] y J. Etourneau[3]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Avda. de las Palmeras 4,18100 Armilla, Granada, España
juliagp@iact.ugr-csic.es, cescutia@iact.ugr-csic.es, francisco.jimenez@iact.ugr-csic.es
2 Department of Oceanography, Pusan National University 46241 Busan, Korea bkkhim@pusan.ac.kr
3 EPOC, UMR CNRS 5805, Université de Bordeaux, 33615 Pessac, France xavier.crosta@u-bordeaux.fr, johan.etourneau@iact.ugr-csic.es

Palabras clave: Antártida, Hielo marino, Mar del Sur, Sedimentos Holocenos, Deglaciación

Resumen

Nuestro objetivo es comprender los mecanismos que involucran la pérdida de la capa de hielo marino Antártico Oriental (EAIS) y su dinámica, junto con su contribución al aumento global del nivel del mar e impacto biológico durante la deglaciación posterior a el último Máximo Glaciar (LGM) (~ 24 kyr -12 kyr). Los sedimentos holocenos por encima del LGM (diamictita) del sondeo U1357A (Expedición IODP 318) de la plataforma continental del margen este antártico de la Tierra de Wilkes tienen 180 m de espesor, siendo uno de los registros sedimentarios de mayor resolución (anual a milenario) en el océano austral durante los últimos ~ 12 kyr (Escutia, 2011). Para inferir la dinámica de la capa de hielo en el pasado, nos centramos en la caracterización de facies sedimentarias basada en imágenes digitales de alta resolución, tomografías computarizadas, fluorescencia de rayos X, análisis de tamaño de grano y propiedades físicas, mientras que para reconstruir las condiciones paleoambientales estudiamos diatomeas, biomarcadores HBI y datos de sílice biogénica. Adicionalmente, se están procesando nuevas edades ^{14}C para afinar el modelo de edad. El análisis preliminar de facies de los sedimentos de deglaciación (testigos19-20H, 160,22 - 185,45 mbsf) revela dos pulsos de sedimentos de arena / limo que, acompañados con gravas procedentes de hielos marinos, interrumpen las laminaciones rítmicas de diatomeas que descansan sobre las gravas poco clasificadas correspondientes a la diamictita del LGM.

Abstract

We aim to contribute to the understanding of the drivers and dynamic of marine-based East Antarctic Ice sheet (EAIS) loss along with its contribution to global sea level rise and biological impacts during the post Last Glacial Maximum (LGM) deglaciation (~24 kyr-12 kyr). Holocene sediments above the LGM diamicton at Site U1357A (IODP Expedition 318), located on east Antarctic Wilkes Land margin continental shelf, are 180 m thick, being one of the highest resolution (annual to millennial) sedimentary records in the Southern Ocean close to Antarctica over the last ~12 kyr (Escutia, 2011). To infer past ice-sheet dynamic we focus on facies characterization based on high resolution digital images, CT Scans, XRF core-scanner, grain size analyses and physical properties while congruent paleo-environmental conditions are reconstructed through diatom counts, HBI and biogenic silica data. Additional ^{14}C ages are being processed to constrain the age model. Preliminary facies analysis of the deglaciation sediments (cores 19-20H, 160,22 - 185,45 mbsf) reveals two pulses of sand/silt sediments mixed with ice rafted debris (IRD). These pulses interrupt the rhythmic laminated diatom ooze sediments above the poorly sorted gravelly siltstone diamicton.

Referencias

Escutia, C., Brinkhuis, H., Klaus, A., and the Expedition 318 Scientists (2011). *Proc. IODP,* 318: Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.), doi:10.2204/iodp.proc.318.2011

Borehole INNOLOG-1/18: establishing a test site for innovative geophysical borehole logging tools

Sondeo INNOLOG-1/18: implementación de un emplazamiento experimental para sondas de testificación geofísica

A. Lapanje[1], K. Teran[1], S. Mozetič[1], M.J. Jurado [2]

1 Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, Andrej.Lapanje@geo-zs.si, Klemen.Teran@geo-zs.si, Simon.Mozetic@geo-zs.si

2 Geosciences Barcelona CSIC, Lluis Sole Sabaris s/n, 08028 Barcelona, Spain, mjjurado@csic.es

Keywords: *Slovenia, mineralization, lead, zinc, test borehole, hyperspectral imaging*

Abstract

The development of innovative borehole geophysical logging tools is needed to improve mineral exploration methods. Prototype testing in real environment in boreholes is a requirement. InnoLOG-1/18 test borehole was drilled on a historical Zn-Pb ore deposit district in Puharje region on N part of Slovenia for INNOLOG (EIT-Raw Materials project) logging tools prototypes testing, calibration and validation. The borehole was drilled and cored to a final depth 49,7 m and intersected several zones of Zn-Pb ore. Ore occurs in a variety of forms, as intensive impregnations, as massive lenses and also as thin veins of sphalerite and galena. Reference sections for prototype calibration in front of mineralized sections were characterized and precisely positioned within the borehole by correlation of the recovered core and using 3D oriented borehole imaging techniques (optical borehole imager, OBI) and standard borehole logging measurements. Hyperspectral core scanning was used to determine and map mineral composition on cores. Innovative borehole logging tools based on hyperspectral and LIBS/Raman sensors were successfully tested. INNOLOG-1/18 borehole is a new borehole test site and reference site for borehole tools prototypes testing and calibration with accurate compositional reference and Zn-Pb ore sections defined.

Resumen

El desarrollo de nuevas herramientas para testificación geofísica es necesario para la mejora y la innovación de los métodos de exploración minera. Para ello se precisa probar y validar prototipos en condiciones y contextos reales en sondeos. El sondeo experimental INNOLOG-1-18 se perforó en una zona minera histórica de Zn-Pb en Puharje, al norte de Eslovenia para validación y calibración de las nuevas herramientas de testificación geofísica de sondeos desarrolladas en el proyecto INNOLOG (EIT-Raw Materials). Se extrajeron testigos para referencia y validación de composición. El sondeo se perforó hasta una profundidad de 49,7m, intersectó diferentes zonas de mineralización Zn-Pb. El mineral se encuentra como impregnaciones, como lentejones masivos y como finas venas de esfalerita y galena. Se identificaron y caracterizaron secciones mineralizadas de referencia para calibración de prototipos en sondeo. Se estableció la correlación de las mineralizaciones con los testigos de sondeo y con imágenes orientadas 3D de la pared del sondeo (de televiewer óptico, OBI) y otras técnicas de testificación de sondeos. Se realizó un escaneo hiperespectral de los testigos para determinar la composición mineral. Se llevaron a cabo con éxito en las pruebas de prototipos y nuevas sondas desarrolladas en el marco del proyecto, basadas en la adquisición de imágenes hiperespectrales y técnicas LIBS/Raman. El sondeo INNOLOG-1/18 se ha establecido como un nuevo emplazamiento experimental de referencia para calibración y validación de prototipos de sondas y dispone de una sección de referencia composicional para las mineralizaciones Zn-Pb.

Funding: *This study was funded by EIT RawMaterials project INNOLOG-16350 "Innovative geophysical logging tools for mineral exploration" and by Slovenian Research Agency (ARRS) in the frame of Program group "Mineral Resources" (research core funding No. P1-0025).*

Clima cenozoico e impacto tectónico de la apertura del Paso de Drake

Cenozoic climate and tectonic impact of the opening of Drake Passage

A. López-Quirós[1], C. Escutia[1], J. Etourneau[1], S. Roignant[2], F.J. Lobo[1], F.J Rodríguez-Tovar[3], F. Bohoyo[4], D. Evangelinos[1], A. Salabarnada[1], F.S. Hoem[5], P.K. Bijl[4], M-A Sicre[2], V. Klein[2]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada, 18100 Granada, Spain. alquiros@iact.ugr-csic.es; cescutia@ugr.es; pacolobo@ugr.es; dimevangelinos@correo.ugr.es; a.salabarnada@csic.es

2 Laboratoire d'Oceanographie et du Climat, 75005 Paris, France. sabroignant@gmail.com; marie-alexandrine.sicre@locean-ipsl.upmc.fr; vincent.klein@locean-ipsl.upmc.fr

3 Universidad de Granada, Departamento de Estratigrafía y Paleontología, 18002 Granada, Spain. fjrtovar@ugr.es

4 Instituto Geológico y Minero de España, 28003 Madrid, Spain. f.bohoyo@igme.es

5 Utrecht University, Department of Earth Sciences, 3584 CB Utrecht, Netherlands. f.s.hoem@uu.nl; p.k.bijl@uu.nl

Palabras clave: ODP 696; Estudio multi-proxy; Paso de Drake; Antártida; Cenozoico.

