

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 38 Número 1, Junio 2025

ISSN 0214-2708

Editora Principal
María José Domínguez Cuesta
Universidad de Oviedo



**Sociedad
Geológica
de España**

Revista de la SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Revista semestral editada por la Sociedad Geológica de España

<http://www.sociedadgeologica.org>

ISSN: 0214-2708 (versión impresa)

ISSN: 2255-1379 (Internet)

Depósito legal: S.421-2012

Es una revista que recoge los artículos originales e inéditos enviados para su publicación a la Sociedad Geológica de España y seleccionados por el Comité Editorial, con el asesoramiento del Comité Científico y especialistas en la materia. También se recogen las réplicas realizadas después de la publicación de un artículo. La Sociedad Geológica de España no se hace responsable de las opiniones vertidas por las personas autoras de los artículos firmados. La propiedad intelectual atribuye a los/las autores/as la plena disposición y explotación de la obra creada, de acuerdo con las leyes vigentes. La Revista no puede ser reproducida, almacenada o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio sin la autorización previa y escrita de la Sociedad Geológica de España. Su reproducción para fines docentes, de investigación o uso personal no requiere autorización previa.

EDITORA PRINCIPAL / EDITOR-IN-CHIEF

María José Domínguez Cuesta

Universidad de Oviedo, Dpto. de Geología
C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo (España)
Tel: +34 985- 109 546; e-mail: dominguezmaria@uniovi.es

EDITORES ADJUNTOS / ASSOCIATE EDITORS

Concha Jiménez De Cisneros Vencelá

Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC)
Avda. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada (España)
+34 958 230 000; email: concepcion.cisneros@csic.es

Károly Hidas

Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Unidad de Granada
Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada (España)
Tel: +34 958 691 032; e-mail: k.hidas@igme.es

Juan Antonio Morales González

Universidad de Huelva, Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias Experimentales
Campus del Carmen, Avda. 3 de marzo s/n, 21007 Huelva (España)
Tel: +34 959 219 815; e-mail: jmorales@dgeo.uhu.es

SEDE EDITORIAL / EDITORIAL OFFICE

Sociedad Geológica de España:

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

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Alberto Pérez-López, Universidad de Granada (Spain)
Andrés Folguera, Universidad de Buenos Aires (Argentina)
Belén Oliva Urcia, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)
Brendan Murphy, St. Francis Xavier University (Canada)
David Gómez Gras, Universidad Autónoma de Barcelona (Spain)
Graciela Delvene Ibarrola, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)
Jorge Rabassa, Centro Austral de Investigaciones Científicas (Argentina)
José Antonio Ortega Becerril, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)
José Brilha, Universidade do Minho (Portugal)
José Miguel Molina Cámara, Universidad de Jaén (Spain)
Juana Vegas Salamanca, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)
Julia Cuevas Urionabarrenechea, Universidad del País Vasco (Spain)
Laura Domingo Martínez, Instituto de Geociencias (CSIC), Universidad Complutense de Madrid (Spain)
Luis Vitor Duarte, Universidade de Coimbra (Portugal)
María Luisa Calvache Quesada, Universidad de Granada (Spain)
Mercedes Ferrer Gijón, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)
Nieves María López González, Instituto Español de Oceanografía (Spain)
Pablo G. Silva Barroso, Universidad de Salamanca (Spain)
Stephen Johnston, University of Alberta (Canada)
Teresa Román Berdiel, Universidad de Zaragoza (Spain)

Imagen de portada:

Imagen de portada: *Boudins* romboidales desarrollados en capas de cuarcitas cambro-ordovícicas de la Serie de los Cabos, playa La Barquera, Cudillero, Asturias.

Foto cedida por: Laura Rodríguez Rodríguez.

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA



Vol. 38 (1) (2025)



HUELLAS DE PTEROSAURIOS EN EL CRETÁCICO INFERIOR DEL GRUPO ENCISO DE LA CUENCA DE CAMEROS (ESPAÑA)

Pterosaur tracks in the Lower Cretaceous Enciso Group of the Cameros Basin (Spain)

Carlos Pascual-Arribas¹, Jongyun Jung², Moussa Masrour³, Nieves Hernández-Medrano⁴, Félix Pérez-Lorente⁵

¹ Calle Real, 65, 42002, Soria, España; car.pasarri@gmail.com

² Department of Geological and Environmental Sciences and Korea Dinosaur Research Center and Mudeungsan Geotourism Center, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea; jongyun1991@gmail.com

³ Laboratoire de Géologie Appliquée et Géo-Environnement, Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences Agadir, Morocco; moussamasrour5@gmail.com

⁴ Calle Solidaridad, 37-4º Izq, 26003 Logroño, España; nieveshernandezmedrano@gmail.com

⁵ Universidad de La Rioja, Edificio CT. C/Madre de Dios 51-53, 16006, Logroño, España; felix.perez@unirioja.es

Resumen: Las huellas de pterosaurios en el Cretácico Inferior (Barremiense-Aptiense) del Grupo Enciso (Cuenca de Cameros) son escasísimas, reduciéndose a unas pocas icnitas preservadas en depósitos lacustres en los yacimientos de Los Cayos (Cornago, La Rioja). Ante la falta de huellas de pies, fueron incluidas en el icnogénero *Pteraichnus*. Nuevos hallazgos, que contienen huellas de pies, permiten encuadrarlas en dos morfotipos: A (pies con forma de U), y B (pies con forma de V) propias de icnogéneros diferentes de *Pteraichnus*, aunque la falta de calidad de preservación de las huellas no faculta crear nuevos icnogéneros. Por sus características morfométricas y edad se asemejan a las huellas de pies subrectangulares (con forma de U) de pterosaurios del este de Asia (China, Corea del Sur), América (Méjico, Argentina) y África (Marruecos), incluyéndolas dentro de la icnofamilia *Agadirichnidae*, como aff. *Agadirichnus* isp., con las que comparten más características. Sus posibles autores podrían situarse dentro de la superfamilia *Azhdarchoidea*, para el caso del morfotipo A y *Ornithocheiroidea* en el caso del morfotipo B.

Palabras clave: Cuenca de Cameros, Grupo Enciso, Cretácico Inferior, huellas subrectangulares de pterosaurios, *Azhdarchoidea*.

Abstract: The pterosaur tracks in the Lower Cretaceous (Barremian-Aptian) Enciso Group (Cameros Basin) are very rare, being limited to a few footprints preserved in lacustrine deposits in the sites of Los Cayos (Cornago, La Rioja). Due to the lack of footprints, they were included in the ichnogenus *Pteraichnus*. New findings, which contain footprints, allow them to be classified into two morphotypes: A (U-shaped footprint), and B (V-shaped footprint) typical of ichnogenera other than *Pteraichnus*, although the lack of quality of preservation of the footprints does not allow the creation of new ichnogenera. Due to their morphometric characteristics and age, they resemble the subrectangular footprints (U-shaped) of pterosaurs from East Asia (China, South Korea), America (Mexico, Argentina) and Africa (Morocco), including them within the ichnofamily *Agadirichnidae*, such as aff. *Agadirichnus* isp., with which they share more characteristics. Its possible producers could be located within the superfamily *Azhdarchoidea*, in the case of morphotype A and *Ornithocheiroidea* in the case of morphotype B.



Keywords: Cameros Basin, Enciso Group, Lower Cretaceous, pterosaur subrectangular tracks, Azhdarchoidea.

Pascual-Arribas, C., Jung, J., Masrour, M., Hernández-Medrano, N., Pérez-Lorente, F., 2025. Huellas de pterosaurios en el Cretácico Inferior del Grupo Enciso de la Cuenca de Cameros (España), *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 38 (1), 3-24.

Introducción

La Cuenca de Cameros (España) es una de las cuencas mesozoicas en el mundo con mayor número de huellas de pterosaurios (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2012). Las primeras huellas de pterosaurios documentadas en la misma fueron descritas por Moratalla (1993) en los yacimientos de Los Tormos (Berriasiense del Grupo Oncala) en la provincia de Soria, y de Los Cayos A (Barremiense-Aptiense del Grupo Enciso) en la provincia de La Rioja, aunque las consideró como propias de quelonios. Posteriormente, Lockley *et al.* (1995) reconocieron estas huellas como ocasionadas por pterosaurios. A partir de ese momento, nuevos hallazgos (Pascual Arribas y Sanz Pérez, 2000) abrieron la puerta al reconocimiento de la gran riqueza de la Cuenca de Cameros en este tipo de huellas, cuya presencia se asocia sobre todo con el Grupo Oncala (Pascual Arribas y Sanz Pérez, 2000) y más concretamente con la Formación Huérteles (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2012). Por ahora, todas ellas han sido asignadas a un único icnogénero, *Pteraichnus* Stokes, 1957, habiéndose citado siete icnoespecies diferentes: *Pteraichnus palacieisaenzi* Pascual Arribas y Sanz Pérez, 2000, *Pteraichnus parvus* Fuentes Vidarte *et al.*, 2004a, *Pteraichnus longispodus* Fuentes Vidarte *et al.*, 2004b, *Pteraichnus vetustior* Meijide Fuentes, 2001, *Pteraichnus manueli* Meijide Calvo, 2001, *Pteraichnus cidacoi* Fuentes Vidarte, 2001 y *Pteraichnus cf. stokesi* Lockley *et al.*, 1995. Entre estas icnoespecies mencionadas se ha planteado la duda que algunas realmente pertenezcan a este icnogénero (Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2016).

En contraposición con lo que ocurre en el Grupo Oncala, en el Grupo Enciso apenas se han hallado icnitas de estos reptiles voladores (Moratalla, 1993; Moratalla *et al.*, 2003; Moratalla y Hernán, 2009), aun cuando es pródigo en huellas de dinosaurios (Pérez-Lorente, 2015). Las pocas icnitas de pterosaurios, hasta ahora reconocidas, estaban representadas por impresiones de solo manos en los yacimientos de Los Cayos A y Los Cayos C (Moratalla *et al.*, 1992; Moratalla *et al.*, 2003; Moratalla y Hernán, 2009). Todas ellas fueron incluidas dentro del icnogénero *Pteraichnus* en base a su forma, tamaño creciente de sus dedos y los ángulos de divaricación entre entre los dedos extremos (I[^]III). Como característica destacable, se indica que el ángulo I[^]II poseía un valor muy elevado (90° o más), normalmente no presente entre las huellas de pterosaurios del Grupo Oncala.

El descubrimiento de nuevas huellas en los yacimientos del barranco de Los Cayos, en esta ocasión, tanto de pies como de manos, proporciona nuevos datos, esta vez más significativos (las huellas de manos son más conservativas), que permitirán ir conociendo con más precisión las características icnotaxonómicas de las huellas de pterosaurios del

Grupo Enciso, posibilitando, al mismo tiempo, el compararla más adecuadamente, no sólo con las del Grupo Oncala, sino también con las de otras partes del mundo, especialmente con las de edad equivalente a la del Grupo Enciso (Barremiense-Aptiense). Todos estos resultados abren una puerta al conocimiento de las posibles características paleobiológicas de los pterosaurios que las ocasionaron.

Entorno Geológico

La Cuenca de Cameros es una de las cuencas sedimentarias más importante a nivel mundial por su riqueza icnológica de vertebrados (Pérez-Lorente, 2015; Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2012). Se encuentra en el extremo NO de la Cordillera Ibérica y se originó durante la segunda etapa del rifting intraplaca que afectó a esta zona desde el Titoniense hasta el Albiense inferior, a consecuencia de la apertura del Atlántico Norte y del Golfo de Vizcaya (Salas *et al.*, 2001). Su gran subsidencia propició que se acumularan en la misma más de 8.000 metros de sedimentos en su área depocentral, que se agrupan en cinco grupos sedimentarios (Tera, Oncala, Urbión, Enciso y Olivan; Tischer, 1966), depositados en 8 secuencias de depósito (SD) (Mas *et al.*, 2002, 2011) (Fig. 1). La mayoría de los sedimentos son de origen continental, tanto fluviales como lacustres, sin apenas influencia marina (Mas *et al.*, 1993, 2011; Suárez-González, 2015). Los grupos Tera, Urbión y Olivan son eminentemente detríticos, mientras los de Oncala y Enciso son carbonáticos.

El Grupo Enciso forma parte de la SD 7, estando representado en la subcuenca oriental de Cameros por depósitos siliciclásticos fluviales que predominan hacia el oeste y hacia la parte inferior (Grupo Urbión D; Mas *et al.*, 1993), y que pasan progresivamente hacia el este y hacia techo a los depósitos mixtos siliciclástico-carbonáticos, interpretados como de origen fluvio-lacustre (Tischer, 1966; Mas *et al.*, 1993; Hernán Martínez, 2018). Su edad más aceptada hasta hace muy poco tiempo era Barremiense-Aptiense inferior (Mas *et al.*, 1993; Doublet, 2004; Hernán Martínez, 2018). Sin embargo, últimamente, el análisis cicloestratigráfico de sus capas apoyan una edad Hauteriviense-Barremiense inferior (Muñoz *et al.*, 2020; Casas *et al.*, 2024), más acorde con la basada en ostrácodos y carófitas (Schudack y Schudack, 2009; Clemente, 2010; Moreno-Azanza *et al.*, 2016). Este grupo, como el de Oncala, se caracteriza por mostrar una gran riqueza en icnitas de vertebrados, principalmente de dinosaurios, mientras que las de tortugas, cocodrilos y pterosaurios son más escasas (Moratalla *et al.*, 2003; Moratalla y Hernán, 2009; Pérez-Lorente, 2015).

Las huellas de pterosaurios se localizan en la parte alta del Grupo Enciso, cerca de la localidad de Cornago (La Rioja, España), en el Barranco de Los Cayos. En todos los

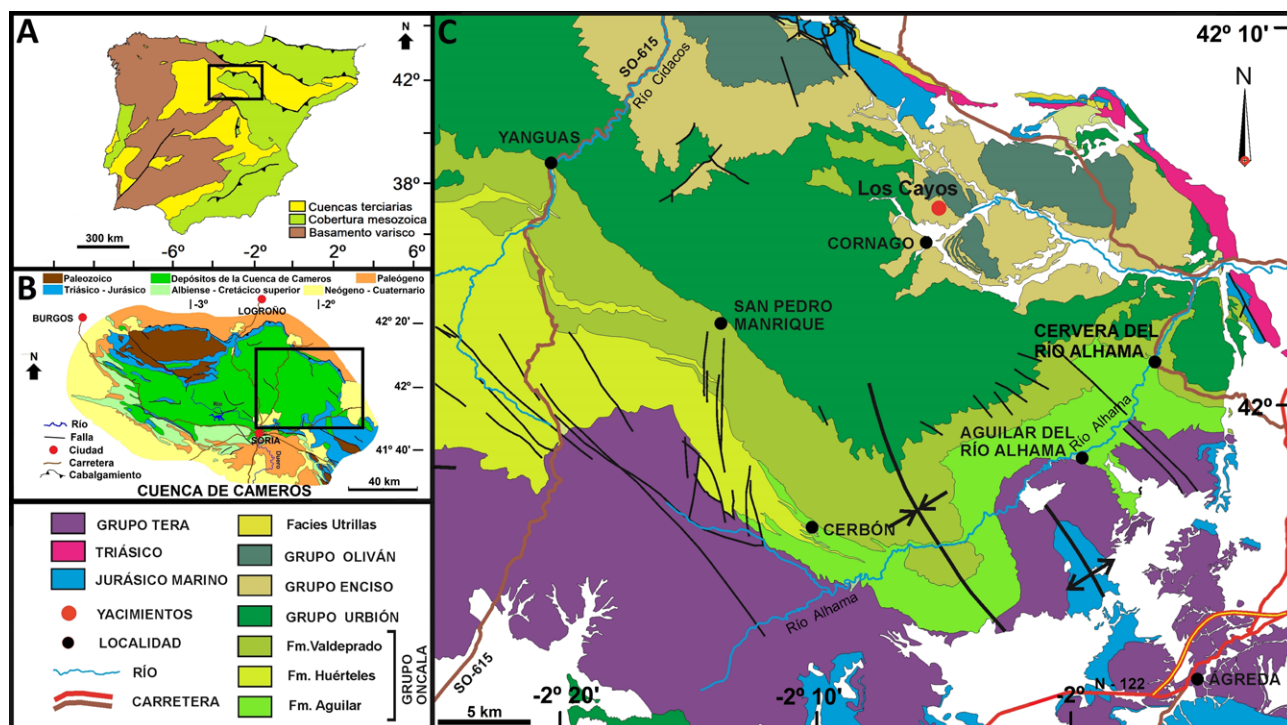


Fig. 1.- Situación de los yacimientos de huellas de pterosaurios de Los Cayos en el Grupo Enciso (Cornago, La Rioja, España). Modificado de Quijada *et al.* (2013). A: Localización de la Cuenca de Cameros en la península Ibérica; B: Esquema geológico de la Cuenca de Cameros; C: Localización de los yacimientos de Los Cayos en el grupo Enciso de la Cuenca de Cameros (punto rojo).

casos, las icnitas de pterosaurios aparecen sobre limolitas grises y areniscas limosas ocre, depositadas en los bordes de un lago de cuenca endorreica (Hernán Martínez, 2018), junto a escasas huellas terópodos.

Material y Metodología

Todas las huellas en estudio se encuentran *in situ* en tres yacimientos del barranco de Los Cayos (Los Cayos A, Los Cayos B y Los Cayos C), Cornago (La Rioja, España) (Fig. 1). Estos yacimientos forman parte de una serie de localizaciones con huellas de dinosaurios y otros reptiles (Los Cayos A, B, C, D, E y S) que progresivamente se han ido descubriendo en este paraje. Para su reconocimiento utilizamos los mismos acrónimos que se propusieron en los primeros estudios publicados de estos yacimientos (LCA, LCB y LCC; Moratalla *et al.*, 2003; Moratalla y Hernán, 2009). Las coordenadas de los yacimientos pueden consultarse en Hernán Martínez (2018).

En la Fig. 2 se indican las medidas realizadas y utilizadas en la descripción de estas huellas, que son las tradicionales en estos casos (Pascual y Sanz, 2000; Mazin *et al.*, 2003; Pascual Arribas y Hernández Medrano, 2012; Hernández-Medrano *et al.*, 2017): la longitud de las huellas de los pies (Lp) y manos (Lm), anchura de las huellas de los pies (Ap) y manos (Am), la longitud de la impresión de los dedos de la mano (LI, LII, LIII), los ángulos interdigitales entre las impresiones de los dedos de la mano (I[°]II, II[°]III, I[°]III), ángulo de abertura total de las huellas de los pies (α), longitud de la parte de la huella donde se marcan los dedos (LD) y de la parte del metatarso en las huellas de los pies (LMe); ángulo entre el eje de las huellas de los pies

y el eje que pasa por la impresión del dedo III de la huella de la mano (β). Con ellas se calcularon algunas relaciones de interés para la descripción y clasificación de este tipo de huellas, como Lp/AP, Lm/Am, Lp/Lm y LD/LMe. Dada la escasez de rastros, sólo se mencionan algunos datos aislados referibles a los mismos: pasos de huellas de pies y manos (Pp y Pm, respectivamente), zancadas de huellas de pies y manos (zp y zm, respectivamente), ángulos de paso de huellas de pies y manos (App y APm, respectivamente), y las anchuras de rastro internas y externas (ARI y ARE, respectivamente).

El tamaño de las huellas de pterosaurios las clasificamos de acuerdo a su longitud en: diminutas (<5 cm); pequeñas (5<Lp<10 cm); medianas (10<Lp<15 cm); grandes (15<Lp<25 cm) y muy grandes (>25 cm).

Diferenciamos tres tipos de huellas de pies de pterosaurios por su aspecto: con forma de V (subtriangulares), de U (subrectangulares) y de Y (forma de tenedor u horquilla) siguiendo la propuesta de Pascual-Arribas y Hernández-Medrano (2016). Estos tres tipos morfológicos, acordes con la disposición de los huesos de los pies (metatarsianos y dedos) de los pterosaurios, se pueden diferenciar bien midiendo la anchura de las huellas a la altura de los dedos (Ap), en el talón (Ap-t) y en la zona de separación del metatarso de los dedos (Ap-dm). Según esas medidas, estas formas de huellas de pies se caracterizan así (ver Fig. 2):

Huellas con forma de V (subtriangulares): $Ap > Ap-dm > Ap-t$

Huellas con forma de U (subrectangulares): $Ap \approx Ap-dm \approx Ap-t$

Huellas con forma de Y (forma de tenedor u hoquilla): $Ap > Ap-dm \approx Ap-t$

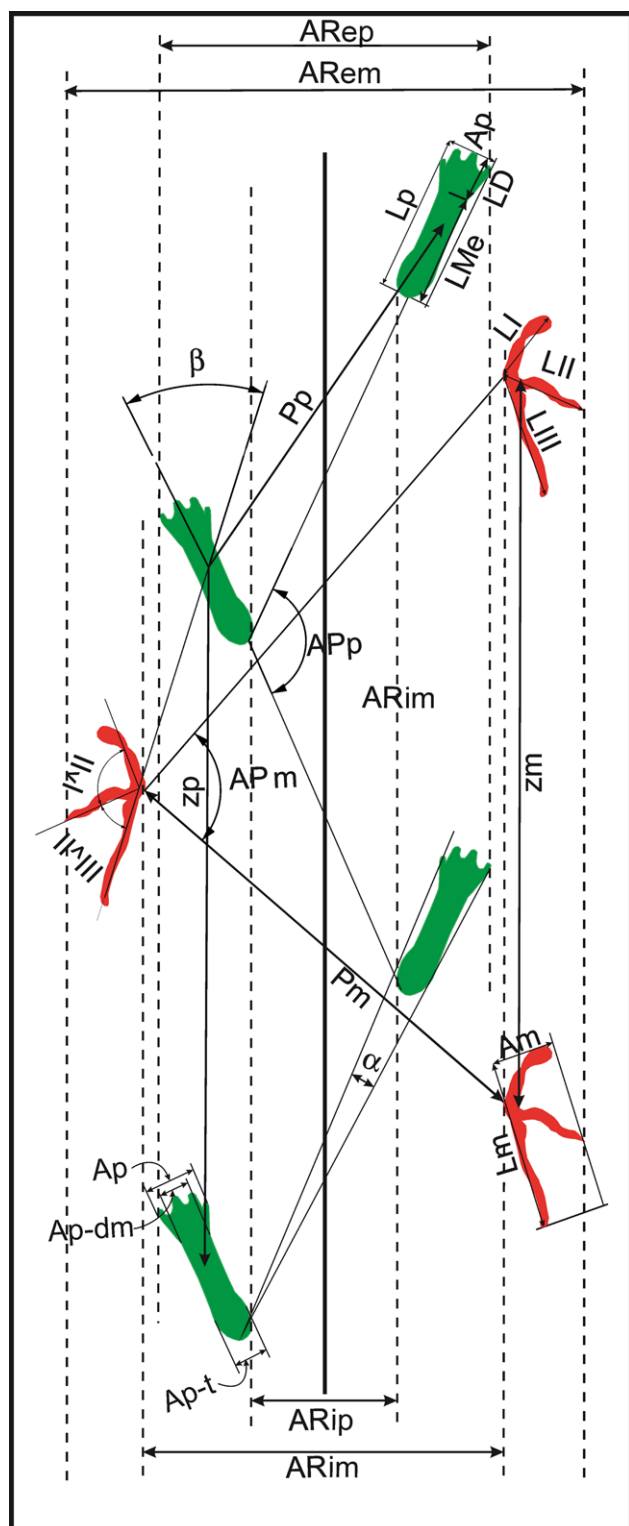


Fig. 2.- Medidas efectuadas en las huellas de pterosaurios de los yacimientos de Los Cayos del Cretácico Inferior del Grupo Enciso (La Rioja, España). Abreviaturas (seguidas de p o m, se refieren a los pies o a las manos): L - longitud; A - Anchura;; I^{II}^III - ángulos interdigitales entre los dedos I, II y III de la mano; α - ángulo de apertura total de los dedos del pie; β - ángulo entre los ejes de las huellas de la mano y la del pie; P - paso; z - zancada; Ap-t - anchura en el talón del pie; Ap-dm - anchura del pie en el contacto de los metatarsos con los dedos; AP - ángulo de paso; ARi - anchura interna del rastro; ARe - Anchura externa del rastro.

Estos tres tipos de formas de pies son importantes a la hora de distinguir entre huellas de pterosaurios, pero no es el único criterio utilizado, siendo necesario otros elementos diferenciadores, tanto de pies como de manos y rastros.

Se han fotografiado todas las huellas con ayuda de cámaras digitales SONY (DSC-RX10-M4 y DSC-RX100), utilizándose las imágenes obtenidas en fotogrametría 3D con ayuda del software Agisoft PhotoScan Professional (v. 1.4.0). Los mapas de profundidad en falso color se obtuvieron con el programa Paraview (v. 5.9.0) y los dibujos de las huellas y de los planos de los yacimientos se realizaron con ayuda del programa CorelDraw 2020.

La altura acetabular de los autores de las huellas se ha calculado siguiendo el método de Li *et al.* (2025) y la velocidad de desplazamiento usando la ecuación de Alexander (1976).

La calidad de preservación de las huellas estudiadas se ha determinado en función de las escalas de Belvedere y Farlow (2016) y Marchetti *et al.* (2019).

Los datos morfométricos de la Tabla 3 se han tomado de las publicaciones originales en que fueron descritas las huellas (tanto indicados allí, como obtenidos a partir de sus representaciones gráficas) y datos propios.

Descripción

Las huellas de pterosaurios encontradas en los yacimientos de Los Cayos A, B y C (Cornago, La Rioja) son icnitas que forman parte, generalmente, de pares mano-pie, reconociéndose un rastro completo y parte de otro que solo conserva las huellas de un solo lado. Las huellas aisladas son escasísimas (al contrario de lo que ocurre en numerosos yacimientos con este tipo de huellas en el Grupo Oncala). En total se contabilizan 39 huellas, de las cuales 19 son huellas de pies y 20 huellas de manos.

Los Cayos A

En un estrato de 32 cm de potencia, que forma parte de un resalte en la zona, constituido por lutitas grises con rizaduras de oleaje, laminación cruzada de surco, laminación horizontal, costras ferruginosas, escasos fragmentos de fósiles y bioturbación (Hernán Martínez, 2018), se observan huellas de pterosaurios y algunas icnitas aisladas terópodos. Este nivel (A4, de Hernán Martínez, 2018) se sitúa 1 m por debajo del nivel principal (A7 de Hernán Martínez, 2018) del yacimiento, en el que son muy abundantes las huellas terópodos (unas 425 huellas agrupadas en 36 rastros y huellas aisladas; Moratalla *et al.*, 2003).

Las icnitas de pterosaurios se localizan en dos zonas diferentes. La mayor parte de las huellas se sitúan en la capa LCA-1 descrita por Moratalla (1993), Moratalla *et al.* (2003) y Moratalla y Hernán (2009), habiéndose encontrado, además, dos icnitas nuevas (LCA-2-PT-1m y 1p) en el mismo resalte, pero a unos 75 m más al NO (LCA-2).

El primer afloramiento muestra 2 pares de huellas mano-pie, dos huellas de manos aisladas (una completa y otra incompleta) y marcas muy difusas de otras huellas semejantes (Figs. 3A y 4A). Posiblemente todas las icnitas sean

subhuellas teniendo en cuenta sus bordes no muy bien definidos, las impresiones de los dedos gruesos de terminación redondeada y la ausencia de marcas de almohadillas.

La calidad de preservación de todas ellas es baja (grado 1 de Marchetti *et al.*, 2019; aunque en algún caso puede llegar a grado 2). Las huellas de las manos son pequeñas ($L_m = 8,94$ cm) (Tabla 1), poco profundas, más largas que anchas ($L_m/A_m = 2,09$), tridáctilas, con las impresiones de los dedos de tamaño creciente del I al III. La terminación de los dedos es redondeada, no apreciándose marca de uñas. Las longitudes relativas medias de los mismos son 1:1,3:1,9. Los ángulos interdigitales varían de unas huellas a otras (ver Tabla 1), oscilando el I[^]II entre 60° y 94,6°, el II[^]III entre 31° y 49° y el I[^]III entre 92,6° y 119,5°.

Las dos únicas improntas de pies, cuyos bordes no se observan claramente o están incompletos están asociadas con las huellas de manos LCA-PT-2 y LCA-PT-3 (Fig. 4A), formando con ellas ángulos parecidos (unos 59° y 65,5°, respectivamente). La huella de pie completa, es plantigrada, con forma de U (subrectangular), con bordes difusos y escasa profundidad. Por ello, es difícil delimitarla y fue confundida con una huella de mano parcial por Moratalla y Hernán (2009). El empleo de fotogrametría 3D permite ver que es ligeramente más profunda en sus extremos, sobre

todo en la zona del talón. No se observan marcas claras de dedos. El talón es redondeado y su anchura es similar a la de la huella completa. La otra icnita de pie sólo permite ver claramente el talón, el cual está relleno de sedimento. Su forma y anchura es similar a la de la otra huella de pie. En la misma capa es posible reconocer la existencia de un nuevo pie asociado a la huella de mano LCA-PT-1, aunque su mala calidad de preservación no permite afirmarlo (Figs. 3A y 4A). Su forma sería similar a la de los otros casos. Las longitudes de las manos y pies son muy semejantes, con una relación L_p/L_m de 1,08.

Unos metros más al NO, en la segunda zona (LCA-2), se ha encontrado un par mano-pie de icnitas de pterosaurio (LCA-2-PT-1m y LCA-2-PT-1p (Figs. 3B y 4B, respectivamente) bastante bien conservado, con una calidad de preservación que en el caso de la mano alcanza el grado 2 de Marchetti *et al.* (2019).

La huella del pie LCA-2-PT-1p tiene forma de V, con talón muy estrecho. Es de tamaño pequeño-medio ($L_p = 9,97$ cm; $A_p = 2,28$ cm) (Tabla 1) y mucho más larga que ancha ($L_p/A_p = 4,37$). No se observan marcas claras de dedos, aunque se insinúan las marcas de uñas de los dedos laterales. El ángulo total de abertura de la impresión de los dedos es de unos 12°.