Resumen

La edad de apertura del Paso de Drake y sus implicaciones en el clima global durante el Eoceno- Mioceno siguen siendo controvertidas. Durante este período, el Microcontinente de las Orcadas del Sur (MOS) se separó de la Península Antarctica debido a la formación de la cuenca Powell. El objetivo de este trabajo es caracterizar la evolución paleoambiental/paleoceanográfica en el margen sureste del MOS, utilizando muestras de sedimentos marinos del sondeo 696B del *Programa de Perforación Oceánica*. Para ello, se han realizado análisis de facies sedimentarias, mineralógicos y geoquímicos (TOC, TN, C/N, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ y *n*-Alcanos). En dicho sondeo, el Eoceno superior está registrado por una secuencia terrígena de gran espesor, depositada en aguas someras templadas. Durante el final del Eoceno la identificación de un proceso de glauconitización (autigénesis de arcillas verdes) es asociada a una subida relativa del nivel del mar que dio lugar a bajas tasas de sedimentación. Dicha subida relativa condujo al establecimiento de un ambiente batial durante el Oligoceno inferior, caracterizado por estratificación de las masas de agua y condiciones disóxicas en aguas profundas. Este fenómeno se asocia a una circulación oceánica restringida en la cuenca Powell debido a la separación entre el SOM y la Península Antarctica. El final de este pulso transgresivo ocurrió al final del Mioceno medio, registrado por el depósito de un ooze biogénico-silíceo asociado a condiciones óxicas como resultado de la posición actual en mar abierto del MOS.

Abstract

The timing and impact of the opening of Drake Passage during the Eocene-Miocene on global climate remain controversial. During this period, the South Orkney Microcontinent (SOM) was separated from the Antarctic Peninsula due to the formation of Powell Basin. In this study, we aim to better understand the paleoenvironmental/paleoceanographic evolution in the southeastern margin of the SOM. To do this, we combined a multi-proxy study: sediment facies analysis, mineralogical and geochemical (TOC, TN, C/N ratio, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, and n-Alkanes) analyses using marine sediment samples from the Ocean Drilling Program (ODP) Site 696B. The late Eocene was characterized by a thick, terrigenous sequence deposited at shallow-water depths under reduced-oxygen/salinity and temperate conditions. However, the latest Eocene is marked by a glauconitization process (green-clay authigenesis) associated with a relative sea-level rise that resulted in low sedimentation rates. The continuous sea-level rise led to the establishment of bathyal depths during the early Oligocene. At that time, the water column was stratified and dysoxic bottom water conditions developed, likely associated with a restricted ocean circulation in the Powell Basin due to the drift of the SOM from the Antarctic Peninsula. The end of this transgressive pulse is detected at the end of the mid Miocene, recorded by a siliceous-biogenic ooze associated with oxic conditions as a result of the modern open-ocean SOM geography.

Mineralogía y geoquímica del sondeo Montemayor-1 (Cuenca del Guadalquivir)

Mineralogy and geochemistry of the Montemayor-1 borehole (Guadalquivir Basin)

M.P. Mata[1], M. Tsige[2], M. Sopeña[2], E. Bellido[1]

1 Instituto Geológico y Minero de España. La Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. P.mata@igme.es; e.bellido@igme.es
2 GEODESPAL, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid 28040, Madrid, meaza@ucm.es, maisopena@gmail.com

Palabras clave: Cuenca del Guadalquivir, Messiniense, arcillas,

Resumen

En este trabajo se exponen los resultados del análisis geoquímico y mineralógico del sondeo de Montemayor-1, situado al suroeste de la Cuenca del Guadalquivir. Este sondeo tiene una longitud de 260 m, comprende las formaciones de Niebla, Gibraleón (Arcillas margosas de uadalquivir), Arenas de Huelva y Bonares (Mioceno Superior – Plioceno Inferior). Se han realizado análisis de difracción de RX en muestra total y en la fracción menor de 2 μm, fluorescencia de RX, carbono total y orgánico, y microscopía electrónica de barrido y de transmisión con microanálisis. El objetivo de este estudio es la caracterización e interpretación del tipo de componentes de estos sedimentos y sus variaciones en el contexto de los principales cambios ambientales (crisis de salinidad Messiniense) descritos en este periodo. La composición mineralógica es muy homogénea, y está formada en su mayoría por filosilicatos (illita, esmectita dioctaédrica, caolinita e interestratificados de illita-esmectita), calcita, principalmente biogénica, cuarzo y dolomita, que aumenta hacia el techo de la secuencia. Aparecen otros minerales minoritarios como plagioclasas, yeso, pirita y circón. La composición química es muy uniforme pudiendo interpretarse las pequeñas variaciones observadas en la formación Gibraleón, como tramos con mayor cantidad de illita (especialmente en los tramos más profundos), los carbonatos biogénicos y otros con mayor proporción de materiales terrígenos (principalmente silicatos).

Abstract

This study shows the results of the geochemical and mineralogical analysis of core samples obtained from the Montemayor-1 borehole, located in the lower Guadalquivir basin. The Borehole is 260 meters depth, and includes the Niebla, Gibraleón (Guadalquivir marly clay), Arenas de Huelva and Bonares formations (Upper Miocene - Lower Pliocene in age). X-ray diffraction (XRD) analysis has been performed in bulk and in the <2 μm fractions. It was assessed XR fluorescence, total and organic carbon, scanning electron microscopy (SEM) and TEM with coupled EDS (TEM-EDS). The aim of this study is the characterization and interpretation of the type of components of this sequence and the oscillations in the context of the environmental changes of the Messinian Salinity Crisis described in this period. The mineralogical composition is very uniform, and is mostly represented by made, phillosilicates (illite, dioctahedral smectite, kaolinite, illite-smectite and a trace amount of sepiolite), quartz; calcite; mainly biogenic, dolomite, which increases towards the top of the sequence, and other minor minerals such as plagioclase, gypsum, pyrite and zircon. The chemical composition is also very homogeneous and the small variations observed in the Gibraleón formation can be interpreted as alternations of biogenic carbonates with levels with larger amount of terrigenous components (mainly silicates) and some increasing of illite component mainly in depth.

Correlación estratigráfica con el ODP Site 696, Microcontinente de las Orcadas del Sur (Arco de Scotia meridional, Antártida)

Seismic stratigraphic correlation with ODP Site 696, South Orkney Microcontinent (southern Scotia Arc, Antarctica)

C. Morales[1], F. Bohoyo[2], C. Escutia[1], C. Rey[2], J. Galindo[3], A. López-Quirós[1], A. Maestro[2]

1 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Av. de las Palmeras, 4, 18100 Armilla, Granada. cecilia.morales@iact.ugr-csic.es; cescutia@ugr.es; alquiros@iact.ugr-csic.es
2 Instituto Geológico y Minero de España, Calle de la Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. f.bohoyo@igme.es; c.rey@igme.es; a.maestro@igme.es
3 Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Avenida de Fuente Nueva, s/n, 18071 Granada. jgalindo@ugr.es

Palabras clave: 3D modelling, ODP 696, multichannel seismics, potential fields.

Resumen

El Microcontinente de las Orcadas del Sur (MOS), localizado en el sector central de la Dorsal Sur de Scotia y el sector septentrional del Mar de Weddell, es el bloque continental más grande del Arco de Scotia, con una extensión de más de 70.000 km^2. Se trata de una pieza clave para reconstruir la apertura y profundización de la Cuenca Powell y, por tanto, del Paso de Drake. La modelización a partir de datos geológicos y geofísicos permite caracterizar la naturaleza y la compleja estructura de los márgenes del MOS, resultado de las diferentes fases tectónicas que ha sufrido el microcontinente desde el Mesozoico.

En el margen sureste del MOS se localiza el sondeo 696B del *Ocean Drilling Program* (ODP). Este sondeo, con 650 m de registro sedimentario, abarca desde el Eoceno Medio hasta el Cuaternario. Para poder correlacionar edad y profundidad, se han combinado datos previos de velocidades de ondas P medidas en la secuencia sedimentaria junto con la interpretación de perfiles de sísmica de reflexión multicanal en el MOS, que cruzan el sondeo o sus cercanías. Estos perfiles se obtienen tanto de la Librería de Datos Sísmicos del SCAR (SDLS) como de campañas propias (*i.e.* SCAN97 y DRAKE2018). Además, el análisis de datos gravimétricos de satélite y magnéticos compilados (WDMAM) permiten establecer la geometría del basamento a partir de la modelización geofísica. La combinación de todos estos datos ofrece nuevos conocimientos acerca de la estructura tridimensional de altos estructurales y cuencas sedimentarias y de la evolución tectónica del MOS.

Abstract

The South Orkney Microcontinent (SOM) is located in the central sector of the South Scotia Ridge and the northern Weddell Sea. With an area of more than 70.000 km^2, the SOM is the largest continental block in the southern Scotia Sea. Therefore, the SOM is a key element in the reconstruction of the opening and deepening of the Powell Basin and hence the Drake Passage. Geological and geophysical modelling allows to characterize the nature of the margins and the complex structure of the SOM that respond to different tectonic phases since the Mesozoic.

Geological records in the area include the Ocean Drilling Program (ODP), Hole 696B located on the south-eastern margin of the SOM. The hole reached 650 m depth and recovered sediments that span from the Middle Eocene to the Quaternary. We combine the results from sonic data obtained on shipboard at Hole 696B with multi-channel seismic profiles crossing the hole and nearby, to make an age-depth conversion. These seismic data are from Seismic Data Library (SDLS) and Spanish cruises (i.e. SCAN97; DRAKE2018). Geophysical modelling based on gravimetric data from satellite and magnetic data from WDMAM compilation, allows to stablish the basement geometry. This study presents new insights into the 3D structure of structural highs and sedimentary basins and the tectonic evolution of the SOM.

Deposición y circulación de corrientes de fondo del Oligoceno al Mioceno frente al margen oriental de la Tierra de Wilkes, Antártida Oriental.

Oligocene to Miocene bottom current deposition and circulation off the eastern Wilkes Land margin, East Antarctica.

Ariadna Salabarnada[1] , Carlota Escutia[1], Dimitris Evangelinos[1], Adrián López-Quirós[1], Marga García[2], Hans C. Nelson[1]

1 Instituto Andaluz de ciencias de la Tierra (IACT, CSIC-UGR), Armilla, España (ariad.sr@gmail.com; cescutia@ugr.es, alquiros@geo.au.dk; dimitrios.evangelinos@u-bordeaux.fr);
2 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, España (marga.garcia@ieo.es)

Palabras clave: Oligoceno-Mioceno, contornitas, Antártica, IODP.

Resumen

Testigos de sedimento obtenidos del pozo U1356 del Integrated Ocean Drilling Program (IODP) en el margen Antártico de Tierra de Wilkes muestran la influencia en la sedimentación de corrientes de fondo desde el inicio del Oligoceno (i.e., 33.6 Ma). La correlación de pozo U1356 con la red de perfiles de sísmica de reflexión revelan tres fases en la evolución paleoceanográfica del margen: 1) Oligoceno inferior (33.6-28 Ma), en el que dominan las morfologías tabulares asociadas a corrientes que circulan hacia el oeste asociadas con la proto-Antarctic Bottom Water (AABW); 2) A28 Ma, se registra una intensificación en las corrientes que forman cuerpos contorníticos de más relieve, que indican la presencia de dos masas de agua con direcciones opuestas: la proto-AABW circulando hacia el oeste y una corriente hacia el este interpretada como proto-Circumpolar Deep Water (CDW). 3) Mioceno medio (>17 Ma), en el que la proto-AABW queda confinada al sur de altos estructurales, mientras que la proto-CDW se expande espacialmente formando cuerpos contorníticos complejos.

Abstract

Sediment cores collected from the Antarctic Wilkes Land continental rise at IODP Site U1356 provide evidence for bottom current sedimentation since the early Oligocene (i.e. 33.6 Ma). Correlation between Site U1356 sediments and the regional grid of multichannel seismic reflection profiles reveal three paleoceanographic phases in bottom current evolution: 1) Early Oligocene (33.6-28 Ma), when sheeted drift morphologies dominate, associated to westward flowing currents occurring under the influence of proto-Antarctic Bottom Water (AABW); 2) At around 28 Ma, an intensification of contour currents results in higher relief contourite morphologies that point to two water masses occupying the seafloor with opposite flow directions: A westward flowing proto-AABW and an eastward flowing contour current, interpreted as proto-Circumpolar Deep Water (CDW). 3) Middle Miocene (>17 Ma), when the proto-AABW is confined to the area to the south of the structural highs in the basin while proto-CDW, expands spatially and forms a more complex contouritic system.

Nuevos datos del relleno sedimentario del borde norte de la Cuenca del Ebro aportados por la testificación continua del sondeo Campián-1 bis (Monzón, Huesca)

New data of the sedimentary filling of the northern margin of the Ebro Basin provided by lithology logging of the Campián-1 bis borehole (Monzón, Huesca)

M. Soler-Sampere[1], J. García-Senz[2], A. Salazar[2], J. González-Blázquez[3] y M. P. Mata[2]

1 Geólogo Profesional, c/ Santiago 2, 5º A, Monzón, Huesca, miguelsolersampere@yahoo.es
2 Dirección de Investigación y Prospectiva Geocientífica. IGME. La Calera 1, Tres Cantos 28760 Madrid., jesus.garcia@igme.es, p.mata@igme.es, a.salazar@igme.es
3 Instituto Geológico y Minero de España, Ctra. Estación, s/n, 14200 Peñarroya-Pueblonuevo. j.gonzalez@igme.es

Palabras clave: Testificación geológica de sondeo, Cuenca del Ebro, Cenozoico

Resumen

El sondeo Campián-1 bis en la localidad de Monzón (Huesca) atraviesa las potentes series continentales cenozoicas del borde norte de la Cuenca del Ebro. Fue realizado para la empresa Salmueras Depuradas S. L. para investigar la presencia de halita en la Fm Barbastro y poder evaluar su explotabilidad para la producción de salmueras. El pozo fue concluido en el año 2018 alcanzando la profundidad de 1548,66 m. Durante la perforación a rotación se extrajo un testigo continuo depositado actualmente en la litoteca de sondeos del IGME en Peñarroya (Córdoba). Una columna sintética del sondeo es la siguiente: 1) 0-20 m de arenas, arcillas y limos (Cuaternario); 2) 20-650 m de areniscas, limos arcillas y microconglomerados (Fm Sariñena); 3) 650-1353 m de areniscas, limos, arcillas y escasos microconglomerados (Fm Peraltilla); 4) 1353-1357 m de margas oscuras con un nivel de calizas marrones; 5) 1357-1550 m de halita, anhidrita y argilita (Fm Barbastro). El estudio de los testigos continuos permite una precisa definición de las facies aluviales, lacustres y evaporíticas que conforman la sucesión continental de esta parte de la Cuenca del Ebro (García-Senz *et al.* 1991). Asimismo, permite una correlación detallada con los cortes estratigráficos del flanco sur del anticlinal de Barbastro y con el cercano sondeo de hidrocarburos Monzón-1, ayudando también en la definición de las isobatas.

Abstract

The Campián-1 bis borehole in the locality of Monzón (Huesca) crosses the thick continental series that fill the northern margin of the Ebro Basin. It was drilled for the company Salmueras Depuradas S. L. in order to investigate the presence of halite in the Barbastro Fm and evaluate its economic exploitability for brine production. The well was completed in 2018 reaching a depth of 1548.66 m. During drilling, a continuous core was collected and recorded to the public in the IGME core center in Peñarroya (Córdoba). A synthetic column is as follows: 0-20 m of sand, shale and silt (Quaternary); 2) 20-650 m of sandstone, shale, silt and microconglomerate (Sariñena Fm); 3) 650-1353 m of sandstone, silt, shale and few microconglomerate (Peraltilla Fm); 4) 1353-1357 m of dark marl with a level of brown limestone; 5) 1357-1550 m of halite, anhydrite and argillite (Barbastro Fm). The study of the core data allows to a precise definition of the alluvial, lacustrine and evaporitic facies that made the continental succession of this part of the Ebro Basin (García-Senz et al. 1991). It also allows a detailed correlation with the outcrops of the southern flank of the Barbastro anticline and with the nearby Monzón-1 oil well.

Referencias

García-Senz, J., Zamorano-Cáceres, M., Montes, M. J., y Rico, M. (1991). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 326 (Monzón) y memoria*. IGME. 39 p.

Estratigrafía preliminar del sondeo ICDP MexiDril

ICDP MexiDril: preliminary stratigraphy

Blas Valero-Garcés[1], Mona Stockhecke[2, 3], Socorro Lozano-García[4], Beatriz Ortega[5], Margarita Caballero[5], Peter Fawcett[6], Josef P. Werne[7], Erik Brown[2], Susana Sosa Najera[4], Kristin Pearthree[6], David McGee[8], Alastair G.E. Hodgetts[9]

1 Instituto Pirenaico de Ecología - (IPE- CSIC), Zaragoza, España. blas@ipe.csic.es
2 LLO, University of Minnesota Duluth, USA. etbrown@d.umn.edu
3 Eawag, Kastanienbaum, Switzerland. Mona.Stockhecke@eawag.ch
4 I. Geología, UNAM, Mexico. mslozano@unam.mx
5 I. Geofísica, UNAM, Mexico. bortega@igeofisica.unam.mx
6 University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA. fawcett@unm.edu
7 University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA. jwerne@pitt.edu
8 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA. davidmcg@mit.edu
9 University of Birmingham, Birmingham, UK AGH733@student.bham.ac.uk .