Huellas	Lp (mm)	Ap (mm)	Lp/Ap	α (°)	LD/LMe	Lm (mm)	Am (mm)	Lm/Am	Lp/Lm	LI:LII:LIII	I [^] II [^] III (°)	Dpm (mm)	β (°)
LCA-PT01 m	-	-	-	-	-	90,79	55,46	1,64	-	1:1,08:1,57	60-49-114	-	-
LCA-PT04 p	95,99	28,52	3,36	< 3	0,73	-	-	-	-	-	-	-	-
LCA-PT02 m	-	-	-	-	-	89,18	38,98	2,29	1,08	1:1,23:1,97	60-34-93	126	59
LCA-PT05 p	> 41	25,78	-	< 3	-	-	-	-	-	-	-	-	65,50
LCA-PT03 m	-	-	-	-	-	88,22	37,90	2,33	-	1:1,45:2,19	95-31-120	-	-
Medias	95,99	27,15	3,36	< 3	0,73	89,38	44,1	2,09	1,08	1:1,25:1,91	72-38-109	126	62,30
LCA-2-PT01 p	99,7	22,8	4,37	11,60	0,675	-	-	-	0,99	-	-	85,50	42,50
LCA-2-PT02 m	-	-	-	-	-	100,40	44,3	2,27	-	1:1,11:1,35	95-47-142	-	-
LCB-PT-R1-1p	83,66	27,55	3,04	< 3	0,72	-	-	-	0,96	-	-	149,30	8
LCB-PT-R1-1m	-	-	-	-	-	87,37	37,24	2,35	-	1:1,36:2,13	110-51-161	-	-
LCB-PT-R1-2p	85,29	28,00	3,04	< 3	0,77	-	-	-	0,96	-	-	131,4	31,30
LCB-PT-R1-2m	-	-	-	-	-	89,30	35,68	2,50	-	1:1,42:2,41	110-24-141	-	-
LCB-PT-R1-3p	83,32	26,23	3,17	< 3	0,77	-	-	-	0,90	-	-	140,16	15
LCB-PT-R1-3m	-	-	-	-	-	92,07	40,83	2,25	-	1:1,39:2,09	102-47-144	-	-
Medias	84,09	27,23	3,08	< 3	0,75	89,58	37,95	2,37	-	1:1,39:2,21	107-50-149	140,30	18,10
LCB-PT-R2-1p	66,51	17,52	3,80	< 3	0,69	-	-	-	0,81	-	-	67,53	40
LCB-PT-R2-1m	-	-	-	-	-	82,10	35,19	2,33	-	1:1,80:2,84	105-37-141	-	-
LCB-PT-R2-3p	78,73	19,90	3,95	< 3	0,77	-	-	-	0,88	-	-	95,63	41
LCB-PT-R2-3m	-	-	-	-	-	89,04	30,68	2,90	-	1:1,89:2,63	98-39-143	-	-
LCB-PT-R2-5p	70,83	18,18	3,90	< 3	0,75	-	-	-	0,88	-	-	71,26	43
LCB-PT-R2-5m	-	-	-	-	-	80,44	28,16	2,86	-	1:1,63:2,19	101-52-151	-	-
Medias	72,02	18,53	3,88	< 3	0,74	83,86	31,34	2,70	-	1:1,77:2,55	101-43-145	78,14	41,30
LCB-PT-1p	100,12	27,37	3,65	< 3	0,67	-	-	-	1,00	-	-	131	43,50
LCB-PT-1m	-	-	-	-	-	100,48	40,10	2,51	-	1:1,30:2,40	103-36-137	-	-
LCB-PT-2m	-	-	-	-	-	96,42	39,19	2,46	-	1:1,30:2,22	89-57-147	-	-
LCB-PT-3p	76,37	20,00	3,82	8,80	0,72	-	-	-	0,90	-	-	80	37
LCB-PT-3m	-	-	-	-	-	85,17	33,88	2,51	-	1:1,84:2,68	83-30-111	-	-
LCB-PT-4p	97,25	24,92	3,90	< 3	0,88	-	-	-	0,90	-	-	92	45
LCB-PT-4m	-	-	-	-	-	108,37	42,94	2,52	-	1:1,10:1,88	79-46-126	-	-
LCB-PT-5m	79,20	20,86	3,79	< 3	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-
LCC-1-PT-1p	100,63	28,90	3,48	< 3	0,68	-	-	-	1,04	-	-	102,70	25
LCC-1-PT-1m	-	-	-	-	-	96,79	35,39	2,73	-	1:1,40:1,91	97-38-132	-	-
LCC-1-PT-2p	94,48	26,28	3,59	5,50	0,70	-	-	-	-	-	-	182,93	48
LCC-1-PT-2m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Medias	97,55	27,59	3,54	-	0,69	96,79	35,39	2,73	1,04	1:1,40:1,91	97-38-132	142,80	36,50
LCC-2-PT-1p	67,45	19,41	3,48	< 5	0,79	-	-	-	1,02	-	-	126,40	41,50
LCC-2-PT-1m	-	-	-	-	-	65,99	25,19	2,62	-	1:1,28:2,15	86-26-107	-	-
LCC-2-PT-2p	66,76	19,14	3,49	< 5	0,82	-	-	-	1,01	-	-	271,80	23,50
LCC-2-PT-2m	-	-	-	-	-	65,95	26,35	2,50	-	1:1,40:1,90	102-38-131	-	-
LCC-2-PT-3p	79,32	27,71	2,86	8,50	0,80	-	-	-	0,98	-	-	77,08	60,50
LCC-2-PT-3m	-	-	-	-	-	80,96	30,62	2,64	-	1:1,31:1,90	118-30-146	-	-

Otras abreviaturas utilizadas en el resto de medidas morfométricas son las siguientes: Lp – Longitud del pie; Lm – Longitud de la mano; Ap – Anchura del pie; Am – Anchura de la mano; I[^]II[^]III ángulos interdigitales en las huellas de las manos; LI, LII, LIII = longitudes de los dedos I, II y III de la mano; α = ángulo de abertura total de los dedos del pie; LD - longitud de la zona de los dedos del pie; LMe -Longitud de la zona de los metatarsianos del pie; Dpm distancia pie-mano.

Medias de L relativa de los dedos: 1:1,58:2,43

Orientación media de los pies en LCB: en R1, 16,30°; en R2, 26,20°

Orientación media de las manos en LCB: en R1, 6,60°; en R2, 11,70°

Paso LCC-2-1p-2p = 266,90 mm

Paso LCC-2-1m-2m = 379,80 mm

Tabla 1.- Datos morfométricos de las huellas de pterosaurio de los yacimientos de Los Cayos A, Los Cayos B y Los Cayos C (Cornago, La Rioja).



Fig. 3.- Vistas de los yacimientos con huellas de pterosaurios de Los Cayos A. A. Yacimiento LCA-1. B. Yacimiento LCA-2.

La huella de la mano LCA-2-PT-1m también es de tamaño pequeño-medio ($Lm = 10,0$ cm; $Am = 4,43$ cm), más larga que ancha ($Lm/Am = 2,27$), con marcas de dedos de longitudes muy desiguales, aumentando del I al III ($LI = 4,35$ cm; $LII = 4,83$ cm; $LIII = 5,86$ cm) lo que hace que sus longitudes relativas sean 1: 1,11:1,35. El ángulo entre las marcas de los dedos I y II es superior al medido entre las de los dedos II y III ($I^{\wedge}II = 95^{\circ}$; $II^{\wedge}III = 46,5^{\circ}$; $I^{\wedge}III = 141,5^{\circ}$). Las impresiones de los dedos terminan en uñas,

que sólo se ven bien en el dedo I, estando, en este caso, muy curvada.

Los tamaños de ambas icnitas son prácticamente iguales ($Lp/Lm = 0,99$) (Tabla 1) y el eje de la huella del pie forma un ángulo con el eje del dedo III de la mano de $42,5^{\circ}$, un poco menor al que se ha observado en los otros pares de huellas pie-mano de LCA-1.

Las medidas de estas huellas nos indican que la altura acetabular (h) inferida de los autores de las mismas podría estimarse en 32 cm para los pterosaurios de LCA-1 y 33 cm para el de LCA-2 (Tabla 3).

Los Cayos B

Este yacimiento está constituido por areniscas de grano fino, generalmente de color pardo en superficie, aunque las que poseen las huellas de pterosaurios son limosas y grises. Se constata la presencia de mica bajo la fina lámina en la que están impresas las icnitas.

Este yacimiento, proporciona gran cantidad de huellas terópodos (Moratalla, 1993; Moratalla *et al.*, 2003), pero hasta ahora no se había visto ninguna huella de pterosaurio. La revisión de sus capas en un extremo más al norte ha permitido encontrar hasta 22 huellas de pterosaurios, la mayor parte de las cuales forman pares pie-mano e incluso un rastro completo y parte de otro (Figs. 5 y 6). Junto a ellas, se aprecian huellas de difícil atribución.

Se considera que la calidad de preservación de todas ellas es baja-media (grado 1-2 de Marchetti *et al.*, 2019).

Las huellas mejor conservadas son las de manos, pues a consecuencia de su mayor profundidad han sufrido menos los efectos de la erosión. Éstas son tridáctilas, más largas que anchas ($Lm/Am > 2$) (Tabla 1), con marcas de dedos finos, alargados y de terminación acuminada; fuertemente

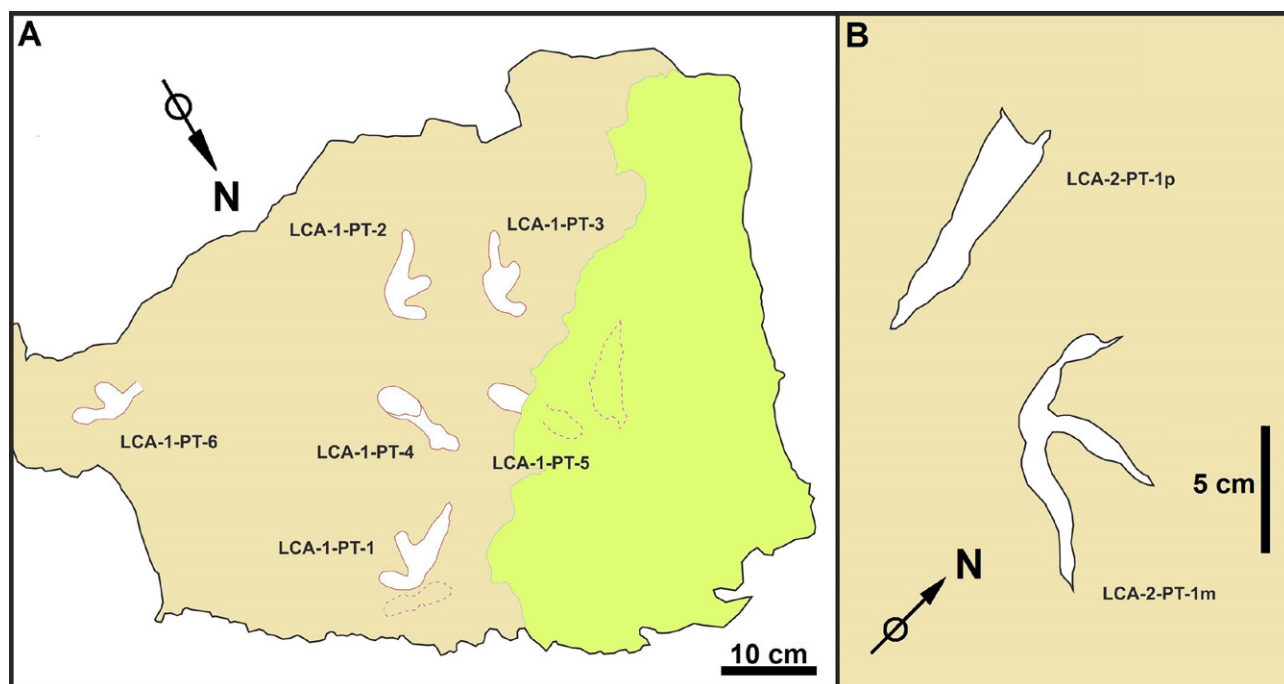


Fig. 4.- A. Plano con las huellas de pterosaurios del yacimiento LCA-1. La zona verde corresponde a una capa fina situada ligeramente por encima de la capa que contiene las huellas principales. B. Dibujo interpretativo del par de huellas pie-mano del yacimiento LCA-2.

RASTRO LCB-PT-R1	P (cm)	z (cm)	AP (°)	RASTRO LCB-PT-R2	P (cm)	z (cm)	AP (°)
LCB-PT-R1-1p - LCB-PT-R1-2p	34,95	-	-	LCB-PT-R2-1m - LCB-PT-R2-2m	29,70	-	-
LCB-PT-R1-2p - LCB-PT-R1-3p	36,42	-	-	LCB-PT-R2-2m - LCB-PT-R2-3m	31,10	-	-
LCB-PT-R1-1m - LCB-PT-R1-2m	39,69	-	-	LCB-PT-R2-1p - LCB-PT-R2-3p	-	43,35	-
LCB-PT-R1-2m - LCB-PT-R1-3m	34,40	-	-	LCB-PT-R2-3p - LCB-PT-R2-5p	-	35,88	-
LCB-PT-R1-1p - LCB-PT-R1-3p	-	66,12	133,82	LCB-PT-R2-1m - LCB-PT-R2-3m	-	48,49	-
LCB-PT-R1-1m - LCB-PT-R1-3m	-	65,39	115,56	LCB-PT-R2-3m - LCB-PT-R2-5m	-	33,58	-
-	-	-	-	LCB-PT-R2-1m - LCB-PT-R2-3m	-	-	92,30
Medias pies	35,68	66,12	133,82	-	-	39,61	-
Medias manos	37,04	65,39	115,56	-	30,40	41,03	92,30

Anchura interna de rastro de las huellas de los pies en LCB-PT-R1, ARi1p = 12,10 cm; Anchura interna de rastro de las huellas de las manos en LCB-PT-R1, ARi1m = 18,83 cm y en LCB-PT-R2, ARi2m = 19,47 cm
Anchura externa de rastro de las huellas de los pies en LCB-PT-R1, ARE1p = 19,83 cm; Anchura externa de rastro de las huellas de las manos en LCB-PT-R1, ARE1m = 26,42 cm y en LCB-PT-R2, ARE2m = 26,80 cm. Relación ARi1p/Ap = 4,40

Tabla 2.- Pasos, zancadas y ángulos de paso en los rastros LCB-R1 y LCB-R2 de los yacimientos de Los Cayos B (La Rioja, España). Otros datos aislados.

asimétricas a consecuencia de mostrar huellas de dedos de muy desigual longitud, siendo menor las de los dedos I y las más largas las de los dedos IIII (relación media entre ellos de 1:1,3:2,4 en LCB-PT-1m; 1:1,4:2,2 en las huellas del rastro; y 1:1,7:2,6 en el rastro incompleto de huellas más pequeñas. Los ángulos interdigitales son muy desiguales, alcanzando valores más elevados entre I^{II} que entre II^{III}.

Las huellas de los pies no están bien conservadas, tanto por su peor calidad morfológica, como por los efectos de la erosión ambiental. Tienen forma de subrectangulares (forma de U), mucho más largas que anchas ($Lp/AP > 3$) (Tabla 1). No muestran marcas claras de dedos, aunque es posible la existencia de señales del final de los mismos en algunas icnitas; su talón es de similar anchura que el resto de la huella. Los ejes de las huellas de pies y de las manos no coinciden, mostrando ángulos entre ellos poco elevados en el rastro y más elevados en el resto. En los rastros, las huellas de los pies se orientan bastante hacia fuera de los mismos (unos 16° y 26°, en R1 y R2, respectivamente), mientras las huellas de las manos se disponen más paralelas a la línea media de los rastros dirigiéndose hacia el interior de los mismos (unos 6,6° en R1 y 11,7° en R2). En el rastro R1, los pasos de las manos son ligeramente superiores a los de los pies (paso medio de las manos = 37 cm; paso medio de los pies = 35,7 cm) mientras ocurre lo contrario en el caso de la zancada. Tanto el rastro completo, como el incompleto, son de vía ancha (anchura interna del rastro de los pies varias veces superior a la anchura de los mismos) (Tabla 2), siendo más anchos los de las manos que los de los pies: ARi1p de unos 12,10 cm, mientras la externa, ARE1p, es de 19,8 cm; ARi1m es de unos 18,8 cm y la externa, ARE1m = 26,4 cm; ARi2m = 19,5 cm y ARE2m = 26,8 cm; ARi1p/Ap = 4,4). Aun siendo las huellas del rastro R2 más pequeñas que las del rastro R1, su anchura es relativamente mayor. Como consecuencia, los ángulos de paso (AP) son más pequeños (92,3° frente a 115,6°). Esa

diferencia de anchura se relaciona bien con la velocidad de desplazamiento de sus autores: menor anchura a mayor velocidad de desplazamiento. Así mismo, la orientación de las manos y pies con respecto al sentido de avance disminuye con la velocidad de desplazamiento de los autores de las huellas, disponiéndose más paralelos a la línea media de los rastros.

La altura acetabular estimada de los autores de las huellas oscila entre 24,5 cm y 32,5 cm (Tabla 3), y la velocidad de desplazamiento deducida a partir de los dos únicos rastros presentes es de 1,71 m/s (6,16 km/h) y 0,86 m/s (3,11 km/h).

Los Cayos C

El yacimiento de Los Cayos C está constituido por areniscas de grano fino de origen fluvial (Hernán Martínez, 2018).

Las huellas de pterosaurios se han hallado en dos afloramientos: uno de ellos (LCC-1) (Fig. 7A) era descrito por



Fig. 5.- Vista del yacimiento con huellas de pterosaurios de Los Cayos B (LCB).

Huellas	Lp (mm)	h (cm)	z (m)	v (km/h)	Huellas	Lp (mm)	h (mm)	z (m)	v (km/h)
LCA-1-PT-4	95,99	32,20	-	-	LCA-2-PT-1p	99,70	33,39	-	-
LCB-PT-R1	84,09	28,39	0,66	6,15	LCB-PT-R2	72,02	24,53	0,40	3,16
LCB-PT-1p	100,12	33,52	-	-	LCB-PT-3p	76,37	25,92	-	-
LCB-PT-4p	97,25	32,60	-	-	LCB-PT-5p	79,20	26,82	-	-
LCC-1-PT-1p	97,55	32,70	-	-	LCC-2-PT-2p	67,11	23,04	-	-

Tabla 3.- Altura del acetábulo (h) y velocidad de desplazamiento de los autores de las huellas de pterosaurios del Grupo Enciso (La Rioja, España).

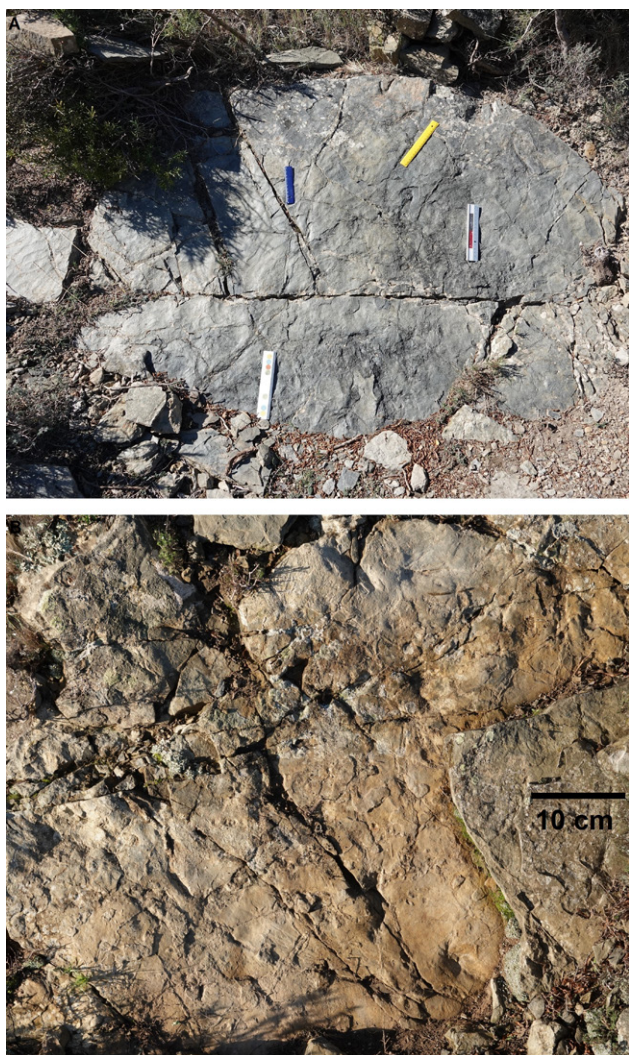


Fig. 7.- Yacimientos de huellas de pterosaurios de Los Cayos C (LCC). A. Vista del yacimiento LCC-1. B. Vista del yacimiento LCC-2.

Los otros dos pares pie-mano están mucho peor conservados, pero muestran las mismas características que en el par principal. El primero de ellos forma parte de un posible rastro junto con el par LCC-2-1m-1p. En este caso, la huella de la mano está mucho más cerca de la del pie. El tercer par pie-mano se encuentra a gran distancia de los otros dos, por lo que no se relaciona directamente con ellos. Sus características son semejantes a las del par principal, pero su tamaño es mayor.

Las alturas acetabulares de los pterosaurios autores de las huellas de LCC-1 y LCC-2, obtenidas siguiendo el método de Li *et al.*, (2025), son de 33 cm y 23 cm, respectivamente (Tabla 3).

Discusión

Las huellas de pterosaurios han sido desde el mismo momento de su identificación (Stokes, 1957) un tema de controversia (Lockley *et al.*, 2008). Al principio se dudó que sus autores fueran pterosaurios, por ejemplo, Padian y Olsen (1984) creyeron que habían sido ocasionadas por cocodrilos. Posteriormente, el debate giró en torno a la postura que adoptaban al desplazarse por tierra: bípeda vs. cuadrúpeda, y digitigrada vs. plantigrada (Padian, 1983; Lockley *et al.*, 1995; Bennett, 1997; Chatterjee y Templin, 2004). Últimamente se han puesto en duda algunos icnogéneros e icnoespecies o sus características (por ejemplo, Billon-Bruyat y Mazin, 2003, Sánchez-Hernández *et al.*, 2009; Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2016; Wroblewski, 2023; Heredia *et al.*, 2024).

Uno de los problemas con que nos encontramos con este tipo de huellas surge a la hora de clasificar icnotaxonómicamente a las mismas. Hoy por hoy, no existen criterios claros y únicos en este sentido. La mayor parte de los investigadores tienen en cuenta la forma de los pies y manos, y algunas variables morfométricas (Lp/Ap, Lm/Am, LI:LI-I:LI-III, ángulos interdigitales entre los dedos de las manos

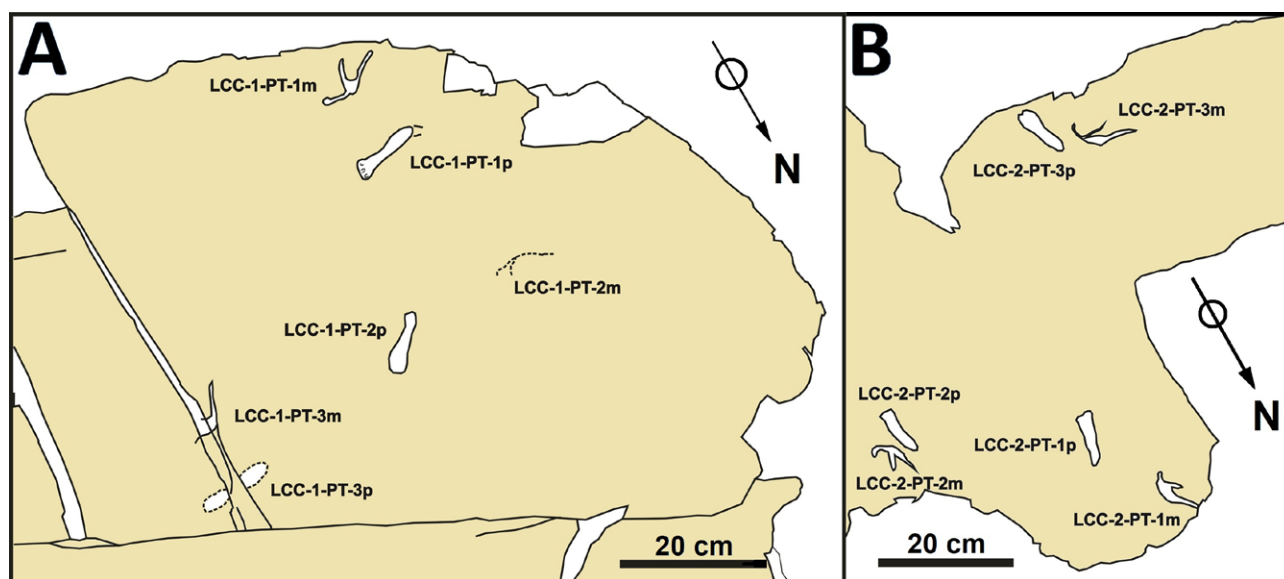


Fig. 8.- Planos de los yacimientos de huellas de pterosaurios de Los Cayos C (LCC). A. Plano del yacimiento LCC-1. B. Plano del yacimiento LCC-2.

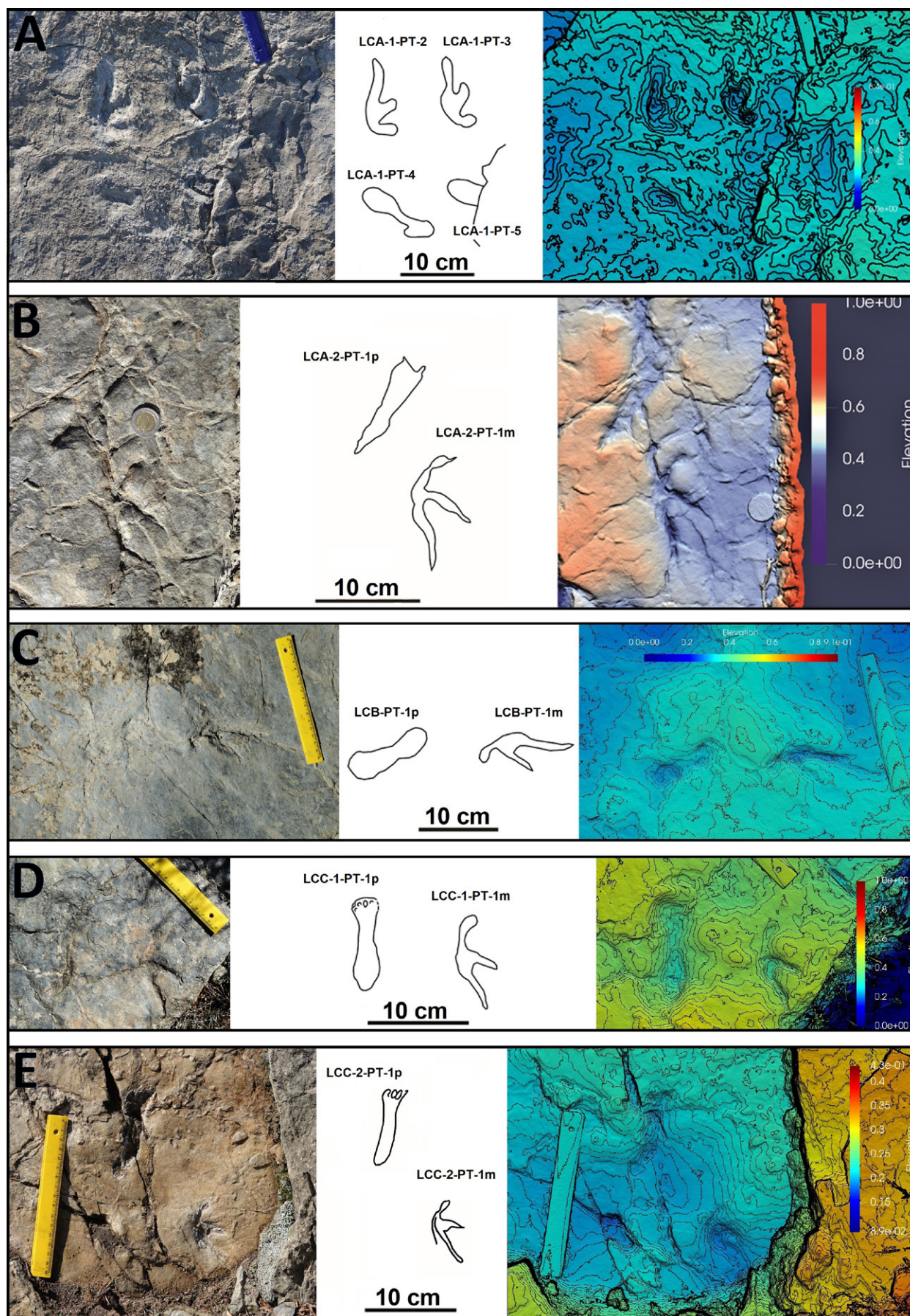


Fig. 9.- Huellas principales de los yacimientos de Los Cayos. A. Huellas de LCA-1. B. Huellas de LCA-2. C. Huellas de LCB. D. Huellas de LCC-1. E. Huellas de LCC-2. En cada grupo de huellas, la escala es la misma. Profundidad de las huellas sin escala.

(I[^]II, II[^]III, I[^]III) o la orientación de los pies y manos en los rastros (cuando existen), aunque no hay unanimidad en su uso. Una pauta utilizada con demasiada frecuencia para diferenciar estas huellas es el tamaño de las improntas, aunque esa diferencia puede ser una consecuencia de la ontogenia de sus autores. Sin embargo, en la práctica, hay que hacer notar que la gran mayoría de las huellas pequeñas de pterosaurios están incluidas en el icnogénero *Pteraichnus*, mientras las más grandes (menos frecuentes) se suelen encuadrar en otros icnogéneros, como *Purbeckopus* Delair, 1963, *Agadirichnus* Ambroggi y De Lapparent, 1954, o *Haenamichnus* Hwang *et al.*, 2002.

En el caso de las huellas del Grupo Enciso, sus características morfológicas son propias de las huellas de pterosaurios pterodactyloides (Lockley *et al.*, 1995): huellas dispuestas en rastros de un animal cuadrúpedo, con pies plantígrados en los que se aprecian las marcas de cuatro dedos, e icnitas de manos tridáctilas, muy asimétricas, situadas detrás de las de los pies (Lockley *et al.*, 1995, Bignon-Bruyat y Mazin, 2003, Lockley *et al.*, 2008).

Morfotipos de huellas de pterosaurios en Los Cayos

Las huellas que encontramos en los yacimientos de Los Cayos, en función de sus características morfométricas descritas, se pueden agrupar en dos morfotipos: A y B.

El morfotipo A es el más común (Figs. 9A, 9C, 9D, 9E; Tablas 1, 2 y 3). En él se incluyen 32 icnitas de las cuales las icnitas de los pies se caracterizan por poseer forma de U (subrectangulares según Pascual-Arribas y Hernández-Medrano, 2016), son de tamaño pequeño-mediano (entre 7,6 y 10,8 cm), son mucho más largas que anchas ($Lp/Ap = 3,35-3,55$), con los bordes laterales casi paralelos (ángulos de divaricación total de sus dedos de menos de 5°), sin marcas claras de dedos (excepto las partes distales de algunas icnitas donde se marcan las terminaciones de los dedos II, III y IV de igual longitud), y talón redondeado con una anchura similar al resto de la huella.