Palabras clave: ICDP Mexidrill, Chalco, Cuenca de México, Pleistoceno, Holoceno, lagos, paleoclima

Resumen

El proyecto ICDP Mexidrill obtuvo > 1150 m de sondeos en el Lago Chalco (Cuenca de México) en 2016 (Brown *et al.*, 2019). La secuencia de > 500 m de potencia ilustra las complejas relaciones entre hidroclima y actividad volcánica y tectónica en la evolución de cuencas lacustres. La cuenca de Chalco se originó como resultado de la actividad volcánica y se rellenó en los estadios tempranos con más de 200 m de facies volcanoclásticas y lavas, algunas retrabajadas por procesos fluviales y aluviales. De acuerdo con la cronología preliminar, la sedimentación lacustre comenzó hace unos 360 ka y ha continuado hasta tiempos históricos, acumulando más de 300 m de facies lacustres y tefras. Facies laminadas diatomáceas se han depositados en ambientes lacustres más profundos; facies carbonatadas marcan fases alcalinas; depósitos orgánicos y de turba se acumularon durante fases más someras con desarrollo de humedales en la cuenca. El análisis de facies y ambientes de depósito permite reconstruir la evolución paleohidrológica y paleoclimática de la cuenca desde el Pleistoceno Superior. El modelo deposicional del Lago Chalco es aplicable a otras cuencas lacustres desarrolladas en ambientes tectónicos y volcánicos activos.

Abstract

ICDP MexiDrill Project collected > 1150 m of cores in 2016 in Lake Chalco (Basin of Mexico) (Brown et al., 2019). The >500 m long MexiDrill sequence illustrates the complex relationship between hydroclimate and volcanic activity in the evolution of lacustrine basins. The Chalco Basin originated as a result of volcanic activity and was infilled in the early stages by volcaniclastic facies and lavas, some reworked by fluvial and alluvial processes with a total thickness over 200 m. According to preliminary chronology, lacustrine deposition started prior to ca. 360 ka and has continued into historical times with a total thickness over 300 m. Laminated diatomaceous facies occurred during phases with relatively deep depositional environments. Carbonate deposition marked more alkaline phases. Peat and organic-rich silt was deposited during shallow phases with development of wetlands in the basin. The stratigraphy and facies analyses provides the basis for paleoclimate and paleoenviromental reconstructions of the Mexico basin since Upper Pleistocene. The Lake Chalco depositional model is applicable to other lakes developed in active tectonic and volcanic settings.

Referencias

Brown, E.T, Caballero, M., J. Fawcett, P.T., Lozano-García, S., Ortega, B., Pérez, L., Schwalb, A., Smith, V., Steinman, B.A., Stockhecke, M., Valero-Garcés, B., Watt, S., Wattrus, N.J., P. Werne, J.P., Wonik, Th., Myrbo, A.E., Noren, A., O'Grady, R., Schnurrenburger, D., and the MexiDrill Team. 2019. Scientific Drilling of lake Chalco, Basin of Mexico (Mexidrill). *Scientific Drilling,* 26, 1–15.

Ante el Calentamiento Global, una reflexión geológica

Facing Global Warming, a geological reflection

Álvarez, C.*, Álvaro, M.*, Cámara, P.*, García Royo, C.*, Portero, J. M.*, Suarez, J.*

*GEOSEN. Geología y Sociedad. c/Jose Antonio Novais, 12. Facultad de Ciencias Geológicas. Ciudad Universitaria. 28040. Madrid. geosen@geosen.es

Resumen: Estamos ante un periodo de calentamiento global, acelerado por la acción del hombre. Consideramos que, en el proceso de transición energética de nuestras sociedades, se deben potenciar el conocimiento científico y la tecnología, para hacer frente a los retos planteados. Será necesario incrementar el uso de la Geotermia como fuente de energía limpia y renovable; desarrollar Almacenamientos Geológicos Profundos para Residuos Radiactivos y para Secuestro de GEI, seleccionados y diseñados con estrictos criterios de ingeniería geológica; potenciar la investigación y obtención de materiales tecnológicos de nueva generación necesarios para la implantación efectiva de energías limpias; avanzar hacia la sustitución de plásticos por fibras/materiales de origen vegetal/mineral con prestaciones equivalentes. Frente a situaciones de sequía cada vez más extremas, será necesario disponer de recursos extra de agua dulce como acuíferos profundos, actualmente inexplotados e incrementar la protección y vigilancia de las masas subterráneas de agua dulce, minimizando su sobreexplotación. Los riesgos naturales, la previsible elevación del nivel del mar y frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, obligarán a reconsiderar el modelo urbanístico y la pérdida de suelo cultivable. Debemos modificar los hábitos actuales de consumo, reduciendo el despilfarro energético y de alimentos, y la generación de residuos urbanos al mínimo.

Palabras clave: calentamiento global, cambio climático, CO_2, minerales, agua.

Abstract: *We are facing a period of global warming, accelerated by man action. We consider that in the process of energy transition of our societies, the use scientific knowledge and technology should be enhanced to face the challenges ahead. Geothermal Energy increasing as a clean and renewable energy, the development of Deep Geological Storage Sites for Radioactive Waste, and GHG sequestration systems selected and designed with strict geological engineering criteria, will be necessary. Research and production of new generation technological materials needed for the effective deployment of clean energy should be encouraged. It is necessary to move towards replacement of Plastics with fibbers/materials of vegetal/mineral origin, with equivalent performance. Facing extreme drought situations, it will be necessary to arrange for have extra freshwater resources such as deep, currently unexploited. It is necessary to increase the protection and surveillance of underground freshwater bodies to minimize its overexploitation. Natural hazards, the foreseeable raise of sea level and the frequency and intensity of extreme weather events, will require reconsidering of the urban development and the loss of arable land. We must modify current consumption habits, reducing energy and food waste and generation of urban waste to a minimum.*

Keywords: *global warming, climate change, CO_2, minerals, water.*

INTRODUCCION

Como geólogos, debemos señalar que el Cambio Climático ha existido siempre a lo largo de la historia de la Tierra como respuesta a la variación de los factores, externos e internos, que determinan ese equilibrio climático. El periodo Cuaternario, en el que estamos, es uno de los más fríos de la historia de la tierra, más frío que el 90%, de los que tenemos registros fiables y que abarcan los últimos 540Ma. Desde hace 56 millones de años la tierra tiende a enfriarse, alternando fases frías y cálidas. El último mínimo térmico, en la fase glaciar, se produjo hace 10.000 años. Desde este mínimo, nos encontramos en fase de calentamiento global, y, por lo tanto, este término, es más apropiado para describir la situación actual. Es evidente que estamos ante un periodo de calentamiento global (Allen *et al.* 2018), acelerado por la acción del hombre, consumo de combustibles fósiles, agricultura y ganadería intensivas, deforestación incontrolada, incrementos de la población y del nivel de vida, que lleva pareja un aumento del consumo de energía (BP plc, 2019), y, por consiguiente, un incremento en la generación de gases de efecto invernadero (GEI).

Sin embargo, en todos los foros de discusión y análisis no se tiene en cuenta el papel de la Geología, tanto en la explicación de este fenómeno, como en las futuras acciones que deberían acompañar la transición energética hacia un mayor uso de energías renovables y la progresiva descarbonización. Por lo tanto, planteamos las siguientes consideraciones:

TRANSICION ENERGÉTICA

1. Energía Geotérmica: Los Gobiernos deben promover la generación energética mediante el uso de energías limpias, de hecho, se está en esa línea y, sin embargo, se habla poco de los recursos prácticamente ilimitados que nos ofrece el calor interno de la tierra. La Energía Geotérmica debe tener un gran papel en el mix energético limpio

y verde. La de baja entalpia o doméstica en todas partes y las de media/alta en todas las zonas geológicamente favorables del planeta. En España: Canarias, Vallés-Penedés, Olot, Campo de Calatrava, etc.…

Se debe potenciar la utilización de la Geotermia (de alta y baja entalpía) tanto como fuente de energía, como para usos domésticos, calefacción y ACS. ¿Los estudios de viabilidad geotérmica, forman parte de las buenas prácticas de cara a la planificación, diseño y construcción de los edificios?

2. Captura y secuestro de CO_2: Por otra parte, la transición hacia un mix energético con energías renovables mayoritarias pasa por un período de consumo desacelerado de energía de procedencia nuclear, derivados del petróleo, gas y carbón. Queramos o no, necesitaremos consumir uranio y combustibles fósiles para producir energía durante años, hasta alcanzar el sueño y reto de tener energía limpia. Los vehículos eléctricos que reducirán la contaminación de las ciudades funcionarán, en gran medida, con kilovatios parcialmente generados por centrales nucleares y térmicas.

Durante esta etapa de transición no podemos permitirnos incrementar el volumen de residuos y las emisiones a la atmósfera sin que estén bajo control y sin disponer de almacenamientos seguros y duraderos para ellos. Los Gobiernos deben promover el desarrollo de Almacenamientos Geológicos Profundos de Residuos Radiactivos (AGP), los sistemas de Captura de GEI y los Almacenamientos Geológicos de CO_2 ($ALGECO_2$), previamente seleccionados y diseñados con estrictos criterios de ingeniería geológica.

Es necesario capturar y gestionar el CO_2 y otros GEI emitidos por las centrales térmicas y almacenar de forma segura los residuos radiactivos de alta actividad. Se han de utilizar las estructuras geológicas profundas estancas previstas en la Ley de Minas para este almacenamiento. Necesitamos disponer de su inventario y conocimiento adecuado. ¿Lo tenemos a nuestro alcance y está actualizado?

Es necesario potenciar la investigación en el área de Captura de gases de efecto invernadero. Los estudios concernientes a la mineralogía y cristalografía, para favorecer la precipitación del CO_2 en estado súper crítico, son necesarios para diseñar la tecnología necesaria para que sea estable en el subsuelo. ¿Estamos potenciando estas áreas de investigación lo suficiente, como para disponer de una tecnología probada y segura en plazo de tiempo corto a medio, 5-20 años?

3. Hidrocarburos: En la continua y progresiva descarbonización de la energía, tendente al uso de fuentes renovables, los hidrocarburos perderán peso en el mix energético futuro. Sin embargo, serán aún de vital importancia como materia prima para la fabricación de componentes en la industria, que durante muchos años deberán seguir usando como fuente los hidrocarburos. Es innumerable la lista de aparatos usados en el sector de la medicina y cirugía, textiles, automóvil, electricidad, electrodomésticos, teléfonos móviles, y un sinfín de utilidades que usan derivados del petróleo y que seguirán dependiendo del mismo.

En este sentido es importante que la sociedad vea las utilidades de esta materia prima y su importancia en el desarrollo de la humanidad protagonizando la revolución industrial y beneficiando a la humanidad hasta ser el factor más importante en el aumento de la sociedad del bienestar como la conocemos hoy en día. Se debe huir de la demonización actual de todo lo relacionado con el petróleo y gas que los asocia con la mayor fuente contaminante y emisora de gases, cuando en realidad nos ha proporcionado una fuente barata de energía y multitud de aplicaciones de las que nos beneficiamos en la vida cotidiana.

Por tanto, no deberían paralizarse las actividades de exploración y producción de hidrocarburos en nuestro país, sino favorecerlas, ya que somos dependientes casi al 100% de las importaciones desde el exterior, lo que supone más de 25000 millones de euros del presupuesto anual. Debiera impulsarse desde el Gobierno la búsqueda y exploración de los hidrocarburos que pueda albergar el territorio Nacional, y así reducir la dependencia exclusiva del exterior.

En la actualidad en la que la actividad petrolera ha desaparecido por completo en España, sin que las únicas compañías presentes como Repsol, Cepsa, y alguna pequeña más, puedan desarrollar cualquier proyecto de exploración, es importante que desde la Administración a través del IGME u otros Servicios geológicos promuevan realizar un estudio profundo del subsuelo para cuantificar en lo posible la magnitud de los hidrocarburos potenciales existentes en el país. Para ello debiera usarse la extensa base de datos sísmicos, testigos e informes técnicos existentes que debieran ordenarse para formar parte de una base de datos nacional actualizada. ¿conocemos el potencial remanente de hidrocarburos existente en nuestro país?

NUEVOS MATERIALES

3. Metales y nuevas aleaciones, sustitución de plásticos: Los Estados deben fomentar y potenciar la investigación y obtención de materiales tecnológicos y de nueva generación necesarios para el desarrollo e implantación de energías limpias y disminuir la contaminación por antiguos materiales, completando así la transición ecológica. En especial la UE debe revertir la dependencia exterior (China, Rusia…) de las materias primas necesarias para ello. La minería ilegal de estos metales en ciertos países tiene consecuencias desastrosas para el medio ambiente y se lleva a cabo en situaciones de semi-esclavitud.

Para que la transición energética, hacia una menor huella de carbono, sea efectiva, se van a requerir unas cantidades ingentes de metales y aleaciones de nueva generación, y que su proceso de extracción, tratamiento y puesta en uso para la fabricación de elementos eficientes generadores de energía, sea no contaminante. Esto implica hacer uso de sistemas de minería sostenible y de la energía hoy en día disponible. ¿Es consciente la población de estas exigencias para realizar la transición de manera efectiva?

Por otra parte, nuestros gobernantes deben asumir que, aunque impopular, es importante concienciar a las comunidades de nuestro país para aceptar la obtención de recursos

naturales en nuestro territorio nacional, y no en países del Tercer Mundo donde no hay regulación laboral y medioambiental, y su explotación allí conlleva esclavismo y ruina de la Naturaleza.

El uso de los plásticos debe reducirse al mínimo, excepto en diferentes sectores como medicina, aislantes para cables etc... Se necesita avanzar con máxima rapidez hacia la sustitución de los plásticos por fibras/materiales vegetales/minerales que puedan alcanzar las mismas prestaciones y a la vez hacerlos más rápidamente biodegradables. ¿Se está potenciando lo suficiente la investigación para llevar a cabo esta sustitución en un plazo de tiempo corto a medio, 5-20 años?

SITUACIONES DE SEQUÍA Y FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

4. El agua como bien precioso: Los modelos de cambio climático prevén que las situaciones de sequía en España pasen a ser más numerosas e intensas en un futuro próximo. Para combatirlas sería necesario disponer de recursos hídricos extra de agua dulce, como son los contenidos en acuíferos profundos y en las surgencias de la plataforma continental, actualmente inexplotados.

Al igual que han hecho países de nuestro entorno, como Francia, el Gobierno debe potenciar el inventario, investigación y caracterización de estos acuíferos profundos y litorales, partiendo, entre otras fuentes, de los estudios de subsuelo (sondeos y geofísica) realizados para la prospección de hidrocarburos. Estas masas de agua dulce, preparadas para su explotación deberían considerarse bienes de utilidad pública (Reservas Estratégicas de Agua Dulce) y su gestión encomendarse a la Administración pública.

Para hacer frente a períodos de sequía más largos intensos y frecuentes, necesitamos hacer uso de los acuíferos profundos y litorales. Necesitamos disponer del conocimiento adecuado y de su inventario. ¿Lo tenemos a nuestro alcance y está actualizado?

Se debe hacer hincapié en la caracterización de las aguas subterráneas en función de su tiempo de residencia, y cuantificar qué recursos son realmente renovables y cuáles son aguas fósiles, y por lo tanto no renovables a escala humana.

Es necesario incrementar los recursos dedicados a la protección de las masas subterráneas de agua dulce y a su control y vigilancia y evitar su sobreexplotación. En España actualmente tenemos un 25% de los acuíferos sobreexplotados. Para todo ello tenemos los organismos adecuados, los recursos humanos preparados y el marco legal apropiado, pero ¿se está trabajando en la adaptación de estos para ser eficaces frente a las nuevas situaciones de estrés hídrico futuras?

5. Riesgos Geológicos: En los previsibles cambios en el planeta consecuencia del calentamiento, aparecen la variación y ascenso del nivel del mar o mayor frecuencia de inundaciones. Se deberán realizar los modelados geológicos de morfología de costas y de cauces fluviales, etc., necesarios para prever y mitigar los posibles daños que estos cambios puedan producir en infraestructuras existentes.

Además, los efectos de las lluvias torrenciales que conlleva la tendencia actual de modificación del régimen de precipitaciones precisan actuaciones urgentes de nuestros gobernantes y administradores en dos campos:

Reconsiderar el planeamiento urbanístico en muchos lugares del País, dejando que las zonas inundables, bien determinadas mediante estudios geomorfológicos e hidrológicos, tengan su funcionalidad natural. Que no se ignore la existencia de una muy importante infraestructura geológica española, en base a resultados políticos cortoplacistas.

Realizar los estudios edafológicos necesarios, con su correspondiente fundamento geológico, para evitar los procesos de pérdida y erosión de suelo, y su incidencia en cultivos, etc.

Los riesgos naturales se van a incrementar como consecuencia del previsible aumento del nivel del mar, así como de la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, y va a obligar a reconsiderar el modelo urbanístico y la pérdida de suelo cultivable. ¿Se van a planificar este tipo de estudios por parte de la comunidad científica y organismos oficiales, y sobre todo van a ser promovidos desde los estamentos políticos? Los Gobiernos deben impulsar el conocimiento y cartografía de riesgos con criterios geológicos: delimitación de zonas inundables, estabilidad de laderas, deslizamientos, etc.