Las huellas de las manos son tridáctilas, se sitúan detrás de las de los pies y lateralmente a ellas. Son también de tamaño pequeño-medio ($Lm = 7,3-11,5$ cm), más largas que anchas ($Lm/Am = 2-2,9$) y muestran marcas de tres dedos que aumentan su tamaño desde el I al III, exhibiendo una gran variación en sus tamaños relativos (proporción media de los dedos = 1:1,5:2,5). Los ángulos interdigitales son muy desiguales, observándose que el ángulo I[^]II es siempre superior al II[^]III (media del I[^]II de 94,4°; media del II[^]III de 38,7°). Estas huellas forman ángulos de 20°-40° con las de los pies. La mayor parte de estas huellas forman pares pie-mano, pero en un caso conforman un rastro con tres pares pie-mano. También se ha observado un rastro incompleto en el que los pares de huellas pie-mano solo son visibles en el lado izquierdo del mismo (posiblemente porque en el lado derecho hay una zona fractura que ha podido ocasionar la desaparición de las huellas de ese lado). Las huellas del único rastro completo muestran marcas de manos casi paralelas a la línea media del mismo, mientras las de los pies se orientan hacia afuera, generalmente bastante giradas. El rastro es de vía ancha, en el que los ángulos de

paso de los pies varían entre 116° y 134° y los valores medios de pasos y zancadas son de 37 cm para el caso de las manos y ligeramente menor para los pies (35,7 cm).

El morfotipo B (Fig. 9B; Tablas 1 y 3) sólo está representado por un par pie-mano del yacimiento de Los Cayos A-2. En este caso, la huella del pie tiene forma de V, mucho más larga que ancha ($Lp/Ap = 4,37$), con un ángulo total de divaricación de los dedos de sólo 12°. No hay marcas claras de dedos, aunque se insinúan las terminaciones de los dos más externos (I y IV). Los bordes laterales no son paralelos y delimitan un talón agudo y estrecho. La falta de marcas claras de dedos no permite saber si los metatarsianos eran o no más largos que los dedos. Detrás de esta huella y lateralmente a ella se sitúa la de la mano, que es más larga que ancha ($Lp/Ap = 2,27$), tridáctila, de dedos muy desiguales, que aumentan su longitud del I al III y cuyas longitudes relativas son 1:1,11:1,35, es decir, longitudes relativas diferentes a las del morfotipo A, mostrando los dedos I y II de similar longitud. La misma forma un ángulo de unos 42,5° con la del pie. Los ángulos interdigitales son desiguales, siendo superior el correspondiente a los dos primeros dedos (I[^]II = 95°; II[^]III = 46,5°). Como se ve, gran parte de sus características son semejantes a las del morfotipo A, excepto en los valores de α de las huellas de los pies y en la proporción de los dedos de la mano. Es posible que este morfotipo B sea una versión del morfotipo A a consecuencia de efectos extramorfológicos.

Los dos morfotipos de estos yacimientos muestran características diferentes que las de del resto de la Cuenca de Cameros, por lo que se consideran morfotipos nuevos. Así mismo, como se describe más adelante, no se corresponden claramente con las de muchas de las icnoespecies e icnotaxones conocidos, algunas de las cuales quizás deban reasignarse.

Comparación de las huellas de los yacimientos de Los Cayos con otras huellas de pterosaurios

Huellas de Los Cayos vs. Rhamphichnus

Rhamphichnus Mazin y Pouech, 2020 es un icnogénero que fue definido en el yacimiento de Crayssac (Lot, Francia). Este yacimiento, de edad Titoniense inferior, hasta ahora había proporcionado una cantidad muy elevada de huellas de pterosaurios, incluidas, en un principio, en el icnogénero *Pteraichnus* (Mazin *et al.*, 1995, 1997).

Hace muy poco tiempo, entre el resto de las huellas de pterosaurios del yacimiento de Crayssac se ha diferenciado un grupo de icnitas de características muy diferentes. Con ellas Mazin y Pouech (2020) crearon un icnogénero y tres icnoespecies nuevas (*Rhamphichnus crayssacensis* Mazin y Pouech, 2020, *Ramphichnus pereiraensis* Mazin y Pouech, 2020 y *Ramphichnus lafaurii* Mazin y Pouech, 2020) y las asociaron a pterosaurios no pterodactyloides.

Estas huellas también se diferencian mucho de las encontradas en los yacimientos de Los Cayos. En principio, muestran una serie de anomalías con respecto a las huellas de pterosaurios, en general. Así, las huellas de las manos exhiben, en muchos casos, 4 marcas de dedos, algo que no

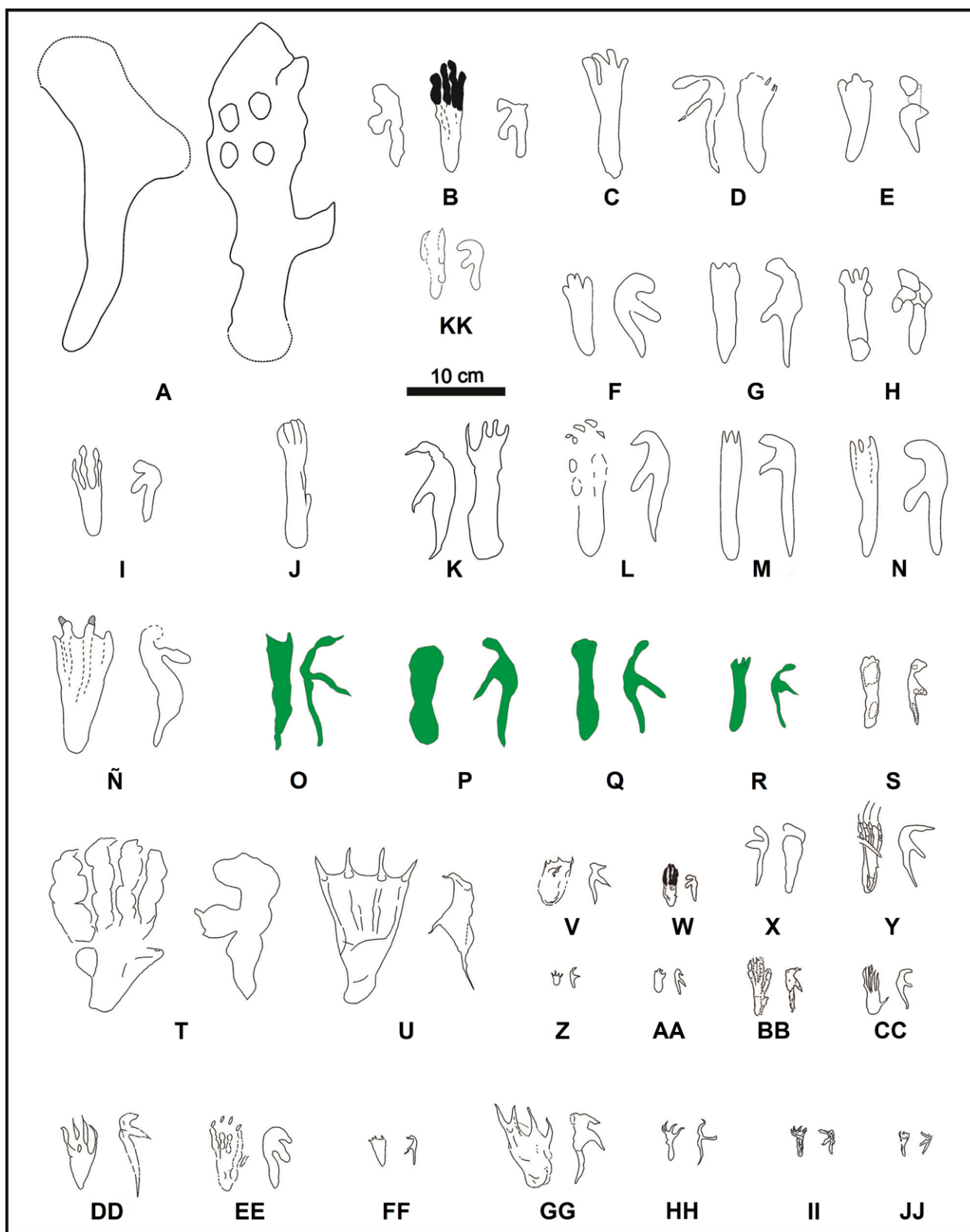


Fig. 10.- Comparación entre las huellas de Los Cayos y las huellas de pies y manos de pterosaurios más conocidas (las huellas de Los Cayos, en verde). A. *Haenamichnus uhangriensis*, Formación Uhangri, Cretácico Superior, Jeollanam, Corea del Sur (Hwang *et al.*, 2002). B. *Pteraichnus junggarensis*, Formación Shengjinkou, Cretácico Inferior, China (Li *et al.*, 2025). C. *Pteraichnus* isp. Formación Cerro del Pueblo, Campaniense, El Pelillal, Coahuila, México (Rodríguez-de la Rosa, 2003). D. *Pteraichnus* isp. Formación Daegu, Cretácico inferior, Ulsan, Daegok-ri, Corea del Sur (Ha *et al.*, 2018). E. *Pteraichnus* isp. Formación Jiaguan, Cretácico inferior, Shiminogou, Gulín, Sichuan, China (Xing *et al.*, 2016). F. *Pteraichnus* isp., Formación Río Limay, Cretácico inferior-superior, Lago Ezequiel Ramos Mexía, Neuquén, Argentina (Calvo & Lockley, 2001). G. *P. yangouxiaensis*, Formación Yangouxia, Cretácico inferior, Gansu China (Peng *et al.*, 2004). H. *Pteraichnus* isp., Formación Jiaguan, Cretácico inferior, Qijiang, China (Xing *et al.*, 2013). I. *Agadirichnus elegans*, Maastrichtiense, Cretácico superior, Agadir, Marruecos (Masrour *et al.*, 2018). J. *Pteraichnus* isp.

Campaniense, Cretácico superior, Rancho San Francisco, Coahuila, México (en estudio). K. *Pteraichnus* isp. Campaniense, Cretácico superior, Coahuila, México (en estudio). L. *P. yangouxiaensis*, Formación Yangouxia, Cretácico inferior, Gansu, China (Peng *et al.*, 2004). M. *Pteraichnus* isp., Formación Haman, Cretácico inferior, Sinsu Island, Corea del Sur (Kim *et al.*, 2006). N. *Pteraichnus* isp. Cretácico inferior, Liujixia, China (Xing *et al.*, 2013). Ñ. *Pteraichnus* isp., Grupo Tugulu, Cretácico inferior, Huangyangquan, Wuerho, Xinjiang, China (He *et al.*, 2013). O. Morfotipo A LCA-2, Grupo Enciso, Barremiense-Aptiense, Cretácico inferior, La Rioja, España. P. Morfotipo B LCB, Grupo Enciso, Barremiense-Aptiense, Cretácico inferior, La Rioja, España. Q. Morfotipo A LCC-1, Grupo Enciso, Barremiense-Aptiense, Cretácico inferior, La Rioja, España. R. Morfotipo A LCC-2, Grupo Enciso, Barremiense-Aptiense, Cretácico inferior, La Rioja, España. S. *Pteraichnus* isp. Formación Qugezhuang, Cretácico inferior, Wenxiyuan, Shandong, China (Xing *et al.*, 2012). T. *Purbeckopus pentadactylus*, Cretácico inferior, Dorset, Inglaterra (Delair, 1963). U. *P. palacieisaenzi*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, Soria, España (Pascual-Arribas *et al.*, 2015). V. *P. cidacoi*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, Soria, España (Fuentes Vidarte *et al.*, 2004a). W. *P. wuerhoensis*, Formación Shengjinkou, Cretácico inferior, Wuerho, China. (Li *et al.*, 2021). X. *Pteraichnus* isp., Formación Feitianshan, Cretácico inferior, Zhaojue, Sichuan, China (Xing *et al.*, 2015). Y. *P. dongyangensis*, Formación Jinhua, Cretácico inferior, Zhejiang, China (Chen *et al.*, 2013). Z. *P. parvus*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, Soria, España (Meijide Calvo, 2001). AA. *P. manuli*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, (Fuentes Vidarte *et al.*, 2004a). BB. *Pteraichnus* isp., Jurásico superior, Wierzbica Quarry, Polonia (Elgh *et al.*, 2019). CC. *Pteraichnus* isp. Formación Jangdong, Cretácico superior, Hwasun Seoyuri, Corea del Sur (Jung *et al.*, 2022). DD. *P. saltwashensis*, Formación Morrison, Jurásico superior, Arizona, USA (Stokes, 1957). EE. *P. stokesi*, Formación Sundance, Jurásico superior, Wyoming, USA (Lockley *et al.*, 1995). FF. *P. gracilis*, Formación Jinju, Albiense, Cretácico Inferior, Chungmugong-dong, Jinju Innovation City, Corea del Sur (Ha *et al.*, 2022). GG. *P. vetustior*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, Soria España (Meijide Fuentes, 2001; Fuentes Vidarte *et al.*, 2004a). HH. *P. nipponensis*, Formación Kitadani, Cretácico inferior, Fukui, Japón (Lee *et al.*, 2010). II. *P. longispodus*, Formación Huérteles, Berriasiense, Cretácico inferior, Soria, España (Fuentes-Vidarte *et al.*, 2004b). JJ. *P. koreanensis*, Formación Hasandong, Cretácico inferior, Hadong, Corea del Sur (Lee *et al.*, 2008). KK. *Pteraichnus* isp. Formación North Horn, Maastrichtiense, Cretácico superior, Cottonwood Creek, Utah, USA (Lockley, 1999).

se corresponde con lo esperado en las huellas de pterosaurios; las improntas de las manos se sitúan delante de las de los pies, circunstancia que no ha sido observada en ningún caso de las huellas de pterosaurios (excepto cuando un rastro cambia de dirección fuertemente); las marcas de los dedos de los pies son muy alargadas, finas y parten desde casi el talón, algo que no es propio tampoco de las huellas pterosaurianas en las que los dedos se separan después de la marca de la zona metatarsal (para un análisis más detallado y errores en la descripción de las mismas, ver Wroblewski, 2023). Por el contrario, estas huellas poseen características que las asemejan a huellas de lagartos y cocodrilos (Wroblewski, 2023), siendo los primeros los candidatos más lógicos dadas las formas de pies y manos: icnitas de manos situadas delante de las de los pies, con hasta 5 marcas de dedos delgados, huellas de pies pentadáctilos con un dedo V más corto que los otros 4 y de longitud poco variable; curvatura de muchos de los dedos, tanto de pies como de manos, aberturas totales de los dedos de los pies y manos amplias. Por todo ello, consideramos que las huellas de *Rhamphichnus* no fueron creadas por pterosaurios, sino más bien por lagartos, cocodrilos u otro tipo de reptil.

Huellas de Los Cayos vs. *Pteraichnus*

El icnogénero *Pteraichnus* fue creado por Stokes (1957) (Fig. 10DD) con huellas del Jurásico superior de la Formación Morrison (Arizona, EUA). Aunque en un principio se consideró que este icnogénero no era propio de huellas de pterosaurios (Padian y Olsen, 1984 lo asociaron a cocodrilos), el estudio de numerosas huellas, descubiertas posteriormente, permitió afianzarlo como propio de estos reptiles voladores. A partir de ese momento, la mayor parte de las icnitas de pterosaurios se incluyeron en este icnogénero, creándose numerosas icnoespecies. Sin embargo, muchas de ellas no poseen las características diagnósticas propias de *Pteraichnus*. Así, hay huellas de pies

que tienen forma de U (*P. parvus*, *P. cidacoi* o *P. manuli*; Figs. 10Z, 10V, 10AA, respectivamente) o con forma de Y *Pteraichnus nipponensis* Lee *et al.*, 2010 o *P. longispodus*; Figs. 10HH, 10II, respectivamente), que no deberían pertenecer a este icnogénero, que claramente tiene huellas con forma de V (Figs. 10DD y 10EE). Ésta es precisamente la principal característica que permite diferenciar al morfotipo A de Los Cayos de las huellas de *Pteraichnus*. Además, los ángulos de divaricación total de los dedos de los pies de *Pteraichnus* poseen valores altos (entre 20° y 40°), mientras en las huellas del morfotipo A es muy bajo (< 10°), lo que hace que la relación Lp/Ap sea muy alta (> 3) en el morfotipo A de Los Cayos y baja en *Pteraichnus* (< 3) (ver Tabla 4). A nivel mundial, entre las diferentes icnoespecies incluidas en *Pteraichnus*, las huellas de Los Cayos (morfotipo A) se asemejan relativamente con las de *Pteraichnus yangouxiaensis* Peng *et al.*, 2004 (Fig. 10L) y *Pteraichnus dongyangensis* Chen *et al.*, 2013 (Fig. 10Y), ya que las huellas de los pies son muy alargadas (Lp/Ap > 3) y sus bordes laterales son paralelos. Así mismo, se asemejan a diversas huellas clasificadas como *Pteraichnus* isp., con las mismas características de las anteriores. Por las mismas circunstancias que las de huellas de Los Cayos, estas icnoespecies deberían estar fuera del icnogénero *Pteraichnus*, independientemente que sean icnoespecies válidas o no (Xing *et al.*, 2025).

Las huellas del morfotipo B de Los Cayos comparten con *Pteraichnus* la forma en V (subtriangular, Fig. 10O) de las huellas de los pies; sin embargo, presentan ciertas diferencias, ya que las huellas del morfotipo B son muy largas y estrechas (Lp/Ap = 4,37; el ángulo de divaricación total de los dedos, $\alpha = 12^\circ$), mientras las de *Pteraichnus* son más anchas (Lp/Ap < 3) y la abertura total de sus dedos es mucho mayor (20°-40°). Además, las longitudes relativas de los dedos de las manos son diferentes: en el morfotipo B los dedos I y II son muy semejantes en longitud, mientras en *Pteraichnus* el dedo II es bastante más grande que el I.

Huellas	Dedos manos	Lp/Ap	Lm/Am	Lp/Lm	I ¹ II:I ¹ III (°)	α (°)	β (°)	AP (°)	D/Me
<i>Pteraichnus saltwashensis</i>	1:2,00:3,50	1,95	2,80	0,92	87-50	40	40	110,50	0,98
<i>Pteraichnus stokesi</i>	1:1,50:2,00	2,20	2,06	1,29	30-30	15-30	60	90	0,99
<i>Pteraichnus palacieisaenzi</i>	1:2,00:4,00	1,29	2,68	1,19	76-56	36-40	32,60	82-137	1,02
<i>Pteraichnus vetustior</i>	1:1,60:2,60	1,48	2,60	1,64	41-26	36-41	38	-	0,86
<i>Pteraichnus parvus</i>	1:1,20:1,70	1,34	2,05	0,73	78-67	28-(8)	20-34	-	1,14
<i>Pteraichnus gracilis</i>	1:1,40:2,80	2,23	2,95	1,02	60-51	24,7	13,70	111,50	0,86
<i>Pteraichnus wuerhoensis</i>	1:1,45:2,33	2,75	2,14	1,18	34-58	14,6	-	-	1,00
<i>P. isp. Wierzbica</i>	1:1,50:2,70	2,65	2,77	-	83-26	22,5	-	-	0,87
<i>P. isp. Hwasun Seoyuri</i>	1:1,00:1,85	2,19	2,50	1,31	75-45	4-25	-	-	1,01
<i>P. isp. Huangyangquam</i>	1:1,60:2,90	2,33	2,37	1,14	58-70	22	32	-	0,89
<i>Pteraichnus longipodus</i>	1:1,00:1,70	1,96	1,89	1,39	57-40	26-(80)	-	-	0,37
<i>Pteraichnus koreanensis</i>	1:1,20:1,70	2,00	2,20	1,00	69-48	30-(17)	22	126	0,46
<i>Pteraichnus nipponensis</i>	1:1,00:1,70	1,87	2,28	0,97	83-82	86-(33)	-	98-111	0,38
<i>Purbeckopus pentadactylus</i>	1:1,20:1,30	1,91	1,65	1,34	23-79	35	-	-	1,72
<i>Haenamichnus uhangriensis</i>	-	3,33	3,00	1,06	-	10?	18?	-	1,04?
<i>Pteraichnus dongyangensis</i>	1:1,10:1,80	4,50	1,63	1,38	52-29	7?	--	-	0,66?
<i>Pteraichnus yangguoxiaensis</i>	1:1,50:2,80	3,50	2,90	1,00	60-28	6-10	50	133	0,66
<i>Pteraichnus junggarensis</i>	1:1,33:1,87	3,11	1,76	1,94	81-31	13,98	55?	97,20	0,78
<i>P. isp. Wenxiyuan-(Jimo)</i>	1:1,35:2,30	3,49	2,82	1,03	79-37	7-10	54	125	0,81
<i>P. isp. Sinsu-Island</i>	1:1,50:3,30	3,37	3,00	1,15	81-27	0-7	-	-	-
<i>P. isp. Lotus Fortress</i>	1:1,80:3,50	3,00	2,65	0,99	86-34	13	29,50	95-111	0,74
<i>P. isp. Lago Ezequiel Ramos</i>	1:1,40:1,80	3,33	1,70	1,18	77-24	5-8	50	-	0,84?
<i>P. isp. El Pelillal</i>	1:1,00:1,80	2,87	2,03	-	89-44	11	-	-	0,75
<i>P. isp. Daegok-ri</i>	1:1,14:2,10	2,30	2,30	0,95	49-51	13	30	-	0,63?
<i>P. isp. Zhaojue</i>	1:1,20:2,30	3,30	2,80	1,20	64-52	12-15	26?	-	0,65
<i>Agadirichnus elegans</i>	1:1,50:2,35	2,93	2,01	1,48?	65-34	7-13,40	-	-	0,95
aff. <i>Agadirichnus</i> isp. LCA-1	1:1,25:1,91	3,36	2,09	1,08	72-38	< 3	62,30	-	0,73
aff. <i>Agadirichnus</i> isp. LCA-2	1:1,11:1,35	4,37	2,27	0,99	95-46	11,60	42,50	-	0,68
aff. <i>Agadirichnus</i> isp. LCB	1:1,39:2,21	3,22	2,52	0,91	105-45	< 3	8-45	123	0,75
aff. <i>Agadirichnus</i> isp. LCC-1	1:1,40:1,91	3,54	2,73	1,04	97-38	≤ 5	36	-	0,69
aff. <i>Agadirichnus</i> isp. LCC-2	1:1,31:1,90	3,50	2,55	1,01	102-38	< 9	50	-	0,80

Tabla 4.- Datos morfométricos de los principales tipos de huellas de pterosaurios.

En el caso particular de las huellas de pterosaurios del Grupo Oncala de la Cuenca de Cameros, todas ellas han sido clasificadas como pertenecientes al icnogénero *Pteraichnus*, aún cuando entre ellas también hay huellas con forma de U o de Y (ver Pascual-Arribas y Hernández-Medrado, 2016). Las huellas con forma de U en este Grupo (icnoespecies *P. parvus*, *P. cidacoi*, *P. manueli*, morfotipo C de Los Tormos o icnoespecies con talón redondeado de Fuentes Vidarte *et al.* 2005, Figs. 10V, 10Z, 10AA), son también diferentes de las que forman parte del morfotipo A de Los Cayos. Estas icnitas poseen una relación Lp/Ap muy inferior (Lp/Ap de 1,34, 1,65, 2,2, respectivamente), llegando a ser algunas casi subcuadradas, mientras las del morfotipo A alcanzan un valor superior a 3; la relación Lp/Lm es muy baja (0,63 en *P. parvus*; 0,83 en *P. manueli*; ó 0,82 en el Morfotipo C del yacimiento de Los Tormos, asimilado a *P. cidacoi*), explicable posiblemente por ser huellas semiplantigradas, mientras que las de *Pteraichnus* tienen valores de 1 o superior y en el morfotipo A es de aproximadamente 1. Creemos que estas icnoespecies de pterosaurios del Grupo Oncala también deben ser sacadas del icnogénero *Pteraichnus* por su forma y por sus características morfométricas. De todas ellas, posiblemente sólo la icnoespecie *P. parvus* sea válida, siendo las otras dos variaciones de ésta por diversas causas (en estudio).

Las huellas con forma de Y del Grupo Oncala (*P. longipodus* de Fuentes Vidarte *et al.*, 2004b y huellas similares no nominadas; Fig. 10II) muestran un aspecto muy diferente al de las icnitas de Los Cayos A y B. La principal característica de este tipo de huellas es la presencia de una marca

de la parte metatarsal de los pies muy alargada y estrecha, a partir de la cual se despliegan en abanico las improntas de los dedos (de ahí la forma de Y), mientras en Los Cayos es en forma de U sin marcas de dedos desplegados en abanico, o subtriangular (con forma de V). Huellas semejantes a estas se conocen en yacimientos asiáticos, como es el caso de *Pteraichnus koreanensis* Lee *et al.*, 2008 y *P. nipponensis* del Cretácico Inferior de Corea y Japón, respectivamente (Lee *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010) (Fig. 10HH, 10JJ). Sin embargo, no se descarta que alguna de las huellas descritas en el yacimiento del Maastrichtiense de Tagragra, Marruecos, tenga también forma de Y (ver Fig. 5B en Masrour *et al.*, 2018). En todos los casos, estas huellas son siempre diminutas o pequeñas, lo que también las diferencian de las huellas cameranas, que son de tipo más bien medio, aunque este elemento no sea concluyente pues pudieran pertenecer a especies juveniles. En todo caso, creemos que esas huellas deberían ser excluidas del icnogénero *Pteraichnus* y agrupadas en un nuevo icnogénero.

Huellas de Los Cayos vs Purbeckopus

Este icnogénero creado con huellas del Grupo Purbeck, en Dorset, Inglaterra, fue dado a conocer por Delair en 1963, aunque no lo consideró propio de pterosaurios, como otros investigadores. Posteriormente fueron estudiadas por Wright *et al.* (1997) quienes las redescubrieron como huellas de pterosaurios. Estas icnitas, muestran marcas de pies con forma de V, como las de *Pteraichnus*, pero son mucho más grandes (Fig. 10T). También tienen los dedos II y III

de *Agadirichnus*, y hasta 340 mm en el caso de *Haenamichnus*), con icnitas de pies largas y delgadas y huellas de mano masivas. Estas huellas, como las originales perdidas, muestran marcas de pies de forma de U (Fig. 10I), como en las del morfotipo A de Los Cayos, pero poseen dos de sus dedos (II y III) más largos que los otros dos (I y IV) algo que parece no ocurre en el morfotipo A del Grupo Enciso (como se ha dicho parecen tener tres marcas de dedos de la misma longitud). Las huellas de sus manos muestran un dedo I corto y redondeado en el que no se aprecia marca de uña, algo que también sucede en las huellas de Los Cayos del morfotipo A, aunque no en la del morfotipo B, cuyo dedo I muestra una uña muy curvada. Por otra parte, Masrour *et al.*, (2018) indican que las huellas de las manos son mucho más cortas que las de los pies ($Lp/Lm = 1,48$; Tabla 4), mientras en Los Cayos en ambos morfotipos de huellas son semejantes en longitud. Además, en las huellas de Tagragra suelen marcarse las uñas de los dedos de los pies separadas de ellas. Algo que nunca ocurre en los morfotipos de Los Cayos.

Como en otros casos, las huellas del morfotipos B de Los Cayos se diferencian de las de este icnogénero por mostrar icnitas de pies de forma de V, aunque comparte con *Agadirichnus* una relación Lp/Ap elevada (> 3).

Dadas las características de las huellas de los morfotipos A y B del Grupo Enciso creemos que pueden también incluirse en la familia Agadirichnidae, junto a las de *Agadirichnus*, *Haenamichnus* y otras parecidas del este de Asia y América, hasta ahora consideradas como *Pteraichnus*. Si observamos la gráfica bivalente (Fig. 11) de Lp/Ap frente a Lp/Lm , estas huellas y la mayoría de las con forma de U se agrupan muy separadas del resto de huellas de pterosaurios, lo cual apoya que deban ser consideradas como una icnofamilia diferente de la de Pteraichnidae.

Huellas de Los Cayos vs huellas con forma de U de Asia, América y África

En diversos yacimientos de Asia, América y África se han encontrado huellas de pie que por su forma pueden incluirse entre las que presentan un forma de U, no siendo el único tipo existente pues se han dado también a conocer huellas subtriangulares (forma de V), tipo *Pteraichnus* [se han definido varias icnoespecies nuevas, como *Pteraichnus gracilis* Ha *et al.*, 2022 (Fig. 10FF), *Pteraichnus wuerhoensis* Li *et al.*, 2021 (Fig. 10W), o *Pteraichnus jinggarensis* Li *et al.*, 2025 (Fig. 10B), alguna nueva como las huellas asignadas a aff. *Pteraichnus* isp. de la Formación Candeleros (Cenomaniense) de la Cuenca Neuquina, Argentina (Heredia *et al.*, 2024) y es posible que exista alguna con forma de Y]. Las huellas subrectangulares aparecen entre las descritas en los yacimientos Yangouixia (Peng *et al.*, 2004; Figs. 10G, 10L), Wenxiyuan (Xing *et al.*, 2012; Fig. 10S), Qijiang (Xing *et al.*, 2013; Fig. 10H), Zhaojue (Xing *et al.*, 2015; Fig. 10X), del Cretácico inferior de China o Sinsu Island (Kim *et al.*, 2006; Fig. 10M) y Daegok-ri (Ha *et al.*, 2018; Fig. 10D), en Corea del Sur. Estas huellas tienen forma de U y/o V, son muy estrechas y con los pies muy girados hacia afuera de los rastros, como en el caso de

las huellas del Grupo Enciso. La mala calidad de conservación/preservación de muchas de ellas ha hecho que simplemente hayan sido consideradas como pertenecientes al icnogénero *Pteraichnus*. Un caso especial lo constituye el yacimiento de Hwasun Seoyuri (Fig. 10CC), del Cretácico superior de Corea (Jung *et al.*, 2022) cuyas huellas de pies tiene forma de U, pero con una relación Lp/Ap baja (2,19; Tabla 4), lo que las asemejan un poco a las huellas subrectangulares del Grupo Oncala de Cameros. Sin embargo, en este caso, no hay huellas de manos asociadas a las de los pies, por lo que no se pueden comparar adecuadamente con las de los yacimientos de Los Cayos. En un principio, la relación Lp/Ap es mucho menor que en las del Grupo Enciso, lo que las aleja del resto de huellas subrectangulares de esta zona.

Otras huellas subrectangulares que también pueden vincularse bastante bien con las huellas de Los Cayos son las que encontramos en los yacimientos de El Pelillal (Rodríguez de la Rosa, 2003; Fig. 10C) y de Rancho San Francisco (en estudio; Fig. 10J) del Campaniense de Cohauila, México, y en el yacimiento de Lago Ezequiel Ramos Mexía (Calvo y Lockley, 2001; Fig. 10F), del Cenomaniense de Argentina. En la mayor parte de los casos las huellas de pies poseen bordes laterales paralelos, talón redondeado y relaciones Lp/Ap elevadas (> 3 ; Tabla 4). Difieren de las huellas asiáticas anteriores por poseer un mayor tamaño y por mostrar marcas claras de dedos alargados y dispuestos paralelamente, como en *Agadirichnus*.

Dadas las características de todas estas huellas, diferentes de las de los icnogéneros conocidos, podrían pertenecer, como en el caso de las de Los Cayos, a un/unos icnogéneros nuevos, pero la falta de suficientes huellas y rastros no permite hacerlo, por ahora.