CONCIENCIACIÓN SOCIAL

6. Factor Humano: Para reducir le emisión de gases de efecto invernadero, no solo se tienen que llevar a cabo las diferentes transiciones hacía tecnologías e industrias menos contaminantes, si no que los habitantes del planeta deben modificar sus hábitos de consumo, pero sobre todo reducir el despilfarro energético y de alimentos, así como la generación de residuos urbanos al mínimo.

Es vital que esa modificación de hábitos individuales y colectivos produzca el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles si la sociedad no quiere reducir su nivel de vida, su estado de bienestar, o alternativamente condenar al Tercer Mundo al subdesarrollo permanente. ¿Es la población consciente de las exigencias personales y colectivas que esta transición implica?, ¿se le está informando adecuadamente de las mismas?

REFLEXIÓN FINAL

Debemos dar una respuesta satisfactoria a las cuestiones anteriores, y discernir qué partes corresponden al factor natural y a la acción del hombre, de lo contrario, no estaremos en disposición de reducir los efectos dañinos del calentamiento global acelerado.

Si la pregunta es si el hombre puede actuar sobre el calentamiento global acelerado, que él mismo ha provocado, la respuesta debe ser afirmativa si emprende las acciones necesarias para frenar dicha aceleración.

Pero si la pregunta es si podemos revertir el calentamiento global subyacente y de componente no humano, la

respuesta puede ser negativa, y la especie humana tendrá que adaptarse, como las demás especies que habitan nuestro planeta Tierra. ¿Se están diseñando y preparando políticas de adaptación que sean precisas, y cuya implementación será imprescindible?

Finalmente consideramos que este tema actualmente está sometido a un gran debate social, mediático y político, muchas veces encaminado a la obtención de beneficios espurios de algunos sectores económicos y sociales, y basado en tópicos y en la desinformación de la población. Instamos a las autoridades y poderes públicos a poner la primera piedra para la solución del problema mediante la Educación y la transmisión del Conocimiento científico de la realidad a la población y especialmente a la Juventud e Infancia, pues serán las nuevas generaciones las que tendrán asumir nuevas formas de convivencia y afrontar, en mayor medida, el Cambio.

Referencias

Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld. (2018). Framing and Context. En: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (V. Masson-Delmotte, , P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield Eds). IPCC, Geneva, 49-77. BP plc, 2019, BP Energy Outlook, 2019 edition, 141 p. BP plc, 2019 https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/es_es/spain/home/pdfs/noticias/2019/bp-energy-outlook-2019_book.pdf, 25 de enero de 2020.

GEOSEN* está inscrita en el Registro Nacional de Asociaciones de España en la Sección 1ª / Número Nacional 601455, por Resolución de fecha 9 de febrero de 2017. Tiene su origen y antecedentes en la Plataforma de Geólogos Senior, creada en 2011 como un órgano consultivo para jóvenes profesionales de la geología, para la difusión de la actividad profesional geológica, y para resaltar los valores intrínsecos de la Geodiversidad. La asociación Geosen la constituyen principalmente profesionales de las Ciencias de la Tierra con acreditada experiencia en investigación y docencia, geotecnia, petróleo y gas natural, patrimonio natural geológico, almacenamientos geológicos profundos, sondeos, etc.

Ética, geología, embalses y deslizamientos en la Cuenca del Ebro

Ethics, geology, reservoirs and landslides in the Ebro Basin

A.M. Casas y J.L. Simón

Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias. Grupo de Investigación Geotransfer. Geoforo por una Nueva Cultura de la Tierra. Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. acasas@unizar.es; jsimon@unizar.es

Palabras clave: embalse, deslizamiento, riesgo, ética

Resumen

En las últimas tres décadas se han multiplicado (llegando hasta 12) los proyectos de nuevos grandes embalses (o recrecimiento de los ya existentes) en la cuenca hidrográfica del Ebro. El emplazamiento y las condiciones de construcción de estos embalses no son las idóneas desde el punto de vista geotécnico o sísmico, debido, fundamentalmente, a que los lugares apropiados para colocar cerradas y vasos en las montañas ibéricas y pirenaicas se cubrieron durante etapas históricas anteriores. Junto a ello, el hecho de estar sobredimensionados (con capacidad en algunos casos mayor que la aportación anual de los ríos en que se ubican) hace también que los problemas técnicos se multipliquen. Dentro de esta categoría de embalses problemáticos afectados por deslizamientos o fallas sismogénicas (Casas *et al.*, 2017ª,b) están los de Terroba (río Leza), Enciso (río Cidacos), Itoiz (río Irati), Yesa (río Aragón), Biscarrués (río Gállego), Montearagón (río Flumen), Mularroya (río Grío) y Santaliestra (río Ésera). A estos proyectos, que pueden ser considerados como fracasos técnicos, habría que sumar algún otro, como el de La Loteta, construido sobre evaporitas a pesar de estar destinado al abastecimiento de agua potable para Zaragoza. Aunque algunas de estas obras han sido paralizadas por los tribunales de justicia (Santaliestra y Biscarrués), el empeño de la administración (especialmente de la Confederación Hidrográfica del Ebro) por llevar a cabo la mayor parte de los citados embalses, independientemente del riesgo que suponen para la población, plantea cuestiones éticas sobre la gestión del riesgo, la manipulación de los datos y, en concreto, de las clasificaciones de los deslizamientos y el papel de la sociedad y la universidad en la difusión y tratamiento de los riesgos geológicos.

Abstract

During the past three decades new projects for building large dams (or enlarging the existing ones) in the Ebro hydrographic basin have been proposed. The emplacement and building conditions for these dams are far from being adequate from the seismic and geotechnical points of view. This is especially due to the fact that the ideal locations for dam building in the Pyrenees and the Iberian Chain have since long been exploited. Furthermore, the fact that some of the projects are oversized (the capacity of the reservoirs exceed the annual discharge of the river) is the responsible for the numerous technical problems that will appear, or already have appeared during dam construction. Within this category of problematic reservoirs (Casas et al., 2017a,b) are the Terroba (Leza river), Enciso (Cidacos river), Itoiz (Irati river), Yesa (Aragón river), Biscarrués (Gállego river), Montearagón (Flumen river), Mularroya (Grío river) and Santaliestra (Ésera river) dams. We should add to this list, in the category of technical fiascos, some other projects as the La Loteta dam, whose reservoir is located in evaporite terrains despite the fact that its aim is to provide Zaragoza with drinkable water. Some of the referred projects have been stopped by justice processes (Biscarrués and Santaliestra). However, the stubborn determination of the hydrological government agency (Confederación Hidrográfica del Ebro) to carry them out, in spite of the actual risk for the population derived from their construction, raises some ethical problems about risk management, data manipulation, landslide classification, and the role of society and research/education centers (namely universities) in the treatment and dissemination of geological hazards.

Referencias

Casas, A., Aurell, M., Revuelto, C., Calvín, P., Simón, J.L., Pueyo, Ó., Pocoví, A. y Marcén, M. (2017a). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 30(2), 51-64.

Casas, A., Revuelto, C., Muniesa, P., Pocoví, A. y Pueyo, Ó. (2017b). *Piedra de Rayo* 20, 8-23.

Geoturismo en el País Vasco: experiencias y potencial de desarrollo.

Geoturism in the Basque Country: experiences and development potential.

B. Casas-Valladolid e I. López-Díaz

Ekobideak Koop, Elk.Txikia, Zitek Módulo 5, Bajos del Edificio de Rectorado de la UPV/EHU, Barrio Sarriena S/N, Campus Leioa, Bizkaia. C.P: 48041. ekobideak@gmail.com; barcava@gmail.com; imanol2981@hotmail.com

Palabras clave: geoturismo, Bizkaia, patrimonio geológico, geodiversidad, País Vasco.

Resumen

Siendo la geología una ciencia clave en nuestra sociedad, era inevitable que se le diese importancia al potencial turístico que nos dejan sus estructuras y paisajes. En el País Vasco podemos localizar cerca de 1800 puntos de interés geológico totalmente catalogados. 150 de estos forman parte de la Estrategia de Geodiversidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco 2020 (Gobierno Vasco, 2014), denominados Lugares de Interés Geológico (LIGs), además de 80 que conformaron el proyecto de la Red GeoBasque (Gobierno Vasco, 2011), una red de espacios geoturísticos.

Con ellos, un grupo de geólogos, expertos en guiado e interpretación, han trabajado sobre estos Lugares y Puntos de Interés Geológico, mediante el desarrollo de la actividad geoturística. En 32 actividades realizadas cerca de 700 personas han podido conocer la geodiversidad de diversas zonas en Bizkaia y Guipuzkoa con unas valoraciones positivas y sin derivar en la masificación ni explotación turística del recurso geológico.

Abstract

Being geology a key science in our society, it was inevitable to see the importance of the tourism potential that their structures and landscapes leave to us. In the Basque Country we can locate about 1800 points of geological interest fully cataloged. 150 of these geological points are part of the Geodiversity Strategy of the Basque Country 2020 (Gobierno Vasco, 2014), Geological Sites of Interest (in spanish, LIG), in addition to 80 that make up the GeoBasque Network project (Gobierno Vasco, 2011), a network of geotouristic spaces.

With them, a group of geologists, experts in guidance and interpretation, work in these places and their points of geological interest, through the development of the geoturistic activity. As a result, about 700 people have participated in 32 activities and have had the chance to know the geodiversity of areas such as Biscay and Gipuzkoa, with positive assessments and without resulting in the touristic massification of the geological resource.

Referencias

Gobierno Vasco (2011). *Geoturismo sostenible en la red de espacios naturales protegidos de la comunidad autónoma del País Vasco. Departamento de Medio Ambiente, planificación territorial, agricultura y pesca.* 80 p. https://www.euskadi.eus/web01-a2ingdib/es/contenidos/documentacion/geoturismo/es_doc/index.shtml

Gobierno Vasco, Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial. (2014). *Estrategia de geodiversidad de la comunidad autónoma del País Vasco 2020*. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial. 136 p. https://www.euskadi.eus/contenidos/proyecto/geodibertsitatearen_estrategia/es_def/adjuntos/geodivers_2020.pdf

Presente y futuro social de la geología profesional

Social present and future of professional geology

I. López-Díaz[1] y A. García-Cortázar[1]

1 Colegio de Geólogos (ICOG) País Vasco, c/Iparragirre 46, 2º-puerta 2, 48010 Bilbao paisvasco@icog.es

Palabras clave: Profesional, Sociedad, Política, Administración, Legislación

Resumen

Durante los últimos años el trabajo profesional que desarrollan geólogos y geólogas ha ido ganando presencia e impacto social. Este impacto se relaciona, entre otros aspectos, con su decisiva intervención en situaciones y actuaciones que la sociedad percibe como relevantes. De esta forma, trabajos relacionados con edificación y obras civiles, agua, medio ambiente, deslizamientos y otros riesgos geológicos, energía, cambio climático, etc. van asociándose a este tipo de profesionales. Junto a ello, la progresiva presencia de geólogos y geólogas en diferentes administraciones y la habitual consideración del Colegio de Geólogos en consultas sobre determinadas leyes y proyectos ayudan a extender la importancia y visibilidad social de la profesión.

Esta reciente mejora en la consideración social de la profesión no significa que vaya a ser así en los próximos años. Dentro de su trabajo existen ámbitos en los que geólogos y geólogas están en competencia con otro tipo de profesionales que, históricamente, han destacado socialmente debido, entre otros aspectos, a su pertenencia a potentes Colegios Profesionales. Más consideración social significa más trabajo. Es esta una circunstancia para meditar y para tratar de fortalecer nuestro Colegio.

Abstract

During the last years the professional work developed by geologists has been gaining presence and social impact. This impact is related, among other aspects, to its decisive intervention in situations and actions that society perceives as relevant. In this way, works related to building and civil works, water, environment, landslides and other geological risks, energy, climate change, etc. are associated to this type of professionals. Along with this, the progressive presence of geologists in different administrations and the usual consideration of the Professional Association of Geologists in consultations on certain laws and projects help to extend the importance and social visibility of the profession.

This recent improvement in the social consideration of the profession does not mean that this will be the case in the coming years. Within their work, there are areas in which geologists are in competition with other types of professionals who, historically, have stood out socially due, among other aspects, to their membership in powerful Professional Associations. More social consideration means more work. This is a circumstance to meditate and to try to strengthen our Professional Association of Geologists.

Dispersión de residuos industriales en el subsuelo del barrio de La Almozara. Contexto ambiental y geomorfológico de distribución.

Dispersion of industrial wastes in the underground of the La Almozara neighborhood (Zaragoza). Environmental and geomorphological distribution context.

Ó. Pueyo Anchuela [1,2], D. García[2], E. Mihi[2], J. Sánchez[2], G. Jiménez, P.L. López Julián[3], C. Revuelto[4], A. Pocoví[1], J. Ramajo[1] y P. Calvín[5]

1 Instituto Univ. de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Depto. Ciencias de la Tierra. Univ. de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12. CP 50009 (Zaragoza). opueyo@unizar.es; javierramajo@gmail.com, apocovi@unizar.es
2 Asociación de Vecinos Ebro de La Almozara – Zaragoza. j.s.1980@hotmail.com;emihite@hotmail.com; asociacionebro@gmail.com
3 Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia – C/ Mayor, s/n. CP 50.100 – La Almunia de Doña Godina. pllopez@unizar.es
4 Geoscan S.L.P. C/ Ajedrea nº 20 nave E-24. Parque Empresarial Magnus-Polígono Empresarium. C.P. 50720. crevuelto@geoscan.es.
5 Depto. De Física, Laboratorio de Paleomagnetismo. Universidad de Burgos. Avda/ Cantabria, s/n. CP 09006 Burgos. pcalvin@ubu.es

Palabras clave: mapas de susceptibilidad, metales pesados, residuos industriales, información oral.

Resumen

El barrio de La Almozara (Zaragoza) nació al amparo del desarrollo de la Industrial Química de Zaragoza. Una de las actividades de esta empresa era la tostación de piritas para la obtención de ácido sulfúrico. Durante casi un siglo de actividad, los residuos producidos fueron utilizados para recrecer motas y elevar topográficamente La Almozara que se encuentra en la llanura de inundación del río Ebro. El desmantelamiento de las plantas no vino acompañado de la retirada de los residuos, que siguen presentes bajo parte de las zonas urbanas y parques. La interacción de las aguas de infiltración y dichos residuos ha propiciado la existencia de una pluma de contaminación bajo el barrio con aguas de pH 3 en el subsuelo. La distribución de residuos respondía a la oportunidad sin existir registros de la distribución de su vertido. Sin embargo, a partir de información oral, visitas a obras y análisis geomorfológicos de la zona de estudio, se ha podido realizar un mapa de susceptibilidad a la presencia de dichos residuos incorporando las distintas fuentes de información como herramienta predictiva de la eventual presencia de dichos residuos en un entorno actual urbano y como orientación para actuaciones que puedan desarrollarse en el futuro y que impliquen remoción o movimientos de tierra en la zona de estudio.

Abstract

La Almozara neighborhood (Zaragoza) was born due to the industrial development of the Industrial Química de Zaragoza Company. One of its productions was obtaining sulfuric acid from pyrite roasting. During nearly one century of industrial activity wastes were used to ground leveling and fluvial barrier construction due to the location of La Almozara in the Ebro flooding plain. Industrial dismantlement did not retire wastes and they persist in the underground of the neighborhood. Moreover an acid plume (water with pH of 3) exits in the underground. The wastes distribution responds to the opportunity of tipping out and there are no records of their distribution. However, evaluating inhabitants' interviews, construction works visits and geomorphological analyses, a susceptibility map of the wastes distribution has been carried out in order to predict their potential presence in the underground. Moreover this approach should be used in order to evaluate the probability of their appearance previous to the beginning of construction, excavation or soil removal in the studied zone.

Referencias

Pueyo Anchuela, O., Revuelto, C., Ramajo, J., Bartolomé, J.I., Arce, M., López, P.L., Gracia, J., Blecua, A., Moncayola, J.A., Pocoví, A., Mihi, E., Sánchez, J., Franco, M., Blas, A., Gil, H. y Jiménez, G. (2018). *Viviendo en… La Almozara – Contexto geológico y ambiental*. D.L.: Z 1810.2018. 16p. http://goo.gl/cs1HD4.

Papel de la geología en el desarrollo global: la importancia de los humedales

Role of geology in global development: the importance of the wetlands

M.E. Sanz-Montero[1], J.P. Rodríguez-Aranda[2] y P. del Buey[1]

1 Dpto. Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040-Madrid
mesanz@ucm.es; pablodelbuey@ucm.es
2 IES Camilo José Cela. Pozuelo de Alarcón (Madrid). juanparo@ucm.es

Palabras clave: laguna, delta, ambiente sedimentario, geodiversidad.