Tras comparar las huellas de pterosaurios de Los Cayos con los diversos icnogéneros conocidos, consideramos que pertenecen al menos a un icnogénero todavía no descrito, más parecido a los incluidos en la icnofamilia Agadirichnidae que a los de la familia Pteraichnidae. De los dos icnogéneros que posee actualmente esta icnofamilia, *Agadirichnus* es el que más se asemeja a las huellas cameranas. Por ello, consideramos que las huellas del morfotipo A y quizás las del morfotipo B (si fueran una variación extra-morfológica del morfotipo A) pueden clasificarse, usando nomenclatura abierta, como aff. *Agadirichnus* isp., es decir, pertenecientes a un icnogénero diferente de *Agadirichnus*, pero afín al mismo.

Autores de las huellas

La ausencia de huellas junto a restos óseos es la causa normal de que no se pueda tener certeza de quienes ocasionaron las icnitas de pterosaurios en cualquier lugar del mundo. Sin embargo, la edad y las cualidades morfométricas de las mismas puedan ayudarnos a vislumbrar qué pterosaurios pudieron haber pisado la zona de estudio.

El primer intento para conocer los posibles autores de las huellas de Los Cayos reside en ver qué restos de pterosaurios de edad Barremiense-Aptiense se han encontrado en la Cuenca de Cameros o en zonas cercanas.

Parece ser que buena parte de los pterosaurios no pterodactiloideos desaparecieron en el paso del Jurásico al Cretácico (Unwin, 2003). A partir de ese momento, los pterodactiloideos evolucionaron, se diversificaron y se extendieron por todo el mundo (Ji *et al.*, 1999; Butler *et al.*, 2013; Andres *et al.*, 2014). Por ello, las especies jurásicas suelen ser bastante diferentes de las cretácicas. Aun así, algunos géneros y familias jurásicas lograron pervivir durante el Cretácico, como es el caso de los anurognatidos y ctenochasmatoideos (Wang *et al.*, 2009).

Del período Barremiense-Albiense, dentro del cual se datan las huellas de Los Cayos (posiblemente Barremiense), se dispone de bastantes restos de pterosaurios. En esa época se han descrito representantes de las familias Anurognathidae, Dsungaripteroidea, Ctenochasmatidae, Gnathosaurinae, Ornithocheiridae, Istiodactylidae, Anhangueridae, Tapejaridae y Azhdarchoidea (Barret *et al.*, 2008). Buena parte de estas familias se corresponden con la renovación de los pterosaurios durante el Cretácico inferior, más concretamente del clado Ornithocheiroidea, que se extendió ampliamente por todos los continentes (Upchurch *et al.* 2015).

En la Cuenca de Cameros, hasta ahora, apenas se habían citado restos óseos de pterosaurios entre el Hauteriviense y el Aptiense inferior. Los restos más conocidos corresponden a la especie *Prejanopterus curvirostra* Fuentes Vidarte y Meijide Calvo, 2010 encontrados en la Formación Leza (Pereda-Suberbiola *et al.*, 2012), cuya edad es muy controvertida. Mas *et al.*, (2011) consideran la parte inferior del Grupo Enciso como Barremiense-Aptiense; sin embargo, Doublet (2004) la incluye en el Grupo Oncala, por lo que su edad pasaría a ser Titoniense-Berriasiense. Menos conocidos son los pocos restos óseos (falanges alares) de los yacimientos de Sol de la Pita 1 y 2 (Moratalla *et al.*, 1998, 1999). Además, Martínez-Barredo *et al.* (2024) hacen referencia a un fragmento mandibular, 16 dientes aislados y tres falanges alares de pterosaurios. Entre los dientes han distinguido cuatro morfotipos, todos ellos atribuidos a pterosaurios ornitoqueiroideos. Dentro de este clado los han reunido en dos grupos: ornitoqueiriformes e istiodactiliformes.

Fuera de la Cuenca de Cameros, los restos de pterosaurios de esta época en la península Ibérica tampoco son abundantes, limitándose, en muchos casos, a la aparición de dientes aislados (Ornithocheiridae indet., Istiodactylidae indet., Pterodactyloidea indet.; Sánchez-Hernández *et al.*, 2007). Sin embargo, últimamente han sido descubiertos nuevos restos que han permitido definir varios taxones: restos craneales de la especie *Europejara olcadesorum* Vullo *et al.*, 2012, del Barremiense del yacimiento de Las Hoyas (Cuenca), un representante de la familia Tapejaridae en la superfamilia Azhdarchoidea; y de *Iberodactylus andreui* (Holgado *et al.*, 2019), un Ornithocheiromorpha del clado Anhangueria de Quiñones (Obón, Teruel), del Barremiense de la Formación Blesa. Ambos ejemplares tienen representantes parecidos, tanto en Asia oriental como en América, por lo que serían candidatos para originar el tipo de huellas subrectangulares durante este período. De los dos casos, los tapejaridos poseen extremidades posterior-

es con pies muy alargados, algo necesario para crear ese tipo de huellas. Los anangueridos, sin embargo, muestran metatarsos cortos, por lo que, en un principio, podrían ser eliminados como candidatos. Tampoco debemos descartar como aspirantes los ornitoqueiridos y los istiodactilidos, tan abundantes en Asia y América, de los que han aparecido los primeros restos en Cameros, como hemos dicho. Sin embargo, la falta de esqueletos de pies y manos en estas familias no permite todavía relacionarlos claramente con las huellas de Los Cayos.

Otra forma de acercarnos a los autores de las huellas de Los Cayos es conocer los requerimientos necesarios en los pterosaurios para ocasionar ese tipo de huellas. Si tenemos en cuenta que las huellas del morfotipo A de Los Cayos se caracterizan por tener marcas de pies muy alargadas y estrechas, con los bordes laterales paralelos (huellas con forma de U), sus autores debieron poseer pies con metatarsos largos, estrechos y compactos y dedos dispuestos en la misma dirección que éstos. Según Zhou *et al.* (2022a) este tipo de pterosaurios, en el intervalo de tiempo Barremiense-Aptiense se encontrarían entre los Azhdarchidae (Cai y Wei, 1994), los Chaoyangopteridae (Wu *et al.*, 2017) y los Tapejaridae (p. ej., Unwin y Martill, 2007; Zhang *et al.*, 2019; Beccari *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2022b), y posiblemente entre los arzdárquidos de gran tamaño (Andres y Langsto, 2021) e indicaría adaptaciones terrestres y arborícolas. Fuera de estas familias, Ctenochasmatidae posee representantes en el Cretácico inferior con pies muy alargados y estrechos (*Beipiaopterus* Lü, 2003 del Aptiense, y *Pterodaustro* Bonaparte, 1979 del Albiense-Cenomaniense), que podrían ser también buenos candidatos para ser autores de las huellas de Los Cayos. Sin embargo, sus metatarsos no son compactos, al igual que en los otros iconógenos de esta familia, lo cual apoyan más que ocasionaran huellas con forma de V que de U, como lo hacían sus representantes en el tránsito Jurásico superior-Cretácico inferior, aunque no es totalmente descartable que en alguna ocasión pudieran ocasionar huellas de este tipo. Por otra parte, se conocen restos de *Pterodaustro* con pies muy largos y manos muy pequeñas, los cuales ocasionarían huellas con una relación Lp/Lm muy alta, algo que no ocurre en las huellas del Grupo Enciso, donde Lp/Ap es casi 1. Por ello, los autores de las huellas del morfotipo A podrían encontrarse entre los representantes de Azhdarchoidea, muchos de los cuales poseen pies con los dedos II, III y IV casi iguales en longitud, mientras el I es más corto. Algo necesario para ocasionar huellas como las de este morfotipo, lo cual estaría acorde con las marcas de los dedos del morfotipo A.

En el caso de las huellas con forma de V de LCA2, sus autores habría que buscarlos entre los pterosaurios con pies con forma de V, metatarsos no compactos y talla mediana. Dada la edad y los restos encontrados en la península Ibérica podrían pertenecer a la superfamilia Ornithocheiroidea, cuyos representantes han sido hallados en la Cuenca de Cameros (Martínez-Barredo *et al.*, 2024). Sin embargo, dada la posibilidad de que el morfotipo B sea una variación del morfotipo A por causas extramorfológicas, sus posibles autores serían los mismos que en el caso del morfotipo A.

Conclusiones

Tras describir y comparar las huellas de los yacimientos de Los Cayos con las de los distintos icnogéneros conocidos y con otras huellas, tanto de la Cuenca de Cameros como de otros lugares, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En los yacimientos de Los Cayos encontramos dos morfotipos de huellas de pterosaurios, uno con huellas de pies con forma de U (morfotipo A) y otro con huellas de pies con forma de V (morfotipo B).

Los dos morfotipos son diferentes de los que encontramos en el Grupo Oncala de la Cuenca de Cameros, en el caso del morfotipo A la forma de las huellas de los pies es de U, con relación Lp/Ap muy elevada (>3) y ángulo de divaricación total de sus dedos muy baja (menor de 5°). En el caso del morfotipo B, aunque las huellas tienen forma de V, como muchas del Grupo Oncala, la relación Lp/Ap es muy elevada y el ángulo total de los dedos de los pies es bajo (menor de 15°), contrariamente a lo que sucede en el Grupo Oncala.

Por motivos parecidos, estas huellas se diferencian de los icnogéneros conocidos: *Pteraichnus*, *Purbeckopus*, *Haenamiihnus* y *Agadirichnus*, algo que se refleja también en las representaciones gráficas bivariantes de Lp/Ap frente a Lp/Lm.

Sin embargo, las huellas del morfotipo A de Los Cayos poseen características similares a las que encontramos en las huellas con forma de U del este de Asia, América y África, pudiendo ser incluidas todas ellas en uno o quizás dos icnogéneros nuevos, posiblemente pertenecientes a la icnofamilia Agadirichnidae. En el caso del morfotipo B de Los Cayos, es posible que también pertenezca a un nuevo icnogénero, pero la falta de huellas suficientes no permite afirmarlo claramente.

Consideramos que las huellas del Grupo Enciso podrían pertenecer a nuevo icnogénero que estaría incluido en la icnofamilia Agadirichnidae, pudiéndose clasificarse como aff. *Agadirichnus* isp.

Dada la edad de los yacimientos (Barremiense-Aptiense) y que las huellas hayan sido ocasionadas por pterosaurios que tenían los metatarsianos largos y compactos, apuntan a que sus autores pudieran pertenecer a la superfamilia Azhdarchoidea, hecho que se ve apoyado por la presencia de restos de esta superfamilia en la Cuenca de Cameros y en el resto de la Cordillera Ibérica. El par de huellas del yacimiento LCA-2 podrían haber sido ocasionadas por representantes de la supefamilia Ornithocheirodae, que posee géneros de pterosaurios con metatarsos no compactos y tamaño no muy grande, que han sido hallados en la Cuenca de Cameros. Sin embargo, si como parece, son huellas con caracteres extramorfológicos, no podemos saber que pterosaurios las ocasionaron.

Agradecimientos y financiación

Queremos agradecer los comentarios aportados por los correctores Laura Piñuela y Arturo M. Heredia, que han ayudado a la mejora del manuscrito. La presente investi-

gación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Contribución de autores/as

Todos los autores han contribuido en la realización del presente trabajo.

Referencias

- Alexander, R.McN., 1976. Estimates of speeds of dinosaurs. *Nature*, 261: 129-130.
<https://doi.org/10.1038/261129a0>
- Ambroggi, R., De Lapparent, A.F., 1954. Les empreintes de pas fossiles du Maestrichtien d'Agadir. *Notes du Service Géologique du Maroc*, 10: 43-46.
- Andres, B., Clark, J., Xu, X., 2014. The earliest pterodactyloid and the origin of the group. *Current Biology*, 24: 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.030>
- Andres B., Langston W., 2021. Morphology and taxonomy of *Quetzalcoatlus* Lawson 1975 (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 41(Suppl): 46-202.
<https://doi.org/10.1080/02724634.2021.1907587>
- Barrett, P.M., Butler, R.J., Edwards, N.P., Milner, A.R., 2008. Pterosaur distribution in time and space: an atlas. *Zitteliana*, 28: 61-107.
- Beccari, V., Pinheiro, F.L., Nunes, I., Anelli, L.E., Mateus, O., Costa, F.R., 2021. Osteology of an exceptionally well-preserved tapejarid skeleton from Brazil: Revealing the anatomy of a curious pterodactyloid clade. *PLoS ONE* 16(8): e0254789.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254789>
- Belvedere, M., Farlow, J.O., 2016. A numerical scale for quantifying the quality of preservation of vertebrate tracks. En: P.L. Falkingham, D., Marty, A., Richter (Eds.), *Dinosaur Tracks*. Indiana University Press, Bloomington, pp. 93-99
- Bennett, S.C., 1997. Terrestrial locomotion of pterosaurs; a reconstruction based on *Pteraichnus* trackways. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 17(1): 104-113.
<https://doi.org/10.1080/02724634.1997.10010957>
- Billon-Bruyat, J.P., Mazin, J.M., 2003. The systematic problem of tetrapod ichnotaxa the case study of *Pteraichnus* Stokes, 1957 (Pterosauria, Pterodactyloidea). *Geological Society Special Publications*, 217: 315-324.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.217.01.19>
- Butler, R.J., Benson, R.B.J., Barrett, P.M., 2013. Pterosaur diversity: untangling the influence of sampling biases, Lagerstätten, and genuine biodiversity signals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 372: 78-87.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.08.012>
- Cai, Z.Q., Wei, F., 1994. On a new pterosaur (*Zhejiangopterus linhaiensis* gen. et sp. nov.) from Upper Cretaceous in Linhai, Zhejiang, China. *Vertebrata Palasiatica*, 32: 181-194.
- Calvo, J.O., Lockley, M.G., 2001. The first pterosaur tracks from Gondwana. *Cretaceous Research*, 22(5): 585-590.
<https://doi.org/10.1006/cres.2001.0276>
- Casas, A.M., Muñoz, A., Tella, A., Liesa, C.L., 2024. Magnetic surveying as a proxy for defining cyclicity in thick sedimentary fillings: Application to the Cretaceous Cameros Basin (N Spain). *Cretaceous Research*, 154: 105736.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2023.105736>

- Chatterjee, S., Templin, R.J., 2004. Posture, locomotion and paleoecology of pterosaurs. Geological Society Of America Special Papers, 376: 1-64.
<https://doi.org/10.1130/0-8137-2376-0.1>
- Chen, R., Lü, J., Zhu, Y., Azuma, Y., Zheng, W., Jin, X., Noda, Y., Shibata M., 2013. Pterosaur tracks from the early Late Cretaceous of Dongyang City, Zhejiang Province, China. Geological Bulletin of China, 32(5): 693-698.
- Clemente, P., 2010. Review of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Stratigraphy in Western Cameros basin, Northern Spain. Revista de la Sociedad Geológica de España, 23(3-4): 101-143.
- Delair, J.B., 1963. Notes on Purbeck fossil footprints, with descriptions of two hitherto unknown forms from Dorset. Proceedings of the Dorset Natural History and Archaeological Society, 84: 92-100.
- Doublet, S., 2004. Contrôles tectonique et climatique de l'enregistrement stratigraphique dans un bassin continental de rift: le bassin de Cameros (Jurassique supérieur-Crétacé inférieur) provinces de Soria-La Rioja, Espagne. PhD Thesis. Université de Bourgogne, 465 p.
- Elgh, E., Pieńkowski, G., Niedźwiedzka, G., 2019. Pterosaur track assemblages from the Upper Jurassic (Lower Kimmeridgian) intertidal deposits of Poland: Linking ichnites to potential trackmakers. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 530: 32-48.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.05.016>
- Fuentes Vidarte, C., 2001. A new species of *Pteraichnus* for the Spanish Lower Cretaceous: *Pteraichnus cidacoi*. Two hundred years of Pterosaurs, Toulouse, 2001. Strata, 11: 44-46.
- Fuentes Vidarte, C., Meijide Calvo, M., Meijide Fuentes, M., Meijide Fuentes, F., 2004a. Huellas de Pterosaurios en la Sierra de Oncala (Soria, España). Nuevas Ichnospecies: *Pteraichnus vetustior*, *Pteraichnus parvus*, *Pteraichnus manuli*. Celtiberia, 98: 471-490.
- Fuentes Vidarte, C., Meijide Calvo, M., Meijide Fuentes, F., Meijide Fuentes, M., 2004b. *Pteraichnus longipodus* nov. icnosp. En la Sierra de Oncala (Soria, España). Studia Geologica Salmanticensia, 40: 103-114.
- Fuentes Vidarte, C., Meijide Calvo, M., Meijide Fuentes, F., Meijide Fuentes, M., 2005. El conjunto faunístico de la base del Cretácico Inferior de Soria (Cuenca de Cameros, Grupo Oncala) a través del análisis icnológico. Celtiberia, 99: 367-404.
- Fuentes Vidarte, C., Meijide Calvo, M., 2010. Un nuevo pterosaurio (Pterodactyloidea) en el Cretácico Inferior de La Rioja (España). Boletín Geológico y Minero, 121 (3): 311-328.
- Ha, S.J., Chae, Y.U., Lim, J.D., Kim, C.B., Lim, H.S., Kim, K.S., 2018. Cretaceous pterosaur tracks in Daegok-ri, Ulju-gun, Ulsan: spatio-temporal distribution of pterosaur in the Korean Peninsula (in Korea). Journal of the Korean Earth Science Society, 39(5): 458-472.
<https://doi.org/10.5467/JKESS.2018.39.5.458>
- Ha, S., Kim, K.S., Lim, H.S., Lockley, M.G., Yoo, J.S., Lim, J.D., 2022. Diminutive pterosaur tracks and trackways (*Pteraichnus gracilis* icnosp. nov.) from the Lower Cretaceous Jinju Formation, Gyeongsang Basin, Korea. Cretaceous. Research, 131: 105080.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.105080>
- He, Q., Xing, L., Zhang, J., Lockley, M.G., Klein, H., Persons IV, W.S., Qi, L., Jia, C., 2013. New Early Cretaceous Pterosaur-Bird Track Assemblage from Xinjiang, China: Palaeoethology and Palaeoenvironment. Acta Geologica Sinica, 87(6): 1477-1485.
<https://doi.org/10.1111/1755-6724.12151>
- Heredia, A.M., Díaz-Martínez, I., Pazos, P.J., de Valais, S., 2024. Pterosaur tracks from the Upper Cretaceous (Cenomanian) Candeleros Formation of northwestern Patagonia, Argentina: Ichnotaxonomic and palaeoecological perspectives from Gondwana. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 650: 112338.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2024.112338>
- Hernán Martínez, F.J., 2018. Estratigrafía y sedimentología de las formaciones con icnitas de dinosaurios del Grupo Enciso (Cameros, La Rioja, Aptiense). Tesis (Doctoral), E.T.S.I. de Minas y Energía (UPM). Memoria 420 pp. + Anexos 167 pp.
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.55957>
- Hernández-Medrano, N., Pascual-Arribas, C., Pérez-Lorente, F., 2017. First pterosaur footprints from the Tera Group (Tithonian-Berriasian) Cameros Basin, Spain. Journal of Iberian Geology, 43(2): 245-255.
<https://doi.org/10.1007/s41513-017-0020-8>
- Holgado, B., Pêgas, R.V., Canudo, J.I., Fortuny, J., Rodrigues, T., Company, J., Kellner, A.W.A., 2019. On a new crested pterodactylid from the Early Cretaceous of the Iberian Peninsula and the radiation of the clade Anhangueria. Scientific Reports, 9: 4940.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-41280-4>
- Hwang, K.G., Huh, M., Lockley, M.G., Unwin, D.M., Wright, J.L., 2002. New pterosaur tracks (Pterachnidae) from the Late Cretaceous Uhangri Formation, southwestern Korea. Geological Magazine, 139: 421-435.
<https://doi.org/10.1017/S0016756802006647>
- Ji, S.-A., Ji, Q., Padian, K., 1999. Biostratigraphy of new pterosaurs from China. Nature, 398: 573-574.
<https://doi.org/10.1038/19221>
- Jung, J., Huh, M., Unwin, D.M., Smyth, R.S.H., Hwang, K.-G., Kim, H.-J., Choi, B.-D., Xing, L., 2022. Evidence for a mixed-age group in a pterosaur footprint assemblage from the early Upper Cretaceous of Korea. Scientific. Reports. 12: 10707.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-14966-5>
- Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., Lockley, M.G., 2006. The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): More evidence of high avian diversity in East Asia. Cretaceous Research, 27(1): 56-69.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2005.10.005>
- Lee, Y.N., Lee, H.J., Lü, J., Kobayashi, Y., 2008. New pterosaur tracks from the Hasandong Formation (Lower Cretaceous) of Hadong County, South Korea. Cretaceous Research, 29: 345-353.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2007.05.004>
- Lee, Y.N., Azuma Y., Lee, H.J., Shibata, M., Lü, J.C., 2010. The first pterosaur trackways from Japan. Cretaceous Research, 31(2): 263-273.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2009.11.001>
- Li, Y., Wang, X.L., Jiang, S.X., 2021. A new pterosaur tracksite from the Lower Cretaceous of Wuerho, Junggar Basin, China: inferring the first putative pterosaur trackmaker. PeerJ, 9: e11361.
<https://doi.org/10.7717/peerj.11361>
- Li, Y., Wang, X., Jiang, S., Song, J., 2025. First deciphering of large pterosaur footprints and their trackmaker in the Junggar Basin, China. Cretaceous Research, 167: 106036.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2024.106036>
- Lockley, M.G., Logue, T.J., Moratalla, J.J., Hunt, A.P., Schultz, R.J. and Robinson, J.W., 1995. The fossil trackway *Pteraichnus* is pterosaurian, not crocodilian: implications for the global distribution of pterosaur tracks. Ichnos: An

- International Journal for Plant and Animal Traces, 4(1): 7-20. <https://doi.org/10.1080/10420949509380110>
- Lockley, M.G., 1999. Pterosaur and bird tracks from a new Late Cretaceous locality in Utah. Utah Geological Survey, 355-359.
- Lockley, M.G., Harris, J.D., Mitchell, L., 2008. A global overview of pterosaur ichnology: tracksite distribution in space and time. Zitteliana B, 28: 185-198.
- Marchetti, L., Belvedere, M., Voigt, S., Klein, H., Castanera, D., Díaz-Martínez, I., Marty, D., Xing, L., Feola, S., Melchor, R.N., Farlow, J.O., 2019. Defining the morphological quality of fossil footprints. Problems and principles of preservation in tetrapod ichnology with examples from the Palaeozoic to the present. Earth-Science Reviews, 193: 109-145. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.008>
- Martínez-Barredo, J., Holgado, B., Sáez-Benito, P., Pereda-Suberbiola, X., 2024. New pterosaur remains from the Lower Cretaceous of Igea, La Rioja (Camerons Basin, Northern Iberian Peninsula). Resúmenes de las XXXIX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, p. 186.
- Mas, R., Alonso, A., Guimerà, J., 1993. Evolución tectonosedimentaria de una cuenca extensional intraplaca: La cuenca finijurásica-eocretácica de Los Cameros (La Rioja-Soria). Revista de la Sociedad Geológica de España, 6: 129-144.
- Mas, R., Benito, M.I., Arribas, J., Serrano, A., Guimera, J., Alonso, A., Alonso-Azcarate, J., 2002. La Cuenca de Cameros: desde la extensión finijurásica-eocretácica a la inversión terciaria - implicaciones en la exploración de hidrocarburos. Zubia, Monográfico, 14: 9-64.
- Mas, R., Benito, M.I., Arribas, J., Alonso, Á., Arribas, M.E., Lohmann, K.C., González-Acebrón, L., Hernán, J., Quijada, E., Suárez, P., Omodeo, S., 2011. Evolution of an intra-plate rift basin: the Latest Jurassic-Early Cretaceous Cameros Basin (Northwest Iberian Ranges, North Spain). En: Arenas, C., Pomar, L., Colombo, F. (Eds.), Post-Meeting Field Trips, 28th IAS Meeting, Zaragoza. Geo-Guías, 8. Sociedad Geológica de España, Zaragoza, pp. 117-154.
- Masrour, M., Ducla, M.D., Billon-Bruyat, J.P., Mazin, J.M., 2018. Rediscovery of the Tagragra tracksite (Maastrichtian, Agadir, Morocco): *Agadirichnus elegans* Ambroggi and Lapparent 1954 is pterosaurian ichnotaxon. Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces, 25(4): 285-294. <https://doi.org/10.1080/10420940.2017.1386661>
- Mazin, J.M., Hantzpergue, P., Lafaurie, G., Vignaud, P., 1995. Des pistes de ptérosaures dans le Tithonien de Crayssac (Quercy, Lot). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 321: 417-424.
- Mazin, J.M., Hantzpergue, P., Bassoullet, J-P., Lafaurie, G., Vignaud, P., 1997. Le gisement de Crayssac (Tithonien inférieur, Quercy, Lot, France): découverte de pistes de dinosaures en place et premier bilan ichnologique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 325(9): 733-739. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(97\)89118-5](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)89118-5)
- Mazin, J.M., Billon-Bruyat, J.P., Hantzpergue, P., Lafaurie, G., 2003. Ichnological evidence for quadrupedal locomotion in pterodactyloid pterosaurs: trackways from the Late Jurassic of Crayssac (southwestern France). En: Buffetaut, E., Mazin, J.M. (Eds.), Evolution and Palaeobiology of Pterosaurs. Geological Society Special Publication, London, 217: 283-296. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.217.01.17>
- Mazin J.M., Pouech J., 2020. The first non-pterodactyloid pterosaurian trackways and the terrestrial ability of non-pterodactyloid pterosaurs, Geobios, 58: 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2019.12.002>
- Meijide Calvo, M., 2001. Pterosaur trace in Oncala Berriasian (Soria, Spain) new ichnospecies: *Pteraichnus manueli*. Strata, 11: 72-74.
- Meijide Fuentes, F., 2001. Pterosaur tracks in Oncala Mountain Range (Soria, Spain) a new ichnospecies: *Pteraichnus vetustior*. Strata, 11: 70-71
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L., Jiménez, S., 1992. Hallazgos de nuevos tipos de huellas en La Rioja. Estrato, 4: 63-66.
- Moratalla, J.J., 1993. Restos indirectos de dinosaurios del registro español: Paleocnología de la Cuenca de Cameros (Jurásico superior-Cretácico inferior) y Paleología del Cretácico superior. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid., Madrid, 728 p.
- Moratalla, J.J., Sanz, J.L., Jimenez, S., 1998. Restos de pterosaurios y peces en el area de Sol de la Pita (Prejano). Estrato: Revista Riojana de Arqueología, 9: 111-115.
- Moratalla, J.J., Sanz-García, J.L., Jiménez, S., 1999. Nuevos hallazgos de dinosaurios y pterosaurios en el Cretácico Inferior de La Rioja. Estrato: Revista Riojana de Arqueología, 10: 91-96.
- Moratalla, J.J., Hernán, J., Jiménez, S., 2003. Los Cayos dinosaur tracksite: An overview on the Lower Cretaceous ichnodiversity of the Cameros Basin (Cornago, La Rioja Province, Spain). Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces, 10: 229-240. <https://doi.org/10.1080/10420940390255547>
- Moratalla, J.J., Hernán, J., 2009. Turtle and pterosaur tracks from the Los Cayos dinosaur tracksite, Cameros basin (Cornago, La Rioja, Spain): tracking the Lower Cretaceous biodiversity. Revista Española de Paleontología, 24: 59-77. <https://doi.org/10.7203/sjp.24.1.20344>
- Moreno-Azanza, M., Gasca, J.M., Díaz-Martínez, I., Bauluz Lázaro, B., Canudo Sanagustín, J.I., Fernández, A., Pérez-Lorente, F., 2016. A multi-outcrop assemblage from the Lower Cretaceous of the Cameros Basin (La Rioja; Northern Spain): Spanish Journal of Palaeontology, 31: 305-320. <https://doi.org/10.7203/sjp.31.2.17158>
- Muñoz, A., Angulo, A., Liesa, C.L., Luzón, M.A., Mayayo, M.J., Pérez, A., Soria, A.R., Val, V., Yuste, A., 2020. Periodicidad climática y datación astrocronológica del Grupo Enciso en la cuenca oriental de Cameros (N de España): Boletín Geológico y Minero, 131: 243-268. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.131.2.003>
- Padian, K., 1983. A functional analysis of flying and walking in pterosaurs. Paleobiology, 9: 218-239. <https://doi.org/10.1017/S009483730000765X>
- Padian, K., Olsen, P.E., 1984. The fossil trackway *Pteraichnus*: not pterosaurian, but crocodilian. Journal of Paleontology, 58: 178 - 184.
- Pascual Arribas, C., Sanz Pérez, E., 2000. Huellas de pterosaurios en el grupo Oncala (Soria, España). *Pteraichnus palaciei-saenzi* nov. ichnosp. Estudios Geológicos, 56: 73-100. <https://doi.org/10.3989/geol.00561-2157>
- Pascual Arribas, C., Hernández Medrano, N., 2012. Asociación de huellas de pterosaurio en el yacimiento de Los Tormos (Soria, España): Implicaciones icnotaxonómicas. Studia Geologica Salmanticensia, 48 (1): 7-36.
- Pascual-Arribas, C., Canudo, J.I., Sanz Pérez, E., Hernández-Medrano, N., Castanera, D., Barco, J.L., 2015. On the validity of *Pteraichnus palacieisaenzi*, Pascual Arribas and San Pérez 2000: new data from the Huérteles Formation. Paläontologische Zeitschrift, 89: 459-483. <https://doi.org/10.1007/s12542-014-0229-1>
- Pascual-Arribas, C., Hernández-Medrano, N., 2016. Huellas de *Pteraichnus* en La Muela (Soria, España): Consideraciones

- sobre el icnogénero y sobre la diversidad de huellas de pterosaurios en la Cuenca de Cameros. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(2): 89-105.
- Peng, B.X., Du, Y.S., Li, D.Q., Bai, Z.C., 2004. The first discovery of the Early Cretaceous pterosaur track and its significance in Yanguoxia, Yongjing County, Gansu Province. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 29: 21-24.
- Pereda-Suberbiola, X., Knoll, F., Ruiz-Omeñaca, J.I., Company, J., Torcida Fernández-Baldor, F., 2012. Reassessment of *Prejanopterus curvirostris*, a basal pterodactyloid pterosaur from the Early Cretaceous of Spain. *Acta Geologica Sinica*, 86(6): 1389-1401.
<https://doi.org/10.1111/1755-6724.12008>
- Pérez-Lorente, F., 2015. Dinosaur footprints & trackways of La Rioja. *Life of the past*. Indiana University Press, Bloomington, 363 pp.
- Quijada, I.E., Suárez-González, P., Benito Moreno, M.I., Mas, J.R., 2013. New insights on stratigraphy and sedimentology of the Oncala Group (eastern Cameros Basin): implications for the paleogeographic reconstruction of NE Iberia at Berriasian times. *Journal of Iberian Geology*, 39(2): 313-334.
http://dx.doi.org/10.5209/rev_JIDE.2013.v39.n2.42503
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., 2003. Pterosaur tracks from the Latest Campanian Cerro del Pueblo Formation of southeastern Coahuila, Mexico. En: Buffetaut, E., Mazin, J.M. (Eds.), *Evolution and Palaeobiology of pterosaurs*. Geological Society, London, Special Publications, 217: 275-282.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.217.01.16>
- Salas, R., Guimerá, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A., Alonso, Á., 2001. Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian chain). En: Ziegler, P.A., Cavazza, W. F., Robertson, R.A.H. y Crasquin-Soleau, S. (Editores), *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins*. Mémoires du Museum National d'Histoire Naturelle, 186: 145-186.
- Sánchez-Hernández, B., Benton, M.J., Naish, D., 2007. Dinosaurs and other fossil vertebrates from the Late Jurassic and Early Cretaceous of the Galve area, NE Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 249: 180-215.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.01.009>
- Sánchez-Hernández, B., Przewieslik, A.G., Benton, M.J., 2009. A reassessment of the *Pteraichnus* ichnospecies from the Early Cretaceous of Soria Province, Spain. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29: 487-497.
<https://doi.org/10.1671/039.029.0205>
- Schudack, U., Schudack, M., 2009. Ostracod biostratigraphy in the Lower Cretaceous of the Iberian chain (Eastern Spain). *Journal of Iberian Geology*, 35: 141-168
- Stokes, W.L., 1957. Pterodactyl tracks from the Morrison Formation. *Journal of Paleontology*, 31: 952-954.
- Suárez-González, P., 2015. *Sedimentología y Paleogeografía de los sistemas de humedales costeros de la FM Leza (Cretácico Inferior, Cuenca de Cameros): implicaciones en el origen y desarrollo de los depósitos microbianos asociados*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 363 p.
- Tischer, G., 1966. Über die Wealden-Ablagerung und die Tektonik der östlichen Sierra de los Cameros in den nordwestlichen Iberischen Ketten (Spanien). *Beihefte. Geologisches Jahrbuch* 44: 123-164.
- Unwin, D.M., 2003. On the phylogeny and evolutionary history of pterosaurs. En: Buffetaut, E., J., Mazin (Eds.), *Evolution and Palaeobiology of Pterosaurs*. Geological Society of London, London, 217: 139-190.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.217.01.11>
- Unwin, D.M., Martill, D.M., 2007. Pterosaurs of the Crato Formation. En: Martill, D.M., Bechly, G., Loveridge, R.F. (Eds.), *The Crato Fossil Beds of Brazil Window into an Ancient World*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 475-524.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535512.018>
- Upchurch, P., Andres, B., Butle, R.J., Barrett, P.M., 2015. An analysis of pterosaurian biogeography: implications for the evolutionary history and fossil record quality of the first flying vertebrates. *Historical Biology*, 27(6): 97-117.
<https://doi.org/10.1080/08912963.2014.939077>
- Vullo, R., Marugán-Lobón, J., Kellner, A.W.A., Buscalioni, A.D., Gomez, B., de la Fuente, M., Moratalla, J.J., 2012. A new crested pterosaur from the Early Cretaceous of Spain: The first European tapejarid (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea). *PLoS ONE*, 7(7): e38900.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038900>
- Wang, X., Kellner, A.W.A., Jiang, S., Meng, X., 2009. An unusual long-tailed pterosaur with elongated neck from western Liaoning of China. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81: 793-812.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000400016>
- Wright, J.L., Unwin, D.M., Lockley, M.G., Rainforth, E.C., 1997. Pterosaur tracks from the Purbeck Limestone Formation of Dorset, England. *Proceedings of the Geologists' Association*, 108(1): 39-48.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(97\)80004-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(97)80004-1)
- Wroblewski, A.F.J., 2023. The makers of *Rhamphichnus* ispp. reinterpreted as lepidosaurian and crocodilian, not pterosaurian. *Geobios*, 77: 71-79.
<https://doi.org/10.1016/j.geobios.2022.12.001>
- Wu, W.H., Zhou, C.-F., Andres, B., 2017. The toothless pterosaur *Jidapterus edentus* (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea) from the Early Cretaceous Jehol Biota and its paleoecological implications. *PLoS ONE*, 12: e0185486.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185486>
- Xing, L.D., Harris, J.D., Gierlinski, G.D., Gingras, M.K., Divay, J.D., Tang, Y.G., Currie, P.J., 2012. Early Cretaceous pterosaur tracks from a "buried" dinosaur tracksite in Shandong Province, China. *Palaeoworld*, 21(1): 50-58.
<https://doi.org/10.1016/j.palwor.2012.02.004>
- Xing, L.D., Lockley, M.G., Piñuela, L., Zhang, J.P., Klein, H., Li, D., Wang, F., 2013. Pterosaur trackways from the Lower Cretaceous Jiaguan Formation (Barremian-Albian) of Qijiang, Southwest China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392(28-33): 177-185.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.09.003>
- Xing, L.D., Lockley, M.G., Marty, D., Piñuela, L., Klein, H., Zhang, J.P., Persons, W.S., 2015. Redescription of the partially collapsed Early Cretaceous Zhaojue dinosaur tracksite (Sichuan Province, China) by using previously registered video coverage. *Cretaceous Research*, 52(4): 138-152.
<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2014.09.010>
- Xing, L., Lockley, M.G., Marty, D., Klein, H., Yang, G., Zhang, J., Peng, G., Ye, Y., Persons IV, W.S., Yin, X., Xu, T., 2016. A diverse saurischian (theropodesauropod) dominated footprint assemblage from the Lower Cretaceous Jiaguan Formation in the Sichuan Basin, southwestern China: A new ornithischian ichnotaxon, pterosaur tracks and an unusual sauropod walking pattern Shiminogou. *Cretaceous Research*, 60: 176-193. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.12.005>
- Xing, L., Díaz-Martínez, I., Lallensack, J. N., Kim, K. D., Buckley, L.G., Romilio, A., Piñuela, L., Wang, D., Chen, Q., Yang, Q., Chou, C., Yin, H., Jin, Y., 2025. Cretaceous vertebrate tracks. En: Spencer, G., Lucas, Adrian, P., Hunt,

- Klein, H. (Eds.), Vertebrate ichnology, Tetrapod tracks and trackways. Capítulo 7, 479-747.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13837-9.00002-0>
- Zhang, X.J., Jiang, S.X., Cheng, X., Wang, X.L., 2019. New material of *Sinopterus* (Pterosauria, Tapejaridae) from the Early Cretaceous Jehol Biota of China. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 91(2): e20180756.
<https://doi.org/10.1590/0001-376520192018756>
- Zhou, C.F., Zhu, Z., Chen, J., 2022a. First pterosaur from the Early Cretaceous Huajiyang Formation of the Jehol Biota, northern Hebei Province, China: insights on the pedal diversity of Pterodactyloidea, *Historical Biology*, 35(7): 1129–1135.
<https://doi.org/10.1080/08912963.2022.2079085>
- Zhou, C.F., Niu, T., Yu, D.X., 2022b. New data on the postcranial skeleton of the tapejarid *Sinopterus* from the Early Cretaceous Jehol Biota. *Historical Biology*, 35(3): 356–363.
<https://doi.org/10.1080/08912963.2022.2042811>
- MANUSCRITO RECIBIDO: 23-01-2025
REVISIÓN RECIBIDA: 23-02-2025
ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 10-04-2025



EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y MINERÍA EN EL PUERTO RICO COLONIAL DURANTE EL SIGLO XIX: LA CONTRIBUCIÓN DE ÁNGEL VASCONI

Geological exploration and mining in 19th-century colonial Puerto Rico: the contribution of Ángel Vasconi

Isabel Rábano

Instituto Geológico y Minero de España, CSIC, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. i.rabano@igme.es

Resumen: La minería nunca fue una actividad económica predominante en la isla de Puerto Rico, con la excepción de la extracción de oro aluvial durante el siglo XVI. No obstante, la creación de la inspección de minas en 1837 representó un esfuerzo por reorganizar y fomentar este sector en el territorio colonial. En el contexto de un estudio más amplio sobre las inspecciones mineras en las colonias ultramarinas, este estudio examina la evolución del servicio minero en Puerto Rico durante el siglo XIX, los ingenieros que participaron en él y algunos de los trabajos que llevaron a cabo. Entre estos destacan las investigaciones geológicas realizadas por el ingeniero Ángel Vasconi, que le valieron la elaboración de dos mapas geológicos. El primero de ellos fue exhibido en la Exposición Internacional Colonial y de Exportación de Ámsterdam en 1883; mientras que el segundo mapa, presentado en dos escalas, fue confeccionado para su exhibición en la Exposición Histórico-Americana de Madrid en 1892. Sin embargo, estos mapas permanecieron inéditos, lo que contribuyó a que pasaran desapercibidos para investigadores y estudiosos posteriores. En este trabajo se reseñan por primera vez.

Palabras clave: Puerto Rico, siglo XIX, mapa geológico, minería, Ángel Vasconi.

Abstract: Mining was never a major economic activity on the island of Puerto Rico, except for alluvial gold extraction during the 16th century. However, the establishment of the mining inspection office in 1837 represented an effort to reorganize and promote this sector within the colonial territory. As part of a broader study on mining inspections in overseas colonies, this research examines the development of the mining service in Puerto Rico during the 19th century, the engineers involved, and some of their key contributions. Among these, the geological investigations conducted by engineer Ángel Vasconi stand out, leading to the creation of two geological maps. The first map was displayed at the International Colonial and Export Exhibition in Amsterdam in 1883, while the second, presented in two different scales, was exhibited at the Hispano-American Historical Exhibition in Madrid in 1892. However, these maps were never published, which contributed to their being overlooked by later researchers and scholars. This work presents them for the first time.

Keywords: Puerto Rico, 19th century, geological map, mining, Ángel Vasconi.

Rábano, I., 2025. Exploración geológica y minería en el Puerto Rico colonial durante el siglo XIX: la contribución de Ángel Vasconi. Revista de la Sociedad Geológica de España, 38 (1): 25-39.

Introducción

Puerto Rico, la menor de las islas que conforman el archipiélago de las Antillas Mayores, fue el segundo territorio en ser colonizado por los españoles en 1508. Durante los siglos XVI al XVIII, su economía se basó principalmente en la agricultura y la ganadería, mientras que la minería tuvo un papel secundario.

Debido a su ubicación geográfica, en el extremo oriental del Caribe, Puerto Rico fue blanco frecuente de ataques por parte de potencias rivales de España, como Francia, Inglaterra y los Países Bajos. En respuesta, la Corona destinó importantes recursos para fortificar la isla, financiados en gran medida por el denominado *situado mexicano*, un subsidio proveniente del Virreinato de Nueva España. Tras la independencia de México, esta ayuda económica cesó, lo que impulsó a la isla a desarrollar una economía más autosuficiente, basada principalmente en el cultivo del azúcar, el café y el tabaco, mientras que la minería continuó en un segundo plano (González Vales y Luque, 2012).

Desde la llegada de los españoles, la minería se había desarrollado fundamentalmente en torno a los yacimientos de oro conocidos desde antiguo en la sierra de Luquillo. Tal y como recoge el informe de Vasconi (1879), “los habitantes indios” utilizaban este metal únicamente “como objetos de puro adorno, limitándose a recoger los granos o pepitas que más llamaban su atención en las orillas de los ríos y torrentes”. Se trataba de depósitos de tipo placer “en los valles del Congos, Negres, Corozal y Cibuco”, que fueron explotados intensamente desde 1510, cuando el Gobernador Ponce de León instaló la primera fundición. Durante esos años remitieron a la península el “equivalente a casi 700.000 pesos”.

Esta minería sufrió posteriormente una lenta y prolongada decadencia debido a las epidemias, las invasiones extranjeras, el abandono de los trabajos por parte de los habitantes indígenas y la emigración de los españoles a otras provincias americanas más seguras. Las actividades mineras en Puerto Rico no fueron reguladas hasta mediados del siglo XIX por leyes, reglamentos y concesiones mineras. En 1863, la jurisdicción minera fue trasladada a Santo Domingo, durante la breve recuperación de este territorio para la Corona. Tras el abandono de este territorio por los españoles en 1865, pasó a depender de la inspección de Cuba. Con la incorporación del ingeniero de minas español Ángel Vasconi en 1876, la inspección de minas se volvió a instalar en Puerto Rico. Además del oro, fueron también objeto de interés el cobre, el hierro y el guano, este último para la extracción de fosfato cálcico para fertilizantes (Gelabert, 2011).

En relación con las investigaciones geológicas realizadas en Puerto Rico durante el siglo XIX, el geólogo sueco Per Teodor Cleve, de la Universidad de Upsala, ofreció en 1881 una somera descripción de la geología de la isla como parte de un recorrido más amplio incluyendo también las Islas Vírgenes, entonces colonia danesa. Posteriormente, Ángel Vasconi elaboró dos croquis geológicos de Puerto Rico en 1883 y 1892, los cuales, como se verá más adelante, nunca fueron publicados. Por su parte, la detallada

monografía de Robert T. Hill, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, sobre Cuba y Puerto Rico, apenas dedicó un párrafo a la geología puertorriqueña (Hill, 1898).

Dado que los mapas de Vasconi permanecieron inéditos, pasaron totalmente desapercibidos para los autores anglosajones, no solo para Hill, sino también para Henry K. Carroll (1899), el comisionado del presidente estadounidense William McKinley tras la retirada española de Puerto Rico en 1898. Del mismo modo, estos mapas no fueron considerados en las observaciones sobre la isla realizadas por el viajero y naturalista estadounidense Frederick A. Ober (1899) o por el periodista y escritor William Dinwiddie (1899). Este último dedicó un capítulo bastante detallado para su época sobre la geología y los recursos minerales de la isla. La labor de los ingenieros españoles en la inspección de minas en Puerto Rico durante el siglo XIX ha sido sistemáticamente obviada, como evidencian también los comentarios de Berkey (1919), Weaver (1975), Donnelly (1996) y Gelabert (2011).

El objetivo de la presente contribución es dar a conocer los aspectos hasta ahora ignorados de los primeros estudios geológicos llevados a cabo por los españoles en la isla de Puerto Rico. Se inscribe en un proyecto mayor orientado a completar la historiografía de las inspecciones de minas instaladas en el siglo XIX en los territorios ultramarinos: islas Filipinas (Rábano, 2020), Santo Domingo (actual República Dominicana) (Rábano y Escuder-Viruet, 2022), Cuba (Rábano, 2024) y, finalmente, Puerto Rico. También pretende reivindicar el trabajo de los ingenieros de minas llegados desde la península que, además de las tareas del servicio minero, abordaron estudios geológicos pioneros en aquellos territorios.

Para la elaboración de este artículo se han utilizado documentos textuales, cartográficos y fotográficos conservados en el Archivo Histórico Nacional (AHN), en la Biblioteca Nacional de España (BNE), en el Museo Arqueológico Nacional (MAN) y en la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). También ha resultado de interés la legislación publicada en la *Gaceta de Madrid* y en la *Gaceta de Puerto Rico*.

Los ingenieros de la inspección de minas de Puerto Rico

El 25 de octubre de 1832, Manuel Martínez, “de profesión descubridor de minas”, informó al gobernador civil y capitán general de Puerto Rico del hallazgo de una mina de oro en la sierra de Luquillo. Martínez solicitaba que se le concediese el *derecho de estaca*, es decir, poder deslindar la mina, así como el permiso para la búsqueda de accionistas y trabajadores para su explotación (AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10).

Por el interés que despertó la noticia en la metrópoli al tratarse de un yacimiento aurífero, pasó a informe de la Sección de Indias del Consejo Real. La conclusión fue que una comisión que debía nombrarse para que inspeccionase unas minas en Cuba, pasase primero por Puerto Rico para comprobar sobre el terreno la importancia del hallazgo. Por su parte, y adelantándose a las resoluciones que llegasen desde Madrid, el gobernador había solicitado a un “farmacéutico

químico” de la isla, Agustín Micard, unos ensayos sobre las muestras proporcionadas por Martínez. El estudio reportó la presencia de 36 gramos de oro en “70 libras de tierra”, con lo que se le reconoció a este último el título de descubridor de la mina (AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10).

En Madrid, la Dirección General de Minas, con Rafael Cavanillas al frente, reconoció en junio de 1835 la importancia de examinar la mina puertorriqueña, pero no fue hasta 1836 cuando se constituyó la comisión recomendada por el Consejo Real. La persona elegida para viajar a Cuba y Puerto Rico y hacerse cargo, de paso, de los asuntos mineros de ambas islas fue, en un principio, Isidro Sainz de Baranda, un joven ingeniero de minas que, por circunstancias personales, deseaba alejarse de la península (Rábano, 2018). Finalmente, optó por ocupar en 1837 un destino aún más lejano como fue la nueva inspección de minas de las islas Filipinas. La Dirección General de Minas seleccionó otro candidato para llevar a cabo esta comisión, tarea que recayó en Joaquín Eizaguirre Bailly, nombrado jefe de la nueva inspección de minas de Cuba y Puerto Rico por Real Decreto de 14 de julio de 1837.

Nacido en Santander en 1812, aunque de ascendencia vasca, Eizaguirre era también otro joven ingeniero de minas en busca de nuevos horizontes profesionales. Su cometido era atender los asuntos mineros cubanos y puertorriqueños, auxiliando en ello a los correspondientes gobernadores y capitanes generales, desde cuyos despachos se atendían estos asuntos. Se instaló en Cuba, donde la minería se revelaba más importante. Pero no dejó de realizar la encomienda de visitar la sierra de Luquillo, en el noreste de Puerto Rico, y atender la denuncia del “descubridor de minas” Manuel Martínez. El 11 de junio de 1838 remitió su informe a la Dirección General de Minas, en el que confirmó que “algunos ríos contienen oro, y en bastante abundancia las aguas que descienden por la vertiente norte de la sierra de Luquillo, en la parte que denominan río de los Marruyes [...] el oro se encuentra en pepitas casi puro, pero no son raros los granos y se citan también pepitas de media onza: las tengo yo del peso de 21, 25, 27 y 31 gramos y he visto algo mayores” (AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10, n.º 50; ver también Eizaguirre, 1844).

Joaquín Eizaguirre regresó a la península en 1853, y ningún ingeniero de minas volvió a ocuparse de Puerto Rico hasta 1863, cuando se instaló allí Cirilo de Tornos (AHN, Ultramar, leg. 1132, exp. 6). Venía de desempeñar la jefatura de la inspección de minas de Santo Domingo, creada en 1862 tras el reconocimiento geológico que había realizado en 1861 Manuel Fernández de Castro, cuando localizó “depósitos de carbón de piedra” en la península de Samaná (Rábano y Escuder-Viruete, 2022). Desafortunadamente, Tornos falleció repentinamente en agosto de 1865 y la inspección de Puerto Rico fue suprimida (*Gaceta de Madrid*, 18/11/1865), sin que desde el Ministerio de Ultramar se tomase ninguna decisión sobre ella. Los asuntos del ramo se atendieron desde la isla de Cuba, una vez que Santo Domingo dejó de ser española, de acuerdo con la disposición adicional primera del Real Decreto del régimen de la minería en Puerto Rico de 15 de enero de 1867 (*Gaceta de Madrid*, 03/03/1867).

Diez años más tarde, en 1875, el Negociado de Industria y Minas del Ministerio de Ultramar propuso el restablecimiento de este servicio alegando que “a pesar de su privilegiado suelo, tiene su industria minera del todo paralizada por no haber ingeniero alguno que pueda darla a conocer y con sus luces y consejos animar a excitar a los industriales a emprender investigaciones y explotaciones [...] es proverbial y conocido el oro de las minas de Luquillo, además de los minerales de cobre, lignito y otras sustancias lapideas y térreas, cuya importancia está iniciada pero no se conoce ni ha podido adquirir desarrollo alguno [...] Además del desarrollo expuesto de la industria minera, el estudio geológico de su suelo en la pequeña Antilla debe ser el objetivo para restablecer cuanto antes el servicio minero” (AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 6). No cabe ninguna duda de que en ello tuvo algo que ver Manuel Fernández de Castro. Con gran experiencia en asuntos ultramarinos, había sido nombrado recientemente director de la Comisión del Mapa Geológico de España, y fue el autor, junto con Pedro Salterain, del primer mapa geológico de Cuba (Rábano, 2024).

De esta forma, una Real Orden de 16 de junio de 1875 reguló el nombramiento de un ingeniero de minas y de un auxiliar facultativo para restablecer la inspección de minas de Puerto Rico, a la vez que se incluyeron en los presupuestos de Ultramar para 1876 las partidas económicas correspondientes (Fig. 1). La Junta Superior Facultativa de Minería (heredera de la antigua Dirección General de Minas) realizó un llamamiento a los cuerpos profesionales correspondientes solicitando voluntarios para ambos puestos. Entre los ingenieros se presentaron Serafín Baroja (el padre del escritor Pío Baroja), Francisco Pinar, Wenceslao González y Ángel Vasconi; y entre los auxiliares Manuel Calderón y Valentín Pellitero. Fueron Vasconi y Pellitero los que finalmente recibieron el nombramiento para ocupar las plazas vacantes en Puerto Rico (Real Orden de 16 de mayo de 1876).

Ángel Vasconi y Vasconi era natural de Córdoba, donde nació en 1846. Ingresó en 1864 en la Escuela de Minas y finalizó los estudios en 1869. Fue destinado al distrito minero de Córdoba, donde prestó sus servicios hasta su nombramiento para ocupar la jefatura de la inspección de minas de Puerto Rico. En el viaje a Puerto Rico, para el que se embarcó el 10 de septiembre de 1876 en Cádiz, le acompañó el auxiliar Valentín Pellitero, quien venía de ocupar una plaza en el distrito minero de Huelva. En 1880, Pellitero pasó a desempeñar sus servicios en la inspección de Cuba, en un puesto mejor dotado económicamente (Rábano, 2024: tabla 1; AHN, Ultramar, leg. 105, exp. 5). En 1882 se incorporó un nuevo auxiliar, Agapito Eugenio Escobar y García (AHN, Ultramar, leg. 320, exp. 6), quien colaboró con Vasconi hasta que, en los presupuestos de 1886/1887 para la isla de Puerto Rico, la inspección de minas fue suprimida. El personal del ramo de minas se quedó reducido a un ingeniero, Vasconi, que pasó a ocupar la jefatura de Fomento en la Secretaría del Gobierno General de la isla. Ya en 1880 había sido nombrado, con carácter interino, jefe del Negociado de Obras Públicas, Construcciones Civiles, Montes y Minas de la Secretaría del Gobierno de

*Plantilla del Personal y material
Para el servicio de Minas de la Isla de
Puerto Rico, aprobada por B.O. de 16 de
Junio de 1879.*

	<i>Pesetas.</i>		
	<i>Sueldos.</i>	<i>Sobresueldos.</i>	<i>Total.</i>
<i>Un Ingeniero jefe de 2.ª clase</i>			
<i>jefe de Primer a 3.ª</i>	7.500.	10.000.	17.500.
<i>Un auxiliar facultativo</i>			
<i>de 3.ª clase</i>	2.000.	4.000.	6.000.
<i>Material de oficina, es-</i>			
<i>critorio &c</i>	" "	" "	2.000.
<i>Para indemnizaciones & re-</i>			
<i>tas del ingeniero y auxiliar</i>	" "	" "	4.000.
<i>Total pesetas...</i>	<i>7.500.</i>	<i>14.000.</i>	<i>21.500.</i>

Madrid 16 de Mayo de 1876.

Fig. 1.- Estructura de la inspección de minas de la isla de Puerto Rico en 1876: personal asignado y recursos de oficina. AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 9, n.º 24.

Puerto Rico. Desde su nueva responsabilidad en la Sección de Fomento seguía ocupándose del servicio minero, pero también de otros muchos asuntos relativos al nuevo puesto, como se puede apreciar en las numerosas disposiciones publicadas en la *Gaceta de Puerto Rico* entre 1887 y 1897. La plaza que ocupaba Vasconi fue suprimida en agosto de 1897 (*Gaceta de Madrid*, 24/08/1897) cuando Cuba y Puerto Rico estaban a las puertas de conseguir un régimen autonómico, que tuvo lugar el 25 de noviembre de 1897. Se trató de un último intento de la administración liberal por conservar estos territorios ultramarinos, que propició el que pudieran contar con órganos de representación y gobiernos propios, pero que finalmente se reveló inútil. El desastre de 1898 no tardaría en producirse (Alonso Romero, 2004-2005).

Cuando Ángel Vasconi regresó a la península en 1897, con 51 años de edad y tras haber pasado 21 años en Puerto Rico, se incorporó a la Junta Superior Facultativa de Minería, en su categoría de ingeniero jefe de primera clase. Fue nombrado jefe del Negociado de Minas del Ministerio de Fomento, y en 1904 ascendió a subdirector de Agricultura, Industria y Comercio. En 1909 participó en una comisión especial para el proyecto de una nueva ley de minas, en la que tuvo ocasión de compartir y discutir con representantes del Partido Socialista Obrero Español el régimen de trabajo en las minas españolas (Vasconi, 1910). Tras su ascenso a inspector general, Vasconi alcanzó en 1911 la presidencia del Consejo de Minería, el órgano heredero de la Junta Superior Facultativa de Minería que, desde el Ministerio de Fomento, regulaba el cuerpo de ingenieros de minas. Falleció en 1913 en Torre del Mar (Málaga), estando aún en activo ([Anónimo], 1913).

Ángel Vasconi: su labor en el servicio minero de Puerto Rico

Una vez que Vasconi tomó posesión de la jefatura de la inspección de minas de Puerto Rico, redactó una memoria minera de la isla a solicitud de la Junta Superior Facultativa de Minería (Vasconi, 1879). Tras una extensa introducción histórica sobre la minería de la isla desde la llegada de los españoles a comienzos del siglo XVI y las circunstancias por las que había pasado la minería puertorriqueña, Vasconi describió con gran detalle la situación y extensión de las minas en esos momentos, evidenciando el papel fundamental que las transferencias (Fig. 2) desempeñaron en la economía colonial y en la consolidación del Imperio Español. Entre las pocas explotaciones en activo, las más frecuentes eran las de oro y cobre, y, en menor medida, las de hierro, plomo, plata, estaño, platino, lignito y azabache.

En la memoria, Vasconi concedió gran importancia a las dos salinas marítimas de propiedad estatal, ubicadas en la costa suroeste de la isla: la de Cabo Rojo y la de Guánica, que, por circunstancias especiales, no estaban sujetas a la ley de minas de Puerto Rico. Las conocía bien a partir de un detallado estudio que acababa de realizar sobre ambas a solicitud del gobierno de la isla para evaluar su posible arriendo o venta (Vasconi, 1878). Las salinas de Guánica estaban constituidas por “tres charcas o lagunas” (Fig. 3) que producían una “sal bastante oscura”, con una producción media anual de “2.386 fanegas, cuyos derechos ascienden a 1.983 pesetas”. Por su parte, la salina de Cabo Rojo era la más importante de la isla. De gran extensión, estaba situada en la parte más occidental, en la que los vientos “reinantes que tienen la dirección de NE a SO [...] llegan a las salinas bastante secos para favorecer notablemente la concentración de la sal”. Entre 1872 y 1876, periodo para el que Vasconi pudo obtener información sobre su producción, esta había sido de 40.016 fanegas de sal, y los beneficios para Hacienda ascendieron a 50.020 pesetas. Como conclusión de la memoria sobre las salinas estatales, la inspección de minas recomendó en primera instancia la explotación directa por el Estado o, en su defecto, el arrendamiento durante diez años frente a la posibilidad de su venta. Sin tener en cuenta la opinión de la inspección, el Consejo de Estado, con la conformidad de la Junta Superior Facultativa de Minería, recomendó su venta en subasta pública. El Estado vendió por 11.700 pesos fuertes la de Guánica (un peso fuerte equivalía a 8 reales), y por 170.000 la de Cabo Rojo (Vasconi, 1895).

A través de los índices de los partes sobre el ramo de minas que el gobierno de la isla enviaba mensualmente al Ministerio de Ultramar (Fig. 4), se puede constatar que la actividad de la inspección era bastante reducida, en su mayoría relacionada con pequeñas explotaciones de oro, cobre o las salinas estatales y particulares (AHN, Ultramar, exp. 330. leg. 6). En 1880, y como un apéndice al informe sobre la minería de Puerto Rico que acababa de remitir a la península (Vasconi, 1879), el ingeniero elaboró una propuesta para reactivar la explotación del oro. Vasconi proyectó investigar de forma detallada los aluviones auríferos, identificar aquellos que fueran más beneficiosos

Estudo que manifiesta las remesas de
de oro llegadas a España, procedentes de
la Isla de Puerto-Rico. m.

Llegado a España	Pesos	To- mín- nos.	Gra- mos	Llegado a España	Pesos	To- mín- nos.	Gra- mos
1509. Agosto 16.º	8.975	3	0	Viene	151.254	19	8
1511. Agosto 7	10.000	0	0	1520. Marzo 20	3.912	5	0
1512. Enero 8	6.234	4	0	" Julio 23	4.747	0	0
" Agosto	16.057	1	0	" Obre 5	2.299	3	0
" Nobre 27	5.000	0	0	" Obre 23	4.745	0	0
1514. Abril	5.000	0	0	1521. Mayo 3	4.999	3	0
" Setiembre 22	4.000	0	0	" Mayo 12	5.000	0	0
" Nobre 28	9.000	0	0	1522. Marzo 8	4.000	0	0
" Nobre 1				" Agosto 2	3.979	0	0
1515. Obre 1	5.000	0	0	1530. Junio 22	2.450	0	0
" Obre 10	5.000	0	0	" Junio 30	5.400	0	0
" Obre 22	5.001	7	0	" Julio 6	5.400	0	0
" Obre 8	2.000	0	0	1531. Julio 7	6.500	0	0
1516. Febrero 19	7.490	4	8	1532. Agosto 16	4.000	0	0
" Abril 19	4.000	0	0	" Sete 3	5.000	0	0
1517. Mayo 9	5.000	0	0	1533. Julio 14	4.000	0	0
1518. Febrero 7	8.000	0	0	1534. Mayo 8	3.500	0	0
" Marzo 6	8.000	0	0	1535.	1.848	0	0
" Agosto 2	10.000	0	0	1536. Mayo 2	5.000	0	0
" Obre 13	7.497	0	0	" Mayo 29	5.000	0	0
1519. Agosto 9	10.000	0	0	Suma	233.053	30	8
1520. Enero 22	10.000	0	0	Multiplícase por	3		
Tasa	151.254	19	8	Total	699.160		

(1). Historia de Puerto-Rico, página 143.

Fig. 2.- Una muestra de las remesas de oro enviadas desde Puerto Rico a España en el siglo XVI, reproducida por Vasconi (1879). Según Gelabert (2011), algunos historiadores estiman que, durante los primeros cuatro años de la colonización española de Puerto Rico, se extrajeron aproximadamente 80.000 onzas de oro. Nota: En aquel momento, un peso equivalía a 25 gramos de oro; un tomín correspondía a medio gramo; cada tomín se valoraba en 7.034 pesos.