Resumen

Los humedales son ambientes ricos y productivos, a la vez que frágiles. Así, debido al cambio climático, el desvío de aguas y la modificación de usos del suelo, dichos ambientes están desapareciendo incluso más rápido que los bosques. De los procesos naturales que tienen lugar en los humedales se derivan servicios fundamentales para la salud y el bienestar humano, tales como la producción de alimentos y materias primas, la depuración de aguas, el control de inundaciones y de erosión, y la reposición de aguas subterráneas. Además, aunque no se suele tener en cuenta, los humedales juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, ya que pueden acumular grandes cantidades de carbono en las turberas o en precipitados carbonáticos, como ocurre, por ejemplo, en las lagunas alcalinas de Coca-Olmedo (Cuenca del Duero). Por tanto, el conocimiento geológico juega un papel fundamental en la comprensión de la dinámica de estos sistemas; sin embargo, la geología se menciona raramente en el contexto de los estudios y gestión de humedales, que, en general, sólo consideran aspectos biológicos y económicos. Este hecho es notable en España, a pesar de que los mencionados ambientes muestran una gran diversidad de aguas: dulce, salobre, hipersalina; y contextos hidrogeológicos variados: alimentación freática, superficial o pluvial, regímenes endorreicos o exorreicos como el Delta del Ebro. Desde el punto de vista geológico, los humedales constituyen ambientes sedimentarios específicos, caracterizados por unas facies sedimentarias definidas. Por otro lado, estos entornos, por ejemplo, las Lagunas de Lillo (Toledo) son laboratorios naturales que nos permiten caracterizar y modelizar procesos geológicos de precipitación de carbonatos y sulfatos, así como de biominerales, cuyo origen no se conoce en profundidad, y que son comunes en el planeta Tierra y otros astros del Sistema Solar. De este modo, los geólogos tenemos la oportunidad y la responsabilidad de dar a conocer a la sociedad las características geológicas de los humedales para implementar las medidas adecuadas para su gestión y conservación.

Abstract

Wetlands are rich and productive environments, as well as fragile. Thus, due to climate change, water diversion and land use policy, these environments are disappearing even faster than forests. Essential services for health and human well-being are derived from the natural processes that take place in wetlands, such as food and raw material production, water purification, flood and erosion control, and groundwater replacement. Although it is not usually taken into account, wetlands play a significant role in mitigating climate change, since they can act as CO_2 sinks. Besides peatlands, carbonate precipitates can accumulate carbon, as occurs in the alkaline lakes of Coca-Olmedo (Duero Basin). Geology plays a fundamental role in understanding the dynamics of these systems; however, it is rarely mentioned in the studies and management of wetlands, that commonly only consider biological and economical aspects. This is seen in Spain, in spite of the fact that the aforementioned environments show a great diversity of waters (fresh, brackish, hypersaline –Lillo wetland in Toledo–, alkaline) and varied hydrogeological contexts (phreatic, surface or rainfall feeding, endorheic or exorheic basins –Ebro delta–). From a geological point of view, wetlands represent different sedimentary environments where specific sedimentary facies form. In addition, wetlands are natural laboratories that allow us to model precipitation of carbonates, sulfates and biominerals, whose origins have not yet been determined exactly, and that are common on planet Earth and other celestial bodies of the Solar System. In this way, geologists have the opportunity and responsibility to make known to society the geological characteristics of wetlands that would help to implement appropriate management and conservation policies.

La geología en la sociedad del ¿conocimiento?

Geology within the knowledge? society

J.L. Simón y A.M. Casas

Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias. Grupo de Investigación Geotransfer. Geoforo por una Nueva Cultura de la Tierra. Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain. jsimon@unizar.es, acasas@unizar.es,

Palabras clave: geoética, cultura científica, sociedad del desconocimiento.

Resumen

En nuestra *sociedad del conocimiento* la ciencia es nominalmente venerada pero, en la práctica, es relegada o manipulada por los poderes políticos y económicos. La geología tiene un objeto de estudio complejo y dispone de información limitada para elaborar sus modelos. Su margen de incertidumbre abre el camino para que sus resultados sean moldeados a gusto del interesado. Los recursos del subsuelo son la base de negocio de grandes compañías que mueven capital impulsadas por expectativas de reservas, probadas o no, que cotizan en los mercados. ¿Podemos creer que los estudios exploratorios cuantifican siempre esas reservas de forma rigurosa? Con respecto a las catástrofes naturales, pervive en nuestra sociedad una preocupante ignorancia. Se menosprecia el peligro; se arremete contra la Tierra con obras innecesarias que interfieren con su dinámica; se muestra escasa capacidad para abordar la gestión preventiva, y finalmente se lamentan las fatales consecuencias de las "fuerzas de la naturaleza". La sismicidad inducida por la inyección de gas en el almacén Castor, el obstinado proyecto de recrecimiento del embalse de Yesa, las dolinas ignoradas durante la expansión urbanística de Zaragoza, o el contencioso de constructora española en el Canal de Panamá por la inadecuada evaluación de las propiedades del terreno: estos casos evidencian una lastimosa imprevisión y una instrumentalización de los estudios geológicos, propiciada por controles administrativos ineficientes y por la escasa cultura científica de quienes toman las decisiones (Simón, 2015). Vistas las consecuencias económicas de muchos de esos "contenciosos geológicos", cabe preguntarse si esa torpe gestión de las incertidumbres científicas no es una estrategia en sí misma.

Abstract

In our knowledge society, science is nominally revered but, in practice, relegated or manipulated by political and economic powers. Geology has a complex subject of study and has limited information available to develop models. Its margin of uncertainty opens the way for the results to be tailored to the interested party. Underground resources are the business of big companies that move capital driven by expectations of reserves, proven or not, that are quoted in the markets. Can we believe that exploratory studies always quantify these reserves in a rigorous way? Concerning natural disasters, a worrying ignorance persists in our society. Danger is underestimated; the Earth is attacked with unnecessary works that interfere with its dynamics; scarce capacity is demonstrated to deal with preventive management, and finally the fatal consequences of the "forces of nature" are lamented. The seismicity induced by injection of gas into the Castor reservoir, the obstinate project to enlarge the Yesa reservoir, the sinkholes ignored during the urban expansion of Zaragoza, or the dispute of a Spanish construction company in the Panama Canal due to the inadequate evaluation of rock features: these cases show a pitiful lack of foresight, as well as manipulation of geological studies, prompted by inefficient administrative controls and a lack of scientific culture of those individuals that take decisions (Simón, 2015). Seeing at the economic consequences of many of these "geological disputes", it is worth asking whether this unskilled management of scientific uncertainties is not a strategy in itself.

Referencias

Simón, J.L. (2015). *Ecologista* 85, 56-58.

SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La Sociedad Geológica de España fue fundada en 1985 y tiene como fines la promoción, fomento y difusión del conocimiento, progreso y aplicaciones de la Geología, el asesoramiento en materia científica y educativa a las Instituciones y Entidades que lo requieran, y la representación de los intereses científicos de la comunidad geológica de España a nivel internacional. Sus miembros tienen derecho a participar en todas las actividades organizadas por la Sociedad, a optar a ocupar cualquiera de sus cargos directivos y a recibir gratuitamente las publicaciones periódicas de la Sociedad: Geogaceta y Revista de la Sociedad Geológica de España.

JUNTA DE GOBIERNO

Presidente	**Juan Antonio Morales González** Dpto. de Ciencias de la Tierra Facultad de Ciencias Experimentales Univ. de Huelva, 21007 Huelva Tel.: 959 21 98 15; e-mail: jmorales@uhu.es
Secretario	**Miguel Gómez Heras** Dpto. de Geología y Geoquímica Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid Tel.: 91 497 54 07 ext. 6; e-mail: miguel.gomezheras@uam.es
Tesorera	**M. Carmen Cabrera Santana** Departamento de Física Universidad de las Palmas de Gran Canaria 35017 Las Palmas de Gran Canaria Tel.: 928 45 44 78 ; e-mail: mcarmen.cabrera@ulpgc.es
Vicepresidenta	**Ana Ruiz Constán**
Vicesecretario	**Pedro Huerta Hurtado**
Secretario 2º	**José Eugenio Ortiz Menéndez**
Vocales	**Ángel Salazar Rincón** **Davinia Díez Canseco** **Manuel Díaz Azpiroz** **Pilar Mata Campo** **Álvaro Jiménez Berrocoso** **Francisco Manuel Alonso Cháves**
Secretaría técnica	**Isabel Corral Fernández** **Blanca Martínez García**
Redes sociales	**Raquel Martín Banda**

Sociedad Geológica de España

PATROCINAN:

Instituto Geológico y Minero de España

ICOG
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

ENERGIAREN EUSKAL ERAKUNDEA
ENTE VASCO DE LA ENERGÍA

REPSOL

COLABORAN:

AEQUA

EKOBIDEAK

Arabako Foru Aldundia
Diputación Foral de Álava

Euskadi, auzolana, bien común
EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo
AGGEP

Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz
Vitoria-Gasteizko Udala

VITORIA GASTEIZ
green capital