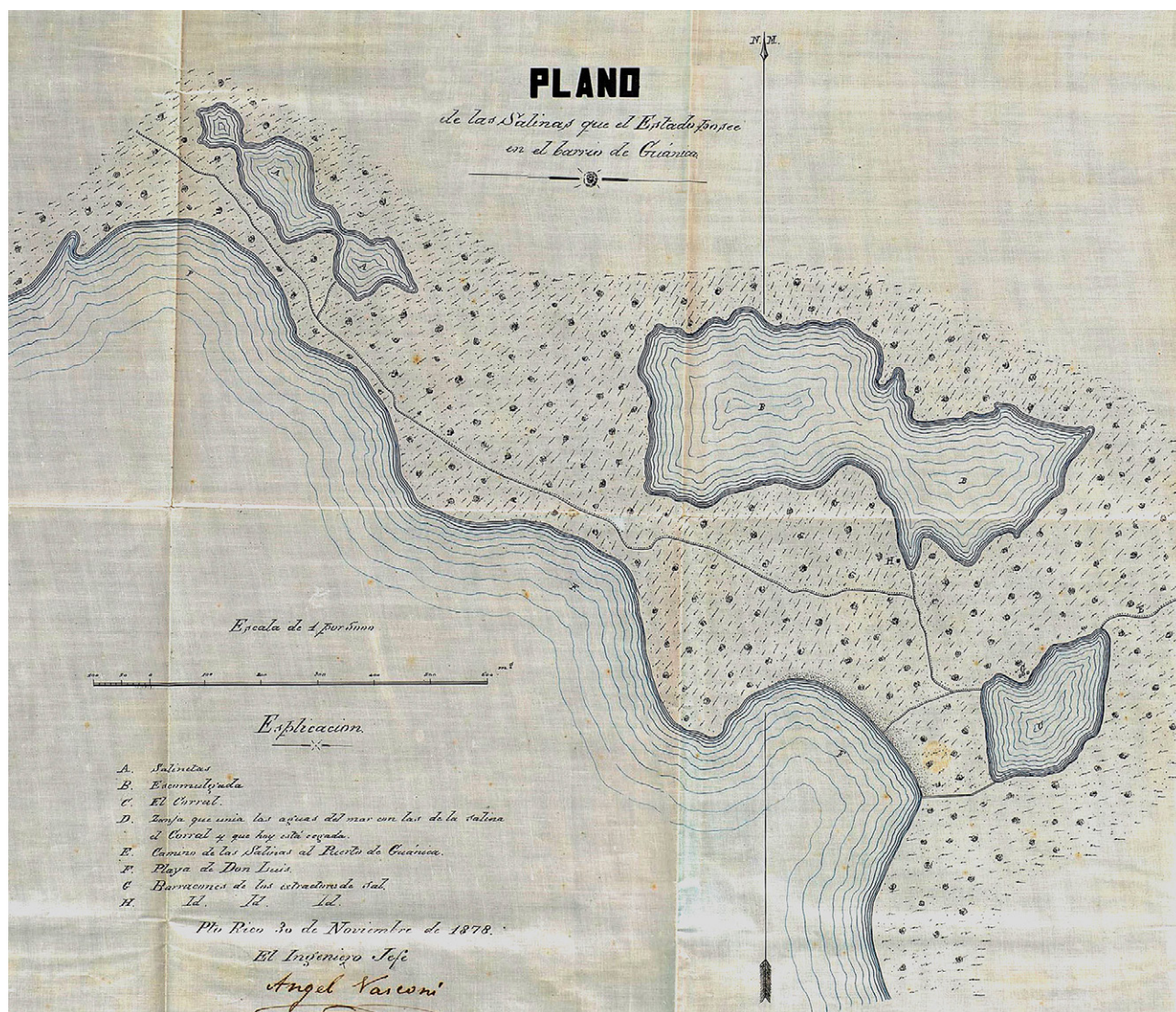


Fig. 3.- Plano a escala 1/5.000 de las salinas estatales de Guánica, realizado por Ángel Vasconi en noviembre de 1878. Soporte: tela encerada, 48 cm x 68 cm. AHN, Ultramar, MPD. 84.

y publicar la información en la *Gaceta de Puerto Rico* para animar a los empresarios a invertir en su explotación. Para el estudio, que sería ejecutado por la inspección de minas, se precisaba de un presupuesto de “3.000 pesos”, teniendo en cuenta que “todos estos esfuerzos tienen por objeto el desarrollo de la industria, en la que está muy interesado el Estado”. En efecto, el Ministerio de Ultramar estuvo de acuerdo en los beneficios que tal estudio produciría en el desarrollo económico de la isla. Sin embargo, al no disponer del presupuesto solicitado, el proyecto quedó en suspenso (AHN, Ultramar, leg. 347, exp. 8).

Un recurso económico de relativa importancia en Puerto Rico para las arcas de Hacienda fue la explotación del guano producido por murciélagos en las cuevas de las islas de Mona y Monito, con un elevado contenido en fosfato para ser utilizado como fertilizante. Ubicadas al oeste de la isla, en el estrecho que las separa de la República Dominicana, desde mediados del siglo XIX se produjeron algunos intentos de explotación de este recurso, que cada vez cobraba más importancia en el mercado internacional (Franck, 1998; Cortés Zavala y Uribe Salas, 2012). Su be-

neficio se regularizó en 1877 con la autorización para su explotación a los empresarios Miguel Porrata Doria y Juan Contreras Martínez (AHN, Ultramar, leg. 389, exp. 11).

Una Real Orden del Ministerio de Ultramar de 19 de junio de 1882 requirió al gobernador de la isla un informe con el que poder afrontar una solicitud de los empresarios de exención de los impuestos en la importación de maquinaria y de herramientas para la explotación del guano. El informe, realizado por Vasconi (1883), tiene el mérito añadido de las circunstancias del objeto de estudio. Se trata de dos pequeñas islas que distan 70 km de Puerto Rico, habitadas por aquel entonces solo por pescadores y trabajadores del guano: “El aspecto de la primera de las indicadas islas [Mona] no deja de impresionar el ánimo del que, por primera vez se aproxima a sus costas, [...] las oscuras e irregulares bocas de un gran número de cuevas [...] está formada por una meseta de rocas calizas, elevada cuarenta o cincuenta metros sobre el mar y cortada verticalmente por todo su borde, de tal manera que no es posible desembarcar en la Mona más que por algunos puntos de la costa Sur y Oeste” (Fig. 5). Realizó un reco-

GOBIERNO GENERAL DE LA ISLA DE PUERTO-RICO.			
Negociado	Indice de los asuntos despachados en el Gobierno General		
Número	de la Isla de Puerto-Rico por el Negociado de Obras Públicas, Construcciones Civiles, Montes y Minas, relativos al ramo de Minas.		
	Mes de Febrero.		Año de 1877.
núm. del registro	Direccion	dia	Asuntos
55	Al Ministro de Ultramar	3	Remitiendo el indice de los asuntos de Minas despachados por el Negociado de Obras Públicas, Montes y Minas durante el mes de Diciembre último.
6106	Inspector de Minas	4	Trasladándole la R. O. n.º 22 y remitiéndole las dos copias impresas personales de la R. O. del Ministro de Fomento de 20 de Setiembre último relativa al informe del cuerpo de Minas.
6181	Al mismo.	13	Remitiéndole en dos legajos el expediente completo del registro de la Mina "Santa Amalia", solicitado por D.º Lino Enstadery hoy de propiedad de D.º Francisco Llauro.
6182	id id	"	Remitiéndole una instancia de D.º Francisco Llauro en que solicita

Fig. 4.- Primera página del registro de asuntos gestionados por el servicio minero de Puerto Rico en febrero de 1877. AHN, Ultramar, leg. 330, exp. 6, n.º 20.

rrido por la isla, llegando a la conclusión de que las calizas eran “terciarias” y de que “el levantamiento sobre el nivel del mar ha debido verificarse gradual y lentamente con posterioridad a dicho periodo”. Inspeccionó también las cuevas, “de grandísima extensión” algunas de ellas, “comunicándose con el exterior por medio de grietas de la roca y unas con otras por galerías subterráneas, que forman tan intrincado laberinto, que es muy fácil extraíarse”.

Vasconi estimó en más de 80.000 toneladas el guano que podrían contener las cuevas y, de acuerdo a los análisis realizados por “el profesor Shepard de Charleston” (sobre Charles Upham Shepard, ver <https://www.scencyclopedia.org/sce/entries/shepard-charles-upham/>), el guano contenía entre el 26 y el 37 % de ácido fosfórico. Vasconi indicó que los trabajos realizados hasta entonces no habían sido lo suficientemente productivos, pues se habían restringido a dos cuevas, las denominadas Lirio y Pájaro. En relación

con el producto obtenido, y con datos previos a mayo de 1882, se habían exportado más de 1.000 toneladas en buques fletados por cuenta de la empresa arrendataria. Vasconi (1883) concluyó que la explotación del guano tenía un gran potencial, aún desaprovechado, y resultaba de especial importancia para la agricultura, la única fuente de riqueza de Puerto Rico. Además, el Estado recibía dos pesos por tonelada exportada.

En esta ocasión, la opinión del ingeniero de minas sí fue tomada en cuenta, y la empresa Porrata Doria, Contreras y Compañía obtuvo las franquicias solicitadas (AHN, Ultramar, leg. 389, exp. 18). La concesión de esta empresa, que había sido subarrendada a una compañía alemana, continuaba a finales del siglo XIX (Vasconi, 1895). En el ejercicio 1893-1894 trabajaban unos 300 operarios en isla de Mona y se habían exportado a Europa más de 9.000 toneladas, por las cuales el Tesoro había recibido en derechos casi 19.000 pesos.

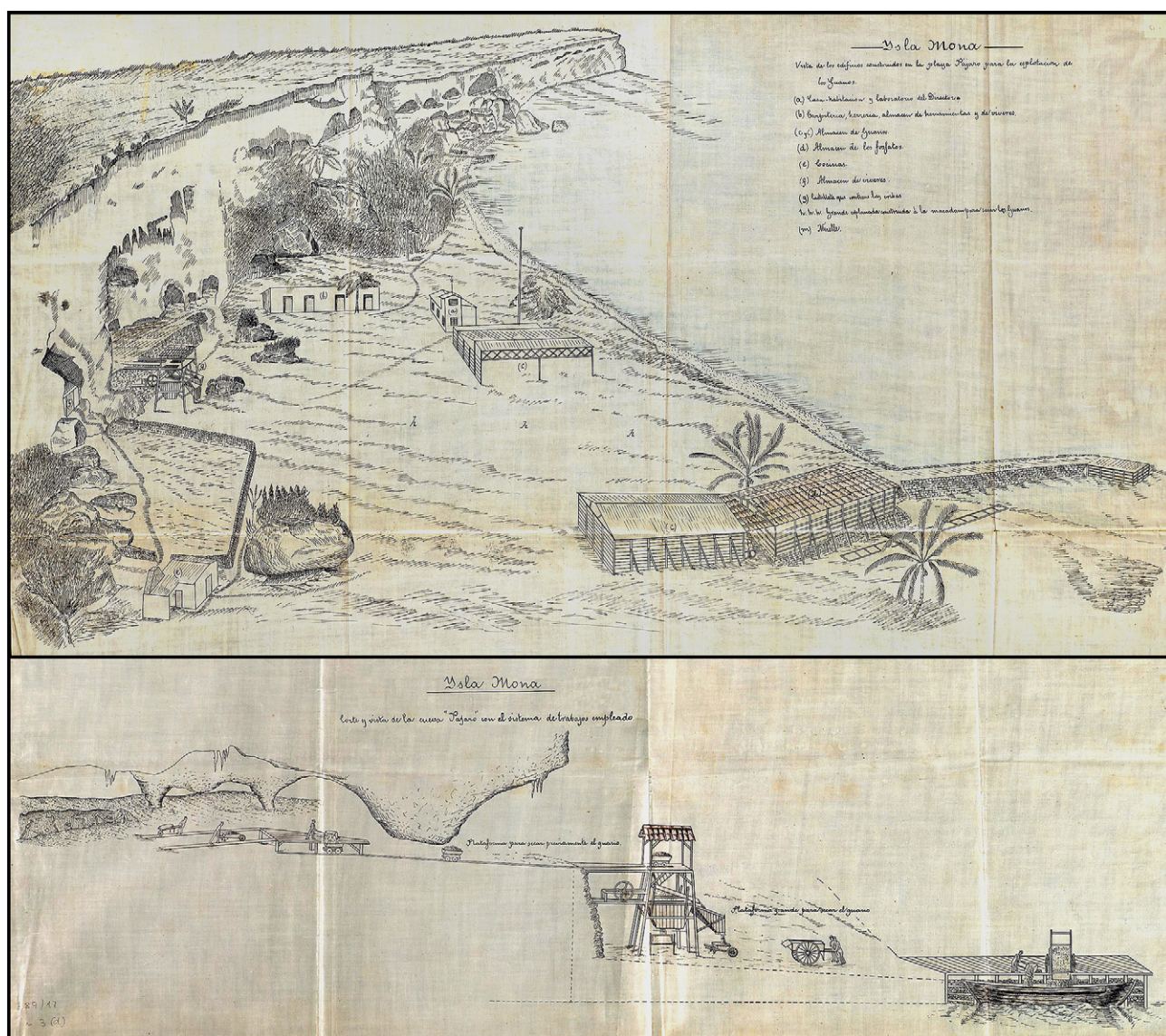


Fig. 5.- Dibujos incluidos en el informe de Ángel Vasconi (1883) sobre la explotación de guano en la isla de Mona. Arriba, vista de las cuevas y de los edificios construidos en la playa Pájaro. Soporte: tela encerada, 40,9 cm x 68 cm. AHN, Ultramar, MPD. 534, n.º 2. Abajo, corte de la cueva Pájaro, en la playa homónima, con el sistema de trabajo empleado. Soporte: tela encerada, 38,7 cm x 69,3 cm. AHN, Ultramar, MPD. 534, n.º 3.

Las exposiciones y el mapa geológico de Puerto Rico

Cuando Ángel Vasconi se incorporó en 1876 a la inspección de minas de Puerto Rico, entre los cometidos relacionados con el servicio minero se encontraba el de emprender los estudios geológicos de la isla de acuerdo a las instrucciones recibidas de la Comisión del Mapa Geológico (ver Anexo). Uno de los objetivos era el de componer el mapa geológico de la colonia siguiendo la misma metodología que se estaba aplicando en la península a las cartografías geológicas provinciales. No se ha encontrado ninguna evidencia que desvele cómo Vasconi llevó a cabo esta encomienda. Lo que sí se conoce es que, en 1883, presentó un croquis geológico de Puerto Rico en la Exposición Internacional Colonial y de Exportación de Ámsterdam (Fig. 6).

Las exposiciones universales, internacionales, nacionales, o aquellas especializadas en una determinada materia, fueron escaparates de la expansión colonial de Occidente

en la segunda mitad de siglo XIX y principios del XX. El propósito era mostrar el desarrollo alcanzado por los países organizadores y por todos los invitados a participar en estos eventos (Sánchez Gómez, 2002; Valverde Contreras, 2015). Uno de esos certámenes fue la citada exposición, celebrada entre mayo y octubre de 1883 en Ámsterdam (Países Bajos). Resultan muy significativos los tres grandes grupos de “productos” a mostrar en los que se organizó dicha Exposición Internacional Colonial y de Exportación: i) la naturaleza de las comarcas conquistadas y colonizadas; ii) las poblaciones indígenas de estas comarcas; y iii) los europeos en estas comarcas y sus relaciones con los indígenas ([Exposición Colonial], 1883).

España fue uno de los países invitados y, ya desde 1882, el cónsul español en Ámsterdam exhortaba a la comisión central de Madrid para que se garantizase una buena representación de productos peninsulares y de las colonias (AHN, Ultramar, leg. 139, exp. 8). En Puerto Rico se creó



Fig. 6.- Croquis geológico a escala 1/250.000 de la isla de Puerto Rico por Ángel Vasconi (fechado el 31 de diciembre de 1882), acompañado con un corte geológico entre los ríos Blanco y Prieto, pasando por los afloramientos de cobre de la mina Perseverancia. Soporte: tela encerada, 54 cm x 57 cm. BNE, GMG/1023-0012. Arriba, documento original. Abajo, detalles del croquis y de la leyenda.

una subcomisión provincial para organizar la participación de la isla, y Ángel Vasconi fue nombrado secretario de la misma. Publicaron una memoria específica ([Reseña], 1883), que incluyó un apartado dedicado a la geología y a la mineralogía, y otro a las minas y metalurgia. La inspección de minas contribuyó a la exposición con el croquis geológico de la isla y con una colección de minerales ([Exposición Colonial], 1883). Aunque quedó inédito, este mapa geológico esquemático (Fig. 6) constituyó la primera representación cartográfica de la constitución geológica de toda la isla. En él se distingue la amplia extensión alcanzada por los terrenos cenozoicos marinos de la mitad norte de la isla (el llamado Cinturón del Carso Norteño), de naturaleza esencialmente carbonatada; el eje de rocas “secundarias” que se integran en la Cordillera Central (oeste-este) de la isla; y las tierras bajas costeras del sur, cartografiadas también como zonas “terciarias”, a semejanza de las del norte. En el mapa figura ya la Granodiorita de San Lorenzo, sobredimensionada en su extensión, y dos pequeños asomos descritos como “formación del gneis”. El primero coincide con un macizo de rocas piroclásticas del Cretácico localizado en la sierra de Luquillo (al noreste), y el segundo con uno de los diversos afloramientos de rocas basálticas o basalto-andesíticas del Cretácico-Paleógeno en el entorno de Mayagüez (al oeste).

La exposición de Ámsterdam fue visitada por el geólogo español Juan Vilanova y Piera durante un viaje que realizó en verano de 1883 por Suiza, Francia y Bélgica para participar en algunos congresos y conocer museos de su interés. Aunque se detuvo más en las exhibiciones relacionadas con la antropología y la paleontología, citó en su memoria el croquis geológico de Puerto Rico que había presentado la inspección de minas de la isla (Vilanova y Piera, 1888: 392), el cual se conserva en los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

También en 1883, entre mayo y noviembre, tuvo lugar en Madrid la Exposición Nacional de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica, Cristalería y Aguas Minerales. Fue organizada por el gobierno para mostrar al país las últimas novedades relacionadas con la industria minera y las riquezas naturales de la nación. La inspección de minas de Puerto Rico envió muestras de minerales y rocas, entre ellas pepitas de oro de la colección particular de Ángel Vasconi, pero ningún mapa geológico ([Exposición Nacional], 1883).

Donde sí se mostró una versión actualizada del mapa geológico de Puerto Rico de Vasconi fue en 1892 en la Exposición Histórico-Americana de Madrid, promovida por la Casa Real para conmemorar el cuarto centenario de la llegada de Colón a América. En ella se “ofrecería el estado en que se hallaban por los días del descubrimiento, y de las principales conquistas europeas, los pobladores de América, agrupando al efecto cuantos objetos concurren a dar idea del origen y progreso de su relativa cultura” (*Gaceta de Madrid*, 10/01/1891). Esta exposición se acompañó por una segunda, la Exposición Histórico-Europea, para comparar culturalmente los países separados por el océano Atlántico, incidiendo de una forma un tanto taimada en la superioridad del continente europeo sobre el americano (Rodrigo del Blanco, 2017).

Los contenidos geológicos y mineros que debían mostrarse en la Exposición Histórico-Americana fueron seleccionados por una comisión del cuerpo de ingenieros de minas, encabezada por Manuel Fernández de Castro. Destacaron las colecciones de rocas, fósiles y minerales de Cuba, Puerto Rico y Santo Domingo, una versión previa de un catálogo de bibliografía minera hispanoamericana que estaba preparando la Comisión del Mapa Geológico, y los mapas, “o mas bien tanteos geológicos de las islas de Cuba, Puerto Rico y Santo Domingo, que impresos o inéditos existían en la Comisión del Mapa Geológico de España” ([Exposición Histórico-Americana], 1892). La representación de Puerto Rico no fue lo espectacular que hubieran deseado desde la isla. La comisión que se constituyó allí al efecto no pudo reunir las colecciones que en principio deseaban mostrar, ni dispuso del crédito necesario para contratar a personas que pudieran encargarse de su organización (Infesta, 1895). Para que no faltase una representación de la minería puertorriqueña, Ángel Vasconi remitió una colección de minerales (Fig. 7) y, a solicitud de Manuel Fernández de Castro, preparó un nuevo “croquis geológico” de Puerto Rico, basándose en el que había presentado en la Exposición Colonial de Ámsterdam de 1883 ([Exposición Histórico-Americana], 1892: 62-63) (Fig. 8).

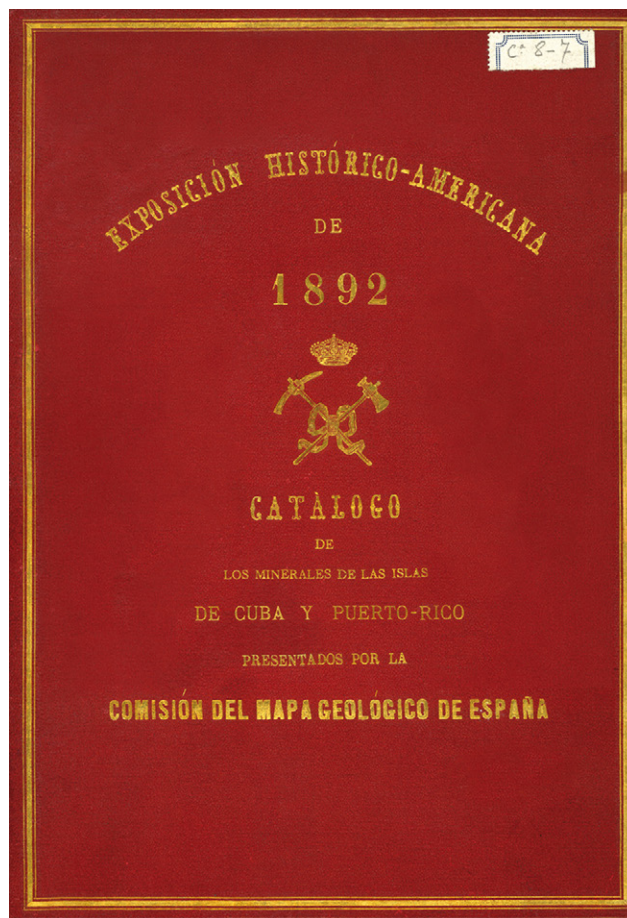


Fig. 7.- Portada del catálogo de las colecciones de minerales de Cuba y Puerto Rico presentadas por la Comisión del Mapa Geológico de España en la Exposición Histórico-Americana (Madrid, 1892). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

Por comparación con el mapa precedente, el croquis de 1892 evidencia una mayor precisión en los contornos de las distintas provincias geológicas de la isla, con incorporación de nuevos terrenos, entre los que se comienza a atisbar la gran extensión alcanzada por las rocas volcánicas

“antiguas”, tanto en la sierra de Luquillo como en el eje de la Cordillera Central, el registro de rocas volcánicas ácidas “modernas” próximas a la Sierra Bermeja y las llanadas cuaternarias del oeste de la isla, además de las numerosas salinas costeras y de interior. Sin duda, en los nueve años

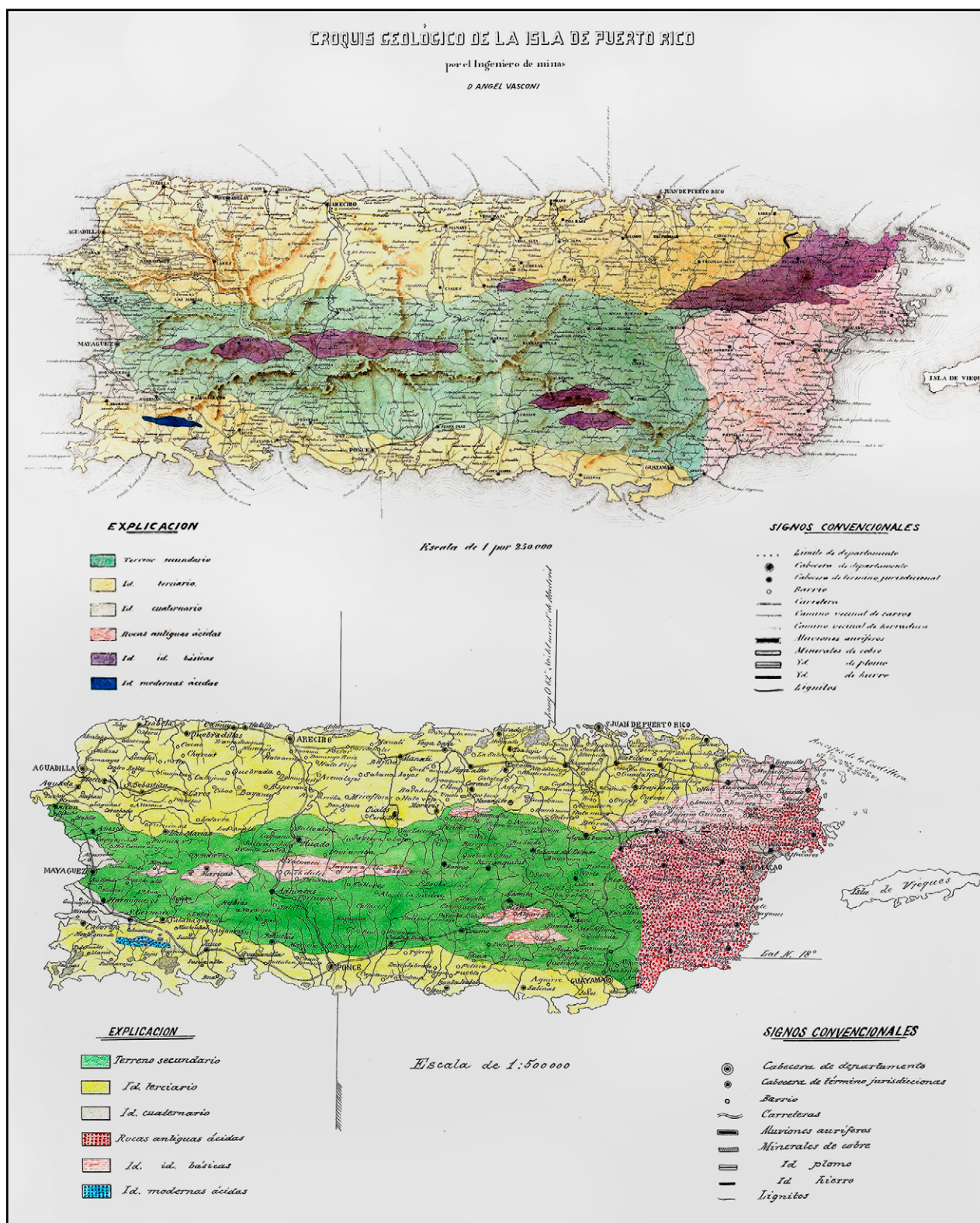


Fig. 8.- Reproducción fuera de escala de los croquis geológicos de la isla de Puerto Rico a escala 1/250.000 (arriba) y 1/500.000 (abajo) producidos por Ángel Vasconi en 1892. En ambos casos se ha ampliado la leyenda geológica (a la izquierda) y la de los signos convencionales (a la derecha). En estos últimos, el autor señaló los indicios minerales de oro aluvionar, cobre, plomo, hierro y lignitos. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

que mediaron entre la confección del primer y del segundo croquis geológico, el mapa acredita la realización de numerosos recorridos de campo, no siempre en lugares de fácil acceso, echándose de menos que no se haya conservado la documentación complementaria a estos trabajos, ni se llegara a publicar memoria explicativa alguna. El mapa actualizado de 1892 fue producido simultáneamente en dos escalas, 1/500.000 y 1/250.000, sin indicación de los usos a los que fueron destinados y sin que ninguno de ellos se viera finalmente publicado.

Ante el éxito y la proyección internacional que alcanzaron las dos exposiciones de 1892, y aunque no estaba inicialmente previsto, un Real Decreto de 25 de marzo de 1893 dispuso que ambas se fundieran en una nueva: la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica. En ella se exhibirían los objetos que no hubieran sido retirados por las delegaciones americanas y europeas con destino a la Exposición Colombina Mundial (*World's Columbian Exposition*), prevista para celebrarse en Chicago entre mayo y octubre de 1893. El cuerpo de minas conservó en la sala dedicada a “Industria y minería históricas” (Fig. 9) los materiales reunidos para la Histórico-Americana ([Breve noticia], 1893; Rábano, 2017), con lo que el mapa geológico de Puerto Rico continuó exhibiéndose hasta la clausura del certamen, el 30 de junio de 1893, si bien no conocemos cual de los dos fue el que se expuso. El depósito final de ambos se realizó en los locales de la Comisión del Mapa Geológico de España, de la que es heredera el IGME, en cuya Biblioteca se han conservado desde entonces.

Consideraciones finales y conclusiones

La información proporcionada por Carroll (1899) al gobierno de los Estados Unidos acerca de la industria minera en Puerto Rico resulta sumamente significativa. Su memoria general sobre la isla, elaborada a partir de las visitas realizadas en octubre de 1898 y enero de 1899, ofrece un análisis detallado del estado de la minería en ese periodo. Con el fin de recabar esos datos, Carroll mantuvo reuniones con Francisco T. Sabat, subdirector de Aduanas de San Juan, y con el Dr. Carbonell, secretario de Interior en la nueva administración colonial estadounidense, quienes le

facilitaron información clave sobre los recursos minerales de la isla.

Entre los recursos mencionados destacan las salinas, el guano, los yacimientos de cobre en Naguabo, el hierro en El Yunque (sierra de Luquillo) y las explotaciones de oro tipo placer en el río Corozal y en Luquillo. Su informe incluyó un listado de las minas existentes en ese momento (Carroll, 1899: 514-516), muchas de ellas inactivas. Además, Carroll señala que, según lo indicado por Carbonell, gran parte de la documentación minera desapareció con la salida de los españoles.

A partir del informe de Carroll (1899) y de las observaciones de Ober (1899) y Dinwiddie (1899), se evidencia que la industria minera atravesaba un periodo de decadencia, atribuido a la falta de políticas efectivas por parte del gobierno colonial para su promoción y protección. El análisis de la evolución de la inspección de minas desde su creación en 1837, así como de las fluctuaciones que afectaron al servicio minero hasta la retirada de España de la isla, permite extraer la misma conclusión. Y más aún después de la intensa explotación de los yacimientos auríferos registrada en el siglo XVI, tras lo cual la minería dejó de ser una prioridad en las políticas coloniales de Puerto Rico.

Un caso particular en la historia de la geología de Puerto Rico fue la labor realizada por el ingeniero de minas Ángel Vasconi. Entre 1876 (fecha de la orden para realizar los estudios geológicos) y 1892 (celebración de la exposición en Madrid), en un periodo de apenas 15 años, Vasconi llevó a cabo un extenso reconocimiento del terreno y elaboró tres mapas geológicos de la isla. Sin embargo, al no haber sido publicados, estos mapas no han sido considerados hasta ahora como antecedentes en la historia de la geología de Puerto Rico (Berkey, 1919; Weaver, 1975; Donnelly, 1996). La existencia de estos mapas quedó registrada únicamente en los catálogos de las exposiciones Histórico-Americana de Madrid (1892), Histórico-Natural y Etnográfica de Madrid (1893) ([Exposición Histórico-Americana], 1892; [Breve noticia], 1893) y en la exposición celebrada en Puerto Rico en 1893 para conmemorar el cuarto centenario de la llegada de Colón (Infesta, 1895). Sin embargo, al no incluirse imágenes, pasaron desapercibidos en la historiografía geológica moderna previamente citada.

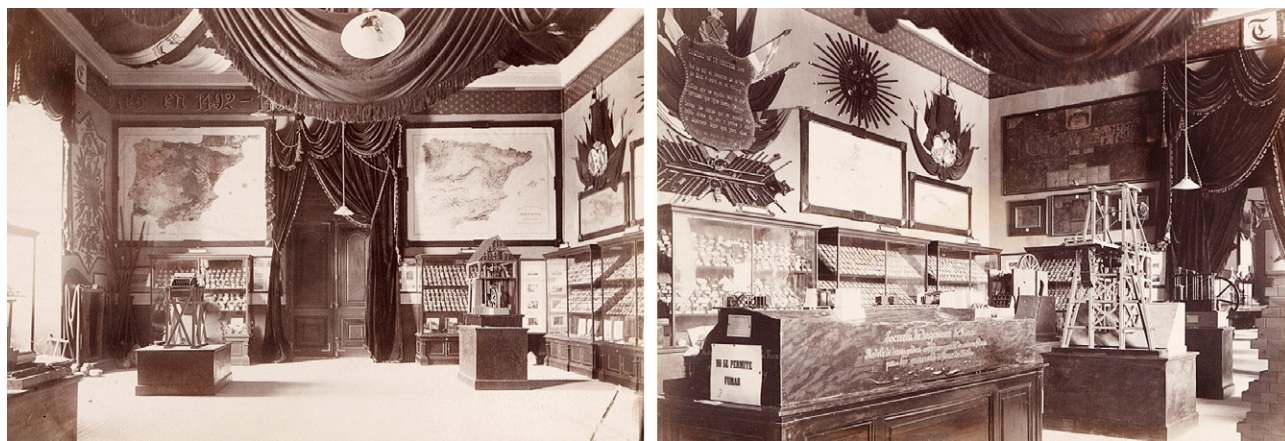


Fig. 9.- Dos vistas de la sala dedicada a la minería americana en la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica de Madrid (1893). MAN,1893/23/FF00006 y MAN,1893/23/FF00007.

La investigación realizada en este trabajo sobre la inspección de minas de Puerto Rico llevó al hallazgo de los croquis geológicos originales de Vasconi, elaborados para dichas exposiciones. El mapa más antiguo (1883) se conserva en los fondos de la Biblioteca Nacional de España, en versión manuscrita y firmada por el autor; en tanto que el mapa de 1892 figuraba en el catálogo de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC), carente de documentación asociada. Este último se compone respectivamente de dos mapas a escalas 1/250.000 y 1/500.000, de la autoría de Ángel Vasconi, con una factura muy elaborada y aparentemente preparados para su impresión.

El croquis geológico de 1892, a escala 1/250.000, fue reproducido en dos trabajos anteriores para ilustrar los objetos que se habían mostrado en la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica (Madrid, 1893) y que se habían conservado en las instituciones correspondientes (Rábano, 2017), o las cartografías producidas por las inspecciones de minas españolas en las colonias americanas (Rábano, 2023). No obstante, esta es la primera vez que se reseña la aportación geológica original contenida en dicho mapa, y se localiza e ilustra el croquis geológico manuscrito de 1883.

La presente síntesis histórica de la inspección de minas de Puerto Rico, así como del personal destinado en la misma, completa un estudio historiográfico de las inspecciones coloniales creadas durante el siglo XIX en las islas Filipinas (Rábano, 2020), República Dominicana (Rábano y Escuder-Virute, 2022) y Cuba (Rábano, 2024).

Agradecimientos y financiación

Agradezco al director de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), Rafael Rodríguez Rodríguez, su siempre eficaz colaboración en la búsqueda de documentos y de cartografía. A Juan Carlos Gutiérrez Marco (IGEO, CSIC-UCM) y a Sara Romero Gómez (UCM) agradezco su ayuda en la elaboración de las figuras. Javier Escuder Virute (IGME, CSIC) y Miguel Ángel Puig-Samper (Instituto de Historia, CSIC) proporcionaron valiosos comentarios que contribuyeron a mejorar el texto. Agradezco igualmente a la editora principal de la revista, María José Domínguez Cuesta, por su rigurosa y valiosa labor editorial. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Fuentes archivísticas

Archivo Histórico Nacional:

- AHN, Ultramar, leg. 105, exp. 5. Expediente personal del auxiliar de la Inspección de Minas Valentín Pellitero Rivert.
 AHN, Ultramar, leg. 139, exps. 8, 11. Expediente general de la Exposición Internacional Colonial celebrada en Ámsterdam en 1883.
 AHN, Ultramar, leg. 268, exps. 6, 9. Expediente general sobre reformas del servicio y personal de Minas en las provincias de Ultramar.
 AHN, Ultramar, leg. 320, exp. 6. Expediente personal de Agapito

- Eugenio Escobar y García, auxiliar de Minas en Puerto Rico.
 AHN, Ultramar, leg. 330, exp. 6. Índices de asuntos del Negociado de Obras Públicas de Minas.
 AHN, Ultramar, leg. 347, exp. 4. Expediente sobre explotación de las salinas de Cabo Rojo y Guánica.
 AHN, Ultramar, leg. 347, exp. 7. Memoria minera de la isla redactada por Ángel Vasconi.
 AHN, Ultramar, leg. 347, exp. 8. Informe sobre zonas metalíferas de la isla.
 AHN, Ultramar, leg. 389, exps. 11, 17, 18. Sobre descubrimiento y explotación de guano en las islas Mona y Monito.
 AHN, Ultramar, leg. 390, exps. 29 a 35. Expediente personal de Ángel Vasconi Vasconi.
 AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10. Descubrimiento de oro en Luquillo y nombramiento de inspectores de Minas en Ultramar.
 AHN, Ultramar, leg. 1132, exps. 5 a 8. Cambian Inspección de Minas de Sto. Domingo a Pto. Rico.
 Biblioteca Nacional de España:
 BNE, GMG/1023. Exposición Colonial de Ámsterdam en 1883. España. Colección de cartas, planos y otros documentos relativos a la isla de Puerto Rico.
 Museo Arqueológico Nacional:
 MAN, 1893/23/FF00001-FF00032. Fotografías de la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica (Madrid, 1893).

Referencias

- Alonso Romero, P., 2004-2005. Entre asimilación y autonomía: la política colonial española para Cuba y Puerto Rico durante el siglo XIX. *Quaderni Fiorentini*, 33/34: 675-798.
 [Anónimo], 1913. Necrología. D. Angel Vasconi y Vasconi. *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 64: 44.
 Berkey, C.P., 1919. Introduction to the geology of Puerto Rico. En: *Scientific Survey of Porto Rico and the Virgin Islands*, 1. New York Academy of Sciences, New York, 11-29.
 [Breve noticia], 1893. Breve noticia de la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica de Madrid: planta entresuelo. Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadaneira, Madrid, 61 p.
 Carroll, H.K., 1899. Report on the Island of Porto Rico. Government Printing Office, Washington, 813 p.
 Cleve, P.T., 1881. Outlines of the Geology of the Northeastern West India Islands. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 1: 21-24.
<https://doi.org/10.1111/j.2164-0947.1881.tb03450.x>
 Cortés Zavala, M.T., Uribe Salas, A., 2012. La apuesta por el “Guano” en Puerto Rico. Exploraciones científicas, desempeño empresarial y mercado internacional. *Revista Brasileira do Caribe*, 13 (25): 177-208.
 Dinwiddie, W., 1899. Puerto Rico. Its conditions and possibilities. Harper & Brothers Publishers, New York and London, 294 p.
 Donnelly, T.W., 1996. The development of geology in Puerto Rico. An historical sketch. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 776 (1): 17-40.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1996.tb17409.x>
 Eizaguirre, J., 1844. Breve noticia sobre la mina de oro de Luquillo en la isla de Puerto-Rico. *Boletín Oficial de Minas*, 1844 (12): 143-144.
 [Exposición Colonial], 1883. Exposición Colonial de Amsterdam en 1883. Catálogo correspondiente a las provincias ultramarinas de España. Establecimiento Tipográfico de El Correo, Madrid, 382 p.
 [Exposición Histórico-Americana], 1892. Cuarto Centenario

- del Descubrimiento de América. Exposición Histórico-Americana. Catálogo Especial de España. Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadeneyra, Madrid, 108 p.
- [Exposición Nacional], 1883. Exposición Nacional de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica, Cristalería y Aguas Minerales. 1883. Catálogo General. Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadeneyra, Madrid, 216 p.
- Franck, E.F., 1998. History of the guano mining industry, isla de Mona, Puerto Rico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60 (2): 121-125.
- Gelabert, P.A., 2011. Minería en Puerto Rico. Memorial explicativo. Comisión de recursos naturales, asuntos ambientales y energía. Senado de Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico. Disponible en: https://www.recurso.saguapuertorico.com/mineria_en_puerto_rico_por_pedro_gelabert_pdf.pdf
- González Vales, L.E., Luque, M.D. (Coords.), 2012. Historia de Puerto Rico. En: Historia de las Antillas, 4, (C. Naranjo Orovio, Dir.). Ediciones Doce Calles, Aranjuez, 877 p.
- Infesta, A., 1895. La Exposición de Puerto Rico. Imprenta del Boletín Mercantil, Puerto Rico, 312 p.
- Hill, R.T., 1898. Cuba and Porto Rico, with other Island of the West Indies; their topography, climate, flora, products, industries, cities, people, political conditions, etc. The Century Co., New York, 429 p.
- <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4428>
- Ober, F.A., 1899. Puerto Rico and its resources. D. Appleton and Company, New York, 282 p.
- Rábano, I., 2017. Geología y minería en la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica de 1893: objetos conservados en el Instituto Geológico y Minero de España (Madrid). En: La Exposición Histórico-Natural y Etnográfica de 1893, (J. Rodrigo del Blanco, Ed.). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 243-252.
- Rábano, I., 2018. La comisión de exploración geológica de Casiano de Prado en Filipinas: un proyecto fallido de 1852. *Llull*, 41 (85): 113-127.
- Rábano, I., 2020. Encuentros y desencuentros con la metrópoli: la Inspección General de Minas de las islas Filipinas y sus ingenieros. *Illes i Imperis*, 22: 107-124.
- <https://doi.org/10.31009/illesimperis.2020.i22.06>
- Rábano, I., 2023. Apuntes históricos sobre los mapas geológicos de República Dominicana, Cuba y Puerto Rico realizados en el siglo XIX. En: Actas del VI Congreso Argentino y I Congreso Latinoamericano de Historia de la Geología. Instituto Superior de Correlación Geológica y Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, 56-60.
- Rábano, I., 2024. Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): minería y geología en la Cuba colonial. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37 (2): 14-30.
- <https://doi.org/10.55407/rsge.110967>
- Rábano, I., Escuder-Viruet, J., 2022. La contribución de Manuel Fernández de Castro a la geología y minería de la República Dominicana. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (1): 36-55.
- <https://doi.org/10.55407/rsge.94883>
- [Reseña], 1883. Reseña general de la Isla de Puerto Rico redactada para la Exposición Colonial de Amsterdam en 1883. Imprenta del Boletín Mercantil, Puerto Rico, 26 p.
- Rodrigo del Blanco, J., 2017. La organización de la Exposición Histórico-Natural y Etnográfica. En: La Exposición Histórico-Natural y Etnográfica de 1893, (J. Rodrigo del Blanco, Ed.). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 53-73.
- Sánchez Gómez, L.A., 2002. Las exhibiciones etnológicas y coloniales decimonónicas y la Exposición de Filipinas de 1887. *Disparidades. Revista de Antropología*, 57 (2): 79-104.
- <https://doi.org/10.3989/rdtp.2002.v57.i2.174>
- Valverde Contreras, B., 2015. El orgullo de la nación: la creación de la identidad nacional de las conmemoraciones culturales españolas (1875-1905). *Biblioteca de Historia*, 80. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 382 p.
- Vasconi, A., 1878. Memoria sobre las salinas de la Isla de Puerto Rico. [Manuscrito]. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, leg. 347, exp. 4, n.º 3.
- Vasconi, A., 1879. Memoria minera de la Isla de Puerto Rico. [Manuscrito]. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, leg. 347, exp. 7, n.º 5.
- Vasconi, A., 1883. Reseña de las Islas Mona y Monito y de la explotación de guanos y fosfatos cálcicos que en las mismas se lleva a cabo por la Sociedad Sres. Porrata Doria, Contreras y Comp.^a redactada por la Inspección de Minas de Puerto Rico. [Manuscrito]. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, leg. 389, exp. 17, n.º 3.
- Vasconi, A., 1895. Minería de Puerto Rico en 1894. *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 46: 57-58.
- Vasconi, A., 1910. Sobre el régimen de trabajo en las minas españolas. Imprenta de Enrique Teodoro y Alonso, Madrid, 31 p.
- Vilanova y Piera, J., 1888. De Madrid a Amsterdam pasando por Zurich, Rouen y Charleville. Congresos científicos de 1883. Imprenta del Colegio Nacional de Sordo-Mudos y de Ciegos, Madrid, 399 p.
- Weaver, J.D., 1975. Puerto Rico. En: *World Regional Geology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 434-437.
- https://doi.org/10.1007/3-540-31081-1_93

Anexo

[AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 9, n.º 39]

Instrucción para llevar a cabo el estudio geológico de la isla de Puerto Rico.

El estudio geológico de la isla de Puerto Rico comprenderá:

1º El trazado del mapa geológico en escala 1/400.000, en el cual se deberán representar las diferentes formaciones o grandes divisiones de los terrenos, acompañando a la vez cortes geológicos que le sirvan de complemento.

2º La descripción física, orográfica y geológica, comprendiendo en la última la constitución geognóstica del país y de todas las formaciones que contenga.

3º Descripción detallada de las rocas que constituyen los terrenos con catálogo de todas ellas.

4º Catálogo y descripción de los fósiles recogidos.

5º Estudio detallado de los yacimientos de sustancias minerales que forman el objeto especial de la minería, con indicaciones acerca de su mejor aprovechamiento.

6º Estudio de los manantiales de aguas minerales.

7º Estudio y catálogo de los objetos prehistóricos que puedan hallarse.

8º Como comprobantes de la descripción y mapa geológico, se formarán por duplicado colecciones de rocas, minerales y fósiles, cuyos ejemplares habrán de llevar igual numeración, debiendo quedar una de las colecciones en la Inspección de minas de Puerto Rico y remitirse la otra a la Comisión ejecutiva del Mapa Geológico de España.

9º Todos los años, el Inspector de Minas dará cuenta

detallada al Ministerio de Ultramar y a la Comisión ejecutiva del Mapa Geológico de España de los trabajos que se hayan llevado a cabo en el año anterior, y del estado de adelanto que alcancen los comprendidos.

10º El Inspector de Minas de Puerto Rico, después de llevar un año de residencia en la isla, propondrá las adiciones o modificaciones que considere convenientes para el

mejor y más rápido resultado del estudio geológico que ha de practicarse.

Madrid, 19 de julio de 1876. El director interino [de la Comisión del Mapa Geológico], Antonio Hernández.

MANUSCRITO RECIBIDO: 06-02-2025

REVISIÓN RECIBIDA: 24-02-2025

ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 12-03-2025



CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DE LA FORMACIÓN SARDINERO (CRETÁCICO SUPERIOR) EN COSTA QUEBRADA (CANTABRIA)

Stratigraphic and sedimentological characterization of the Sardinero Formation (Late Cretaceous) in Costa Quebrada (Cantabria, Northern Spain)

Miguel Herrera Durán¹ y Juan R. Bahamonde^{2*}

¹ Barrio San José 53-a. Boo de Piélagos, 39478-Piélagos, Cantabria, España. herrera.d.miguel@gmail.com

^{2*} Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C./ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005-Oviedo, España. jrbaham@uniovi.es; jrbahamon@gmail.com

Resumen: La Formación Sardinero (Turonense a Campaniense) está compuesta por alternancias rítmicas de margas y calizas nodulosas, depositadas en ambientes marinos abiertos de baja energía, en el sector externo de una plataforma (rampa) mixta siliciclástica-carbonatada. En la zona de Costa Quebrada (norte de la Cuenca Vasco-Cantábrica), esta formación alcanza un espesor de hasta 450 m, lo que indica una elevada tasa de sedimentación (~5 cm/ka), aunque inferior a la registrada en sectores más subsidentes de la cuenca; y marca la re-inundación y reactivación de la sedimentación tras una etapa sin depósitos. Inicialmente, dichos depósitos fueron predominantemente siliciclásticos (lutitas margosas laminadas), alternando con etapas de sedimentos hemipelágicos carbonatados (calizas nodulosas ricas en calciesferas y glauconita). Posteriormente, se generalizó la acumulación de caparazones calcáreos de organismos planctónicos junto con arcilla, limo y arena procedentes de sectores más someros de la cuenca. La sucesión registra una tendencia somerizante que culmina con la colmatación progresiva de la cuenca, registrada por las calizas arenosas de la Formación Cabo de Lata (Campaniense superior-Maastrichtiense). En este trabajo se describen e interpretan los principales tipos de facies y asociaciones de facies, destacando la presencia de superficies de truncación intraformacional, originadas por la tectónica sin-sedimentaria de la cuenca.

Palabras clave: Cuenca Vasco-Cantábrica, calciesferas, hemipelágico, truncación sedimentaria, Costa Quebrada.

Abstract: The Sardinero Formation (Turonian-Campanian), comprising limestone-marl alternations, has been analyzed in five stratigraphic sections along the Costa Quebrada (Northern Cantabrian Basin), where it reaches a thickness of ~450 m. This study shows a sedimentological characterization and interpretation of the main facies types and facies associations. The formation records the reinundation and reactivation of sedimentation in the northwestern Basque-Cantabrian Basin following an extended phase of non-deposition and condensation. The lower part consists of dark marly clay-shales with fine lamination (~1 cm thick), interpreted as distal turbidites or storm-induced deposits, interbedded with nodular calcareous strata indicative of low sedimentation rates and condensation (e.g., abundant planktonic fossils, glauconite, intense bioturbation, and Fe-P oxide concentrations). The bulk of the succession comprises hemipelagic, rhythmically bedded,



chalcisphere-rich nodular limestones and marls, deposited on the distal sector of a low-energy, mixed siliciclastic-carbonate open-marine ramp. Estimated sedimentation rates average ~5 cm/kyr, with higher values documented elsewhere in the basin. The formation exhibits an overall shallowing-upward trend, culminating in the sandy limestones of the Cabo de Lata Formation (Upper Campanian-Maastrichtian). Deposition occurred under warm climatic conditions and high sea levels, following Oceanic Anoxic Event 2 (Late Cenomanian-Early Turonian), which significantly impacted marine biota—most notably, the decline of benthic microfauna and the proliferation of chalcispheres. Pre-lithification differentiation between limestones and marls is inferred based on contrasts in skeletal grain content and the angular discordance of bedding across intraformational truncation surfaces. In contrast, irregular carbonate nodules with diffuse marl transitions are interpreted as diagenetic in origin, linked to vertical carbonate redistribution and bioturbation. Several intraformational truncation surfaces identified in the lower half of the succession resemble, by scale and geometry, those documented in contemporary successions in southern England, Normandy and other locations in northern France. These features are attributed to gravitational collapse associated with syn-sedimentary extensional tectonics during the final stages of Bay of Biscay rifting, or alternatively, to halokinetic deformation linked to Keuper salt mobilization.

Keywords: *Basque-Cantabrian Basin, calcispheres, hemipelagic, sedimentary truncation, Costa Quebrada.*

Herrera Durán, M., Bahamonde, J.R., 2025. Caracterización estratigráfica y sedimentológica de la Formación Sardinero (Cretácico Superior) en Costa Quebrada (Cantabria). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 38 (1), 40-61.

Introducción

Después de la explosión de organismos planctónicos marinos de caparazón carbonatado (cocolitofóridos en el Jurásico Inferior, y foraminíferos en el Cretácico), las sucesiones pelágicas y hemipelágicas formaron espesas acumulaciones en diversas cuencas mesozoicas y cenozoicas del mundo (Tucker y Wright, 1990). Con frecuencia, estas sucesiones se presentan como una alternancia rítmica de margas y calizas, siendo una de los ejemplos más estudiados las cretas (*chalks*) del Cretácico Superior del noroeste de Europa y mar del Norte (Kennedy y Garrison, 1975, Kennedy, 1987, Mortimore, 2011, entre otros), debido a su interés como roca productora y almacén de hidrocarburos.

La Formación Sardinero (Cretácico Superior), en Costa Quebrada (Cantabria), es un buen ejemplo de sucesiones rítmicas, que se caracteriza una gran abundancia de calciesferas, y aunque el abundante material siliciclástico (granos de cuarzo y arcilla) impide considerarla una creta, muestra ciertas similitudes en facies y estructuras sedimentarias con ellas. La Formación Sardinero ha sido estudiada anteriormente desde un punto de vista bio-estratigráfico, paleontológico y también estratigráfico, por diversos autores de la escuela alemana, como se detallará en los apartados siguientes. A pesar de ello, creemos que ciertos aspectos estratigráficos y sedimentológicos merecen más atención, y son sobre los que se centrará este trabajo a partir del estudio de varias secciones estratigráficas costeras de esta Formación. Así, los objetivos de este trabajo son: 1) definir la evolución sedimentaria durante el Turonien-Campaniense en este sector de la cuenca Vasco-Cantábrica; 2) describir e interpretar las superficies de truncación

intraformacional presentes; y 3) determinar el origen del carácter rítmico que caracteriza a dicha Formación.

Contexto geológico

Costa Quebrada es un área acantilada y abrupta situada entre la desembocadura del río Pás (al O) y la ciudad de Santander (al E), un sector costero de ~15 km de longitud de dirección ENE/OSO, con un elevado interés geomorfológico y paisajístico. La zona se caracteriza por un conjunto de plataformas de abrasión, playas y ensenadas, excavadas en las calizas y margas de la Formación Sardinero (Turonien-Campaniense), y diversos salientes calcáreos que forman crestas, agujas o promontorios (urros), pertenecientes a las calcarenitas infrayacentes de la Formación Altamira o a las calizas urgonianas (Albiense-Aptiense). Incluye varias localidades indexadas en el Catálogo de Puntos de Interés Geológico del IGME: Dunas de Lienres (34003), Plataforma de abrasión de Covachos-Armía-El Madero (34001) y Sucesión de la playa de los Peligros-Soto de la Marina (35001).

Geológicamente, la zona de estudio se sitúa en el extremo noroccidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC) que, durante el Cretácico, estuvo dividida en varios dominios. En este trabajo seguiremos la subdivisión de Robles (2014) que sigue la realizada por Feuillée y Rat (1971), en la se diferencian tres sectores (Fig. 1A): a) Surco Vasco, con una sucesión turbidítica y pelágica de gran espesor; b) Rampa Navarro-Cantábrica, al sur y oeste del sector anterior, y que representa la parte externa y subsidente de una rampa carbonatada; y c) Rampa Castellana (o Plataforma Nor-Castellana de Feuillée y Rat, 1971) que representa la parte interna o proximal de la rampa. Costa Quebrada se

localiza en el extremo septentrional de la Rampa Navarro-Cantábrica, denominado Bloque Costero de Santander (o *North Cantabrian Basin*, NCB, de Wiese, 1997 y Wilmsen, 1997), separado del resto del dominio por la falla de Cabuérniga, de dirección E-O. A escala local, la zona de estudio se sitúa en el flanco septentrional de sinclinal de San Román (Fig. 1B).

Durante el Cretácico, la placa Ibérica era un grupo de islas de escaso relieve (macizo Ibérico al SO, del Ebro al SE, de La Demanda al S, de Cinco-Villas al NE y de Las Landas al N) situado entre 25°-30° latitud norte, dentro del cinturón subtropical anticiclónico del dominio del Tethys, con un clima subtropical y bajo la influencia de la corriente oceánica nor-ecuatorial cálida (Martín-Chivelet

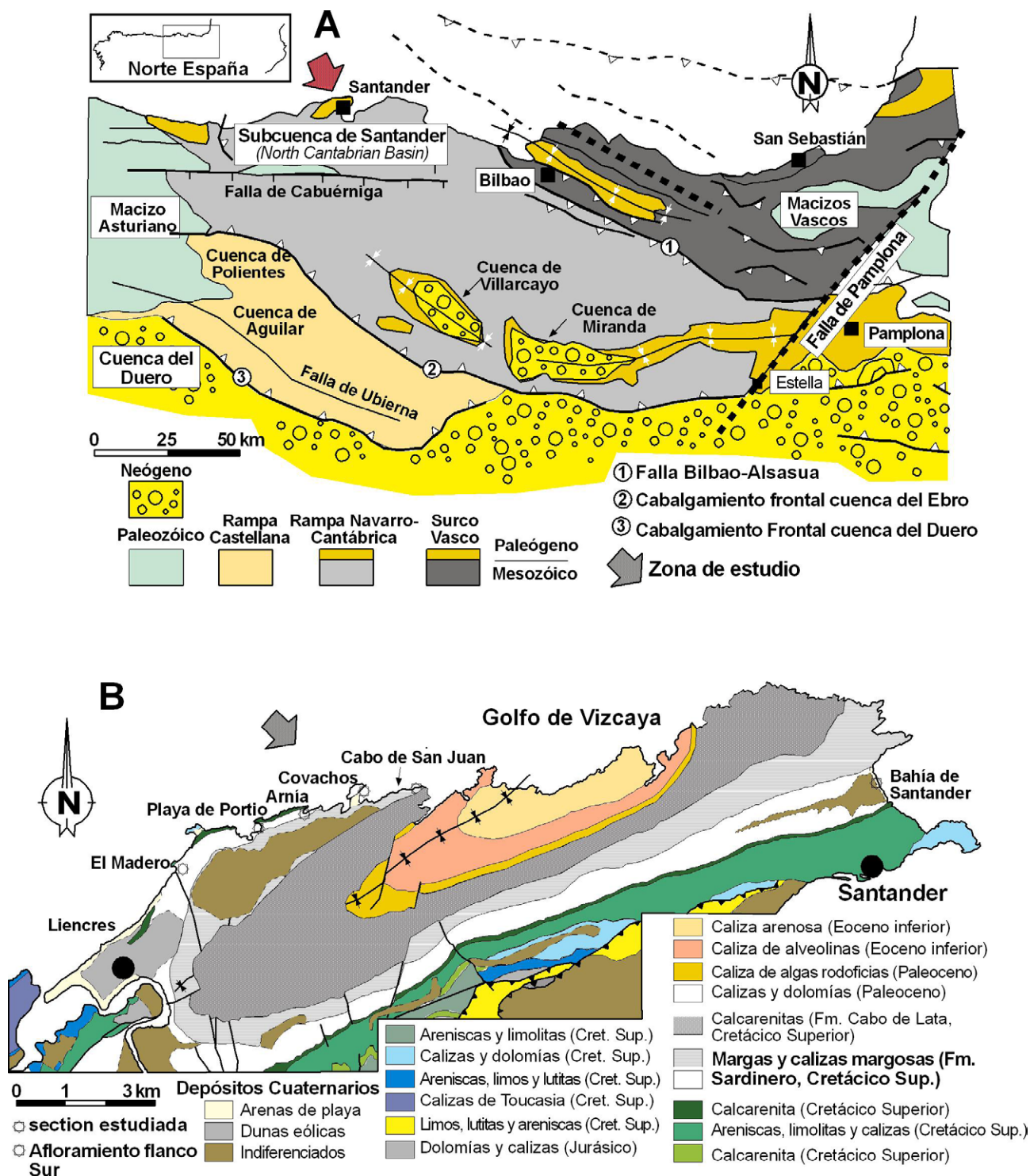


Fig. 1.- Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC) en el norte de la península Ibérica, entre la terminación occidental de los Pirineos (Falla de Pamplona) y el Macizo Paleozoico Asturiano. A. Subdivisión de la CVC en tres dominios (modificado de Robles, 2014, basado en Feuillée y Rat, 1971), señalando la posición de la zona estudiada en el Bloque Costero de Santander (extremo NO de la Rampa Navarro-Cantábrica). B. Mapa geológico del sinclinal de San Román (modificado de Cendrero *et al.*, 1986), mostrando la situación de las secciones estudiadas.

et al., 2002), un contexto favorable para la sedimentación carbonatada.

Estudios estratigráficos previos

García-Mondéjar *et al.* (1982) hacen una descripción general de la sucesión del Cretácico Superior de Cantabria, siendo los primeros que definen la Formación Sardinero como una sucesión rítmica de alternancias de margas y calizas margosas nodulosas de plataforma externa. Hines (1986) realiza una descripción general de la sucesión estratigráfica cretácico-cenozoica situada al oeste de Santander, incluyendo la Formación Sardinero (que denomina Formación Pedruquios) que interpreta como depósitos de plataforma externa. El trabajo más relevante sobre la sucesión Turoniense-Coniaciense de la NCB, desde San Vicente de la Barquera hasta la playa de Langre, incluyendo la Formación Sardinero, es la tesis doctoral de Wiese (1997), destacando sus aportaciones en el campo de la estratigrafía y bioestratigrafía. La subdivisión bioestratigráfica de la sucesión, realizada con ammonoideos e inocerámidos en su parte superior, señala la falta de registro de la parte inferior del Turoniense inferior, y subdivide el resto de la sucesión (Turoniense inferior a Coniaciense inferior) en diez zonas (zones y assemblage zones). Además, diferencia diez eventos sedimentarios que utiliza para correlacionar entre sí las series descritas, y éstas con otras del norte de Alemania. Define seis límites de secuencia que separan cinco secuencias sedimentarias (ciclos de 3º orden en el sentido de Haq *et al.*, 1988). Wiese y Wilmsen (1999) proponen una subdivisión detallada en secuencias estratigráficas de la sucesión del Cenomanense-Campaniense de la NCB, diferenciando cinco megasecuencias (inducidas tectónicamente), subdivididas en 21 secuencias. Gräfe y Wiedmann (1998) estudiaron la sucesión del intervalo Cenomaniense-Santonense en afloramientos situados al sureste de la zona de estudio de este trabajo, proponiendo una subdivisión de la sucesión en veinte secuencias estratigráficas, que no se ajustan del todo a las secuencias de los autores anteriores.

Metodología

Se ha seguido la metodología clásica de trabajos estratigráfico-sedimentológicos, describiendo cinco secciones parciales de la mitad inferior de la Formación Sardinero (por la falta de una sección completa) en los afloramientos costeros: El Madero, Arnía, Portio, Covachos y Punta de San Juan. Se han recogido un total de 21 muestras de diferentes tipos de facies, para su estudio en lámina delgada en un microscopio de luz transmitida (Nikon, modelo Eclipse LV 100 POL) y tomando microfotografías (equipo acoplado Nikon DG-800). Las preparaciones han sido teñidas parcialmente con una preparación de rojo de alizarina y ferrocianuro potásico. Los trabajos de gabinete han consistido en la representación de las columnas estratigráficas, su correlación, utilizando estudios previos de otros autores. Se han realizado análisis de difracción de rayos X en de roca total de dos nódulos en los servicios centrales de

la Universidad de Oviedo. Se ha seguido la clasificación textural de Dunham (1962) para la clasificación de rocas carbonatadas.

Estratigrafía y sedimentología

En Costa Quebrada, la Formación Sardinero (Turoniense medio a Campaniense medio, Wiese, 1997) alcanza un espesor de ~450 m, mientras que en el flanco sur del sinclinal de San Román aumenta hasta ~900 m, e incluye depósitos más someros, como capas canaliformes de calizas *grainstone* arenosas con estratificaciones cruzadas y bioconstrucciones, de pequeña escala, de corales y esponjas. Hacia el SO (sinclinal de Bielsa) el espesor es de ~500 m (García-Mondéjar *et al.*, 1982). En sucesiones de la misma edad en otras partes de la cuenca, el espesor y la proporción marga-caliza varía significativamente como consecuencia de su configuración en bloques; así, en la Rampa Navarro-Cantábrica, al S de Bilbao y N de la provincia de

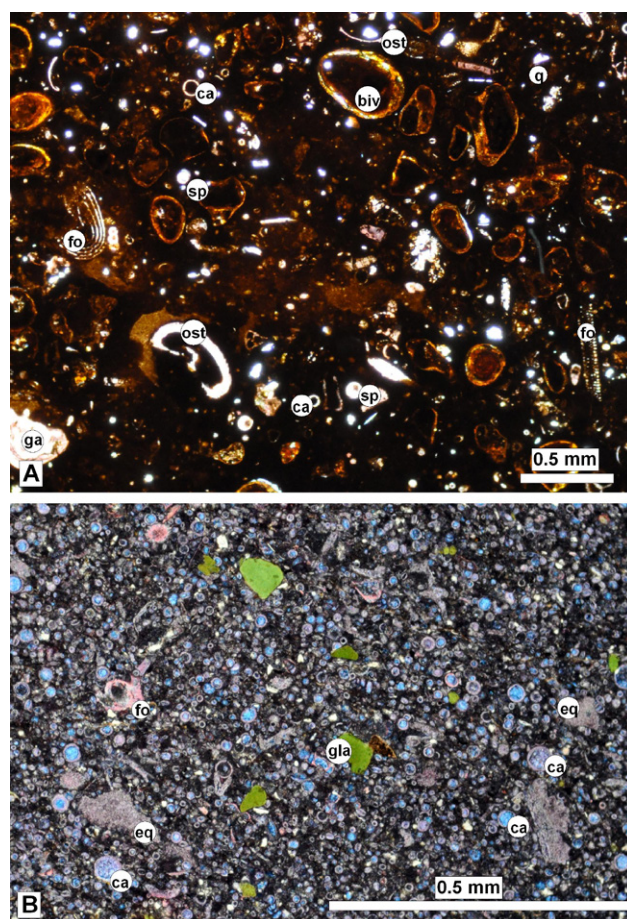


Fig. 2.- A. Microfotografía de la caliza del techo de la Formación Altamira (sección El Madero) sobre la que se desarrolló el *Hardground-99*, mostrando la coloración ocre-rojiza por las tinciones de óxidos de hierro y una fauna marina bentónica muy diversa: calciesferas (ca), ostrácodos (ost), foraminíferos (fo), bivalvos (biv), espículas silíceas de esponja (spi), gasterópodos (ga); y algunos granos de cuarzo (q). B. Microfotografía de la caliza *packstone* de la base de la Formación Sardinero (justo a techo del *Hardground-99*), con abundantes calciesferas (ca), granos de glauconita (gla), equinodermos (eq) y foraminíferos indeterminados (fo).

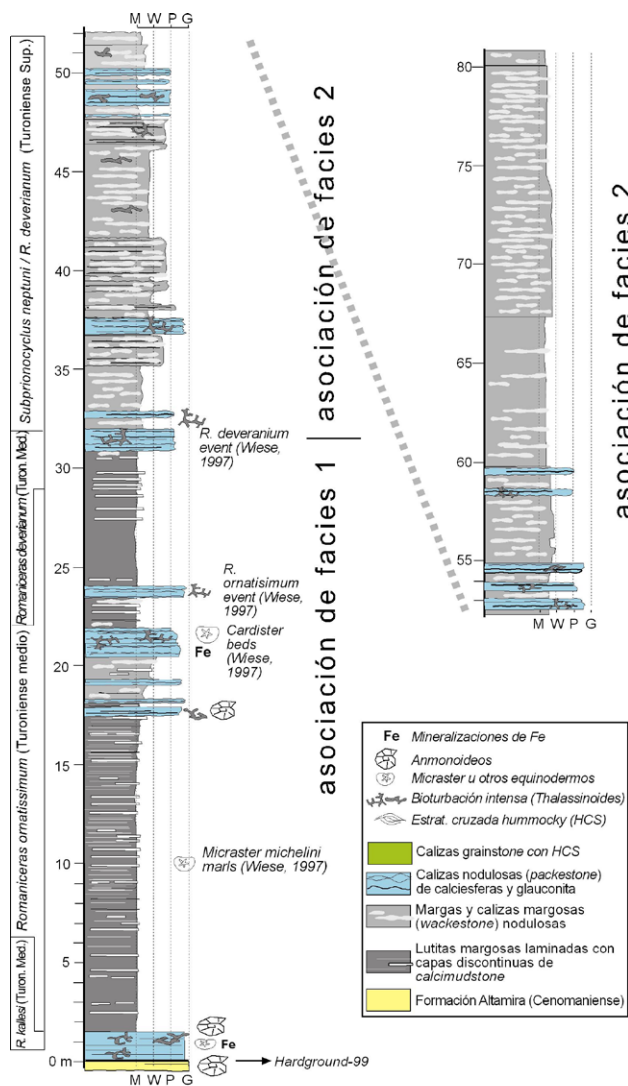


Fig. 3.- Columna estratigráfica de la Formación Sardinero en la sección de El Madero, incluyendo distintos eventos y zonación bioestratigráfica de Wiese (1997).

Burgos (al E y SE de Costa Quebrada), la sucesión Cenomaniense-Santonense alcanza los 4.000 m de espesor (ver (Martin-Chivelet *et al.*, 2002).

En el área de estudio, la Formación Sardinero se apoya sobre un nivel de condensación ferruginizada e intensamente bioturbado (Hardground-99, Wiese 1997) con corales, esponjas, bivalvos, amonoideos, calciesferas, espículas silíceas de esponja (Fig. 2A), que corresponde al techo de la Formación Altamira. Finaliza con la Formación Cabo de Lata (Campaniense-Maastrichtiense).

En la sección de El Madero (Fig. 3) se han estudiado los 82 m basales de la Formación, en la de Portio 220 m (Fig. 4) y en la de Arnía los 175 m inferiores. En las tres secciones, la sucesión a techo del Hardground-99 comienza una capa de acumulación de calciesferas con abundantes granos de glauconita (Fig. 2B) que pasa a una sucesión de lutitas margosas laminadas, cuyo espesor varía de una sección a otra, con intercalaciones de capas de calizas nodulosas similares a la capa basal. Verticalmente, las lutitas pasan a las alternancias marga-caliza

características (Fig. 5). En las secciones de Arnía y Portio destaca la presencia de superficies estratigráficas que separan grupos de estratos no concordantes entre sí y que se han denominado superficies de truncación intraformacional, que ya fueron reconocidas anteriormente por Wiese (1997) y por Gräfe y Wiedman (1993). En la playa de Covachos afloran algo más de 100 m de una sucesión rítmica monótona de la parte media de la Formación. En Punta de San Juan aflora la transición entre las formaciones Sardinero y Cabo de Lata, caracterizada por calizas *grainstone* arenosas de ambientes marinos someros. También se han realizado observaciones puntuales en el flanco sur del sin-

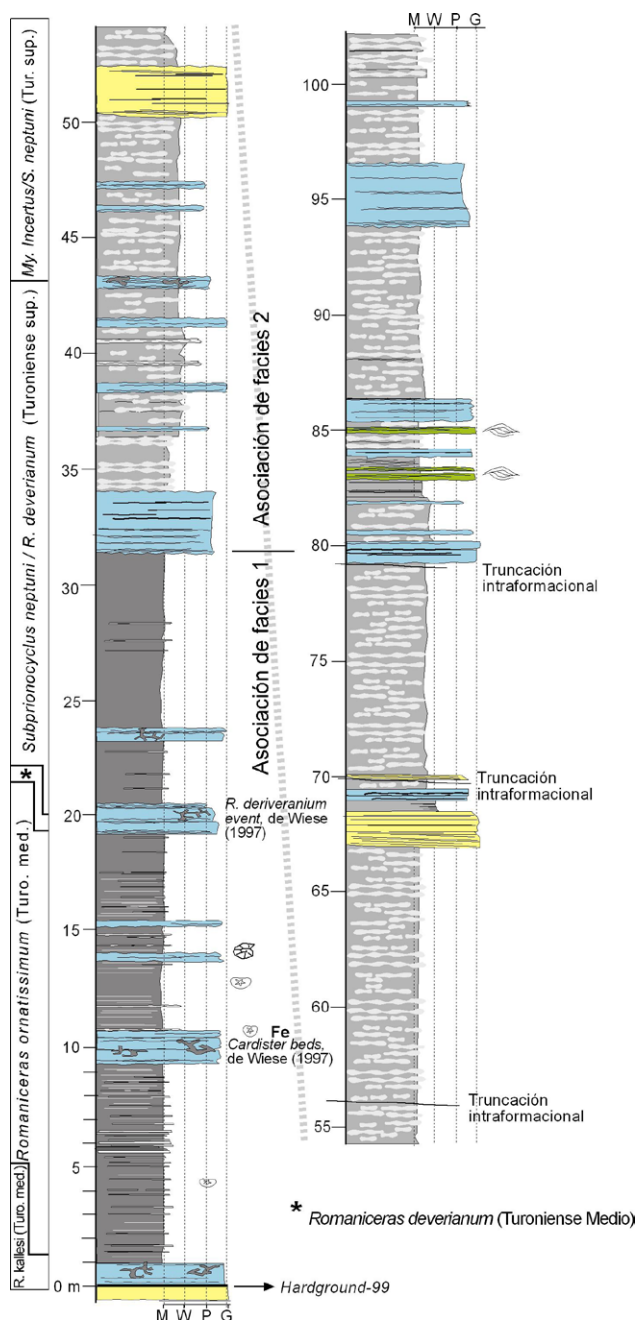


Fig. 4.- Columna estratigráfica de la Formación Sardinero en la sección de Portio, incluyendo distintos eventos y zonación bioestratigráfica de Wiese (1997). La sucesión continúa al menos 100 m con una monótona sucesión rítmica marga/caliza (ver Fig. 5).

Facies y posición estratigráfica	Estratificación y estructuras	Granos, matriz y porosidad	Interpretación
Calizas <i>grainstone</i> arenosas. Base Fm. Cabo de Lata.	Capas tabulares, espesor métrico, interestratos margosos bioturbados con restos fósiles poco fragmentados.	15-20 % bioclastos (eq., fo., bra. y biv.), 5-7 % pe. y gla., 25-30 % q limo y arena fina.	Cordones o bancos arenosos, ambientes bajo la acción del oleaje de buen tiempo (submareal somero, rampa interna).
Calizas nodulosas <i>grain-packstone</i> . Techo Fm. Sardinero.	Capas nodulosas.	Bioclastos (eq., fo., bentónicos, ost. y algas rojas); 5-10 % int., pe. y q limo arena fina. Ox. de Fe, intensa bioturbación. 30-35 % porosidad interpartícula con cemento marino.	Ambiente marino somero: paleo-ecología de los foraminíferos, cementos marinos tempranos, micritización de granos. Nodulización por bioturbación.
Calizas <i>grainstone</i> bioe intraclásticas (grano fino-grueso). Secciones Arnía y Portio.	Capas de espesor métrico y más de 100 m de extensión lateral. Estratificación cruzada.	Bioclastos (fo. bentónicos, eq., bri., bra. y ost.), int. (calizas de ca.), pe. < 20 %, q limo y arena. < 1 % gla. 25-30 % Porosidad interpartícula	Canal o depresión submarina rellena por sedimento transportado desde de zonas someras por flujos tractivos. Alternativamente, depósito relacionado con corrientes contouríticas de fondo.
Calizas <i>grainstone</i> . Sección Portio, parte media Fm. Sardinero.	Capas continuas, base neta planar y techo ondulado, de 10-20 cm. HCS.	Bioclastos marinos diversos (bentónicos y planctónicos). 10-20 % q limo grueso a arena muy fina.	Capas de tormenta en la parte intermedia de una rampa mixta siliciclástica-carbonatada.
Calizas nodulosas <i>packstone</i> . Parte inferior Fm. Sardinero.	Capas decimétricas, de base y techo irregulares. Abundante bioturbación.	Abundantes ca. Fo. plantónicos y bentónicos, ost., eq. y biv. Gla. > 15 % q. Óxidos de Fe y P.	Condensación/ralentización en la sedimentación en ambientes marinos relativamente profundos.
Margas y calizas margosas (ritmita). Más característica de la Fm. Sardinero.	Tramos potentes de alternancia rítmica. Límites difusos de las capas nodulosas de calizas que localmente son formas nodulosas aisladas.	Abundantes ca. (<i>Phionella</i> sp.), fo. (planctónicos y bentónicos), eq. (micráster y otros), ost., esp., ga., biv., am. 10-15 % q. Bioturbación.	Fangos carbonatados hemipelágicos, con <i>cysts</i> algas planctónicas dinoflageladas, acumulados en ambientes de rampa externa y de cuenca.
Lutitas margosas laminadas. Parte basal Fm. Sardinero.	Tramos de varios metros de espesor. Láminas sub-milimétricas, paralelas y ligeramente onduladas. Intercaladas capas discontinuas, blancas de micrita.	Micrita homogénea con 2-10 % q y bioclastos. Láminas sub-milimétricas de q limo y granos esqueléticos (ca. y esp., principalmente) muy finos.	Sedimentos bajo acción oleaje de tormenta (parte externa de rampa mixta terrígeno-carbonatada). Capas blancas de origen diagenético.

HCS: estratificación cruzada de tipo *hummocky*; fo: foraminíferos; eq: equinodermos; bra: braquiópodos; biv: bivalvos; bri: briozoos; ga: gasterópodos; am: ammonoideos; esp: espículas silíceas de esponja; ost: ostrácodos; pe: pellets/peloides; gla: glauconita; int: intraclastos; q: granos de cuarzo.

Tabla 1.- Facies sedimentarias en la Formación Sardinero.

clinal de San Román, en los afloramientos de hotel Chiqui y playa de Molinucos.

En total se han diferenciado 7 facies sedimentarias, una en la base de la Formación Cabo de Lata y las 6 restantes en la Formación Sardinero (Tabla 1).

Calizas grainstone arenosas

Forman capas tabulares de espesor métrico (Fig. 6A), en la base de la Formación Cabo de Lata (ver situación en Fig. 1B), separadas por intervalos centimétricos de calizas margosas (*packstone*) bioturbadas, con restos esqueléticos poco fragmentados o enteros de organismos bentónicos variados (Fig. 6B). Texturalmente, son calizas *grainstone* con un 15-20 % de granos esqueléticos (equinodermos, foraminíferos, braquiópodos y bivalvos, principalmente), pellets, peloides y granos de glauconita (5-7%), y entre el 25-30 % del volumen total de la roca de granos de cuarzo tamaño limo y arena de grano fino (Fig. 6C). Un cemento esparítico en mosaico rellena totalmente la porosidad primaria interpartícula (45-55 %). A escala microscópica se ha observado dolomitización parcial.

Interpretación.- Las calizas *grainstone* bioclásticas (incluyendo o no granos de cuarzo) son características de la parte interna (proximal) de las rampas carbonatadas (Burchette y Wright, 1992), formando acumulaciones submareales someras, o cordones arenosos sublitorales, sometidos a la acción del oleaje de buen tiempo (Tucker y Wright, 1990). Las calizas bioclásticas con abundantes granos de cuarzo (*sandy allochem limestone*, en Flügel, 2004) son, por lo general, interpretadas como depósitos someros, próximos a la costa. Esta interpretación coincide con la realizada por García-Mondéjar *et al.* (1982) para los depósitos de la base de la Formación Cabo de Lata. La ausencia de una secuencia de cementación que incluya

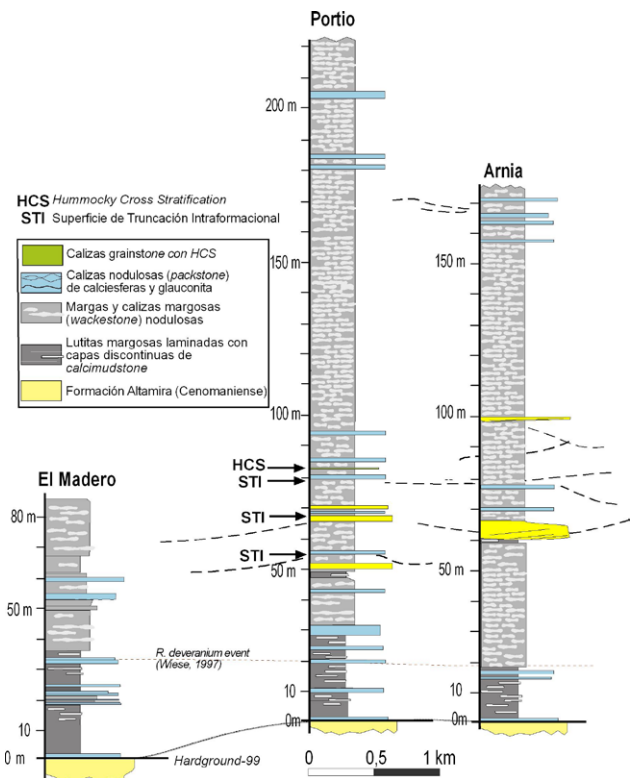


Fig. 5.- Correlación estratigráfica de las sucesiones descritas en El Madero, Portio y Arnía, tomando como nivel de referencia el *Romaniferas deveranum event* de Wiese (1997). No se ha incluido la sucesión que aflora en la playa de Covachos (la más oriental), por su carácter monótono y a su parecido con la mitad superior de la sucesión que aflora en Portio.

cementos marinos freáticos o vadosos, característicos de sedimentos de playas o dunas (Flügel, 2004), o de otros rasgos que sugieran exposición subaérea, descarta que ésta se haya producido. La falta de estructuras inorgánicas tractivas (estratificaciones cruzadas) puede ser debida a la bioturbación del sedimento.

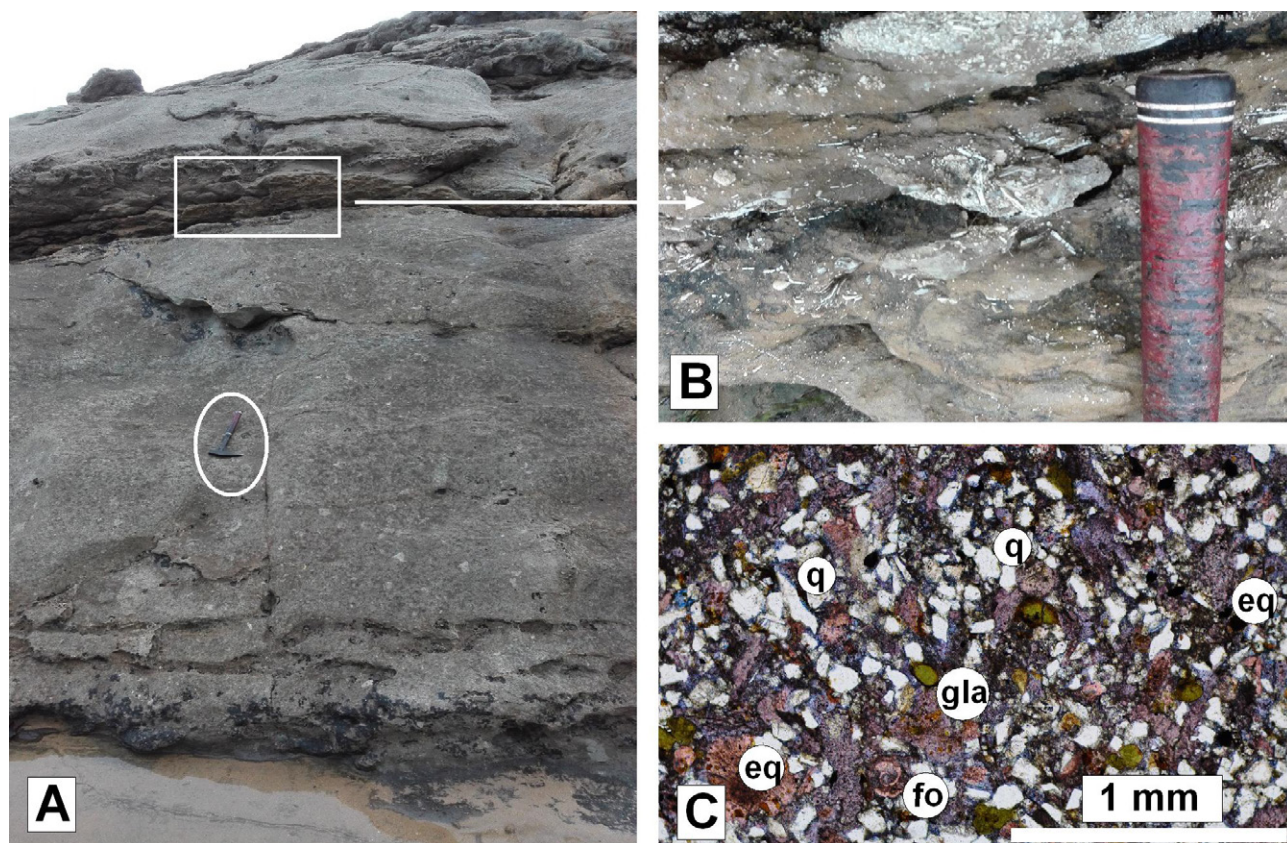


Fig. 6.- Calizas arenosas de la base de la Formación Cabo de Lata (Punta de San Juan). A. Capa de ~2,5 m de espesor (escala: martillo de 32 cm de longitud en mitad de la capa) de calizas *grainstone* arenosas. B. Detalle del inter-estrato situado en el recuadro de la fotografía anterior. C. Microfotografía de una muestra de la capa mostrada en A equinodermo (eq); foraminífero indeterminado (fo); granos verdes de glauconita (gla), granos de cuarzo (q).

Calizas nodulosas grainstone-packstone

Constituyen el techo de la Formación Sardinero en el afloramiento de Punta de San Juan (Fig. 7A), y están formadas por restos esqueléticos de fauna marina diversa, principalmente equinodermos y foraminíferos bentónicos (orbitoides/pseudorbitoides, rotálidos y miliolidos, entre otros), y en menor proporción ostrácodos, y algas rojas. Contienen también intraclastos micríticos, pellets/peloides y granos de cuarzo (5-10 %) de tamaño limo-arena fina (Fig. 7B). Localmente, se han observado óxidos de Fe y una intensa bioturbación no figurativa, responsable del carácter noduloso. La porosidad primaria inter-partícula (30-35 % del volumen total) se rellena por una primera generación de cemento marino (cortezas isópacas de cemento fibroso bordeando los granos), y la porosidad remanente por cemento syntaxial y en mosaico de esparita. Puntualmente, se observa un sedimento interno (infiltrado) entre las dos fases de cementación. La micritización, total o parcial, de granos esqueléticos es generalizada (Fig. 6C).

Interpretación.- Corresponden a sedimentos marinos someros considerando los siguientes argumentos: a) paleoecología de los foraminíferos bentónicos descritos (Gräfe, 2005; Boudagher-Fadel, 2008); b) presencia de granos de cuarzo (*sandy allochem limestone*) en general (no siempre), propios de ambientes costeros (Flügel, 2004); c) pre-

sencia de cortezas isópacas de cemento fibroso, propias de ambientes diagenéticos marinos freáticos que suelen afectar a sedimentos de aguas poco profundas (Tucker y Wright, 1990); d) micritización de granos esqueléticos, que ocurre preferentemente en aguas someras agitadas (Flügel, 2004). La intensa bioturbación del sedimento es uno de los procesos que generan nodulización (Kennedy y Garrison, 1975). Por lo tanto, esta facies registra la somerización de la Formación Sardinero desde las alternancias de margas y calizas que caracterizan la unidad.

Calizas bioclásticas e intraclásticas grainstone con estratificación cruzada

Se han reconocido en las secciones de Arnía (Figs. 8A y 8B) y Portio (Fig. 4), formando litosomas que lateralmente se acuñan, de su espesor máximo es de orden métrico y de más de 100 metros de extensión lateral. Aparecen intercalados en la sucesión rítmica y próximos a superficies de truncación. Texturalmente son calizas *grainstone* de grano fino a grueso (Fig. 8C y 8D), de granos esqueléticos (foraminíferos bentónicos diversos, equinodermos, briozoos, braquiópodos y ostrácodos), intraclastos de calizas ricas en calciesferas, peloides (bioclastos micritizados), cuarzo tamaño limo y arena (<20 %), y granos de glauconita (<1 %). La porosidad primaria interpartícula, 25-30 % del volumen total de la roca (después de una compactación significativa:

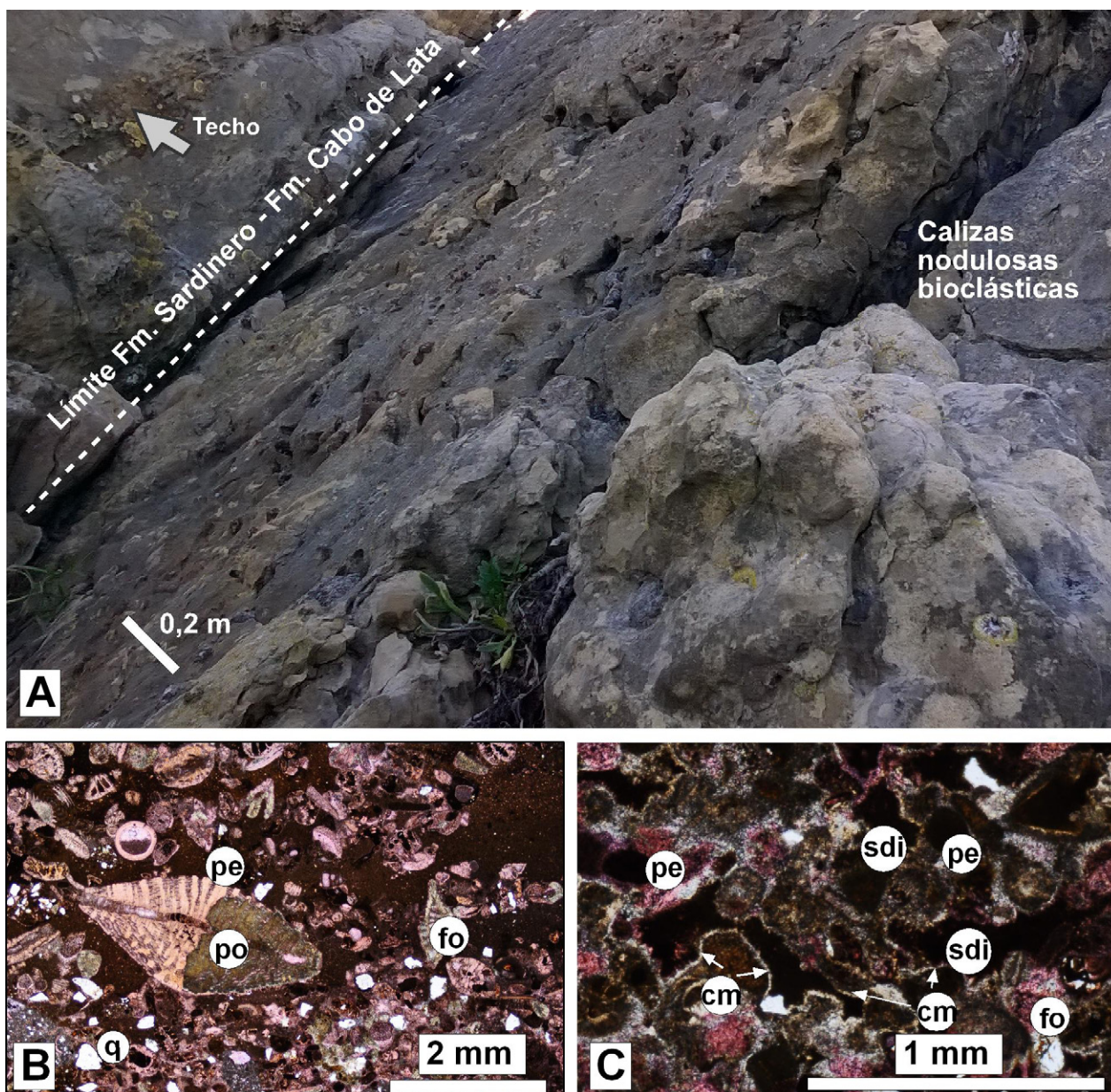


Fig. 7.- Calizas nodulosas *packstone* bioturbadas en el techo de la Formación Sardinero en Punta San Juan. A. Fotografía de campo mostrando el límite entre las formaciones Sardinero y Cabo de Lata. B. Microfotografía de calizas nodulosas, mostrando diversos foraminíferos bentónicos (po, orbitoide/pseudorbitoide; fo, rotalido), granos de cuarzo (q) y peloides (pe). C. Microfotografía de detalle de las mismas calizas mostrando cortezas isópacas delgadas de cemento marino temprano (cm); sedimento interno (sdi) en el poro remanente.

contactos suturados) está ocluida totalmente por cemento esparítico syntaxial (asociado a equinodermos) y en mosaico. Internamente, los cuerpos sedimentarios muestran superficies de estratificación planas y oblicuas cruzadas respecto a la base y techo (Figs. 8A y 8B).

Interpretación.- Esta facies corresponde al relleno de una depresión o canal submarino por sedimentos transportados desde zonas más someras por flujos tractivos. Las superficies oblicuas indican que el relleno tuvo forma de abanico arenoso cuya progradación fue atenuando gradualmente su inclinación hacia la parte distal. La dirección de progradación (hacia el oeste) es solo aparente (o de carácter local) y poco relevante para reconstruir la paleogeografía de la cuenca. La

ausencia de cementos marinos freáticos tempranos apoya la interpretación de ambientes profundos. Wiesen (1997) describe también estos depósitos próximos a superficies de truncación intraformacionales en las mismas secciones, interpretándolas como el relleno siliciclástico y carbonatado de canales submarinos en secuencias de abanicos de lowstand. Otra posible interpretación es que esta facies y las superficies de truncación intraformacional estén relacionadas con corrientes contouríticas. Corrientes del fondo marino activadas por la circulación termohalina oceánica que pueden generar niveles arenosos con estructuras tractivas, intercalados entre sedimentos pelágicos y hemipelágicos, con superficies y terrazas de erosión, superficies onduladas convexas, canales, fosas y surcos, etc. (Rebesco *et al.*, 2014).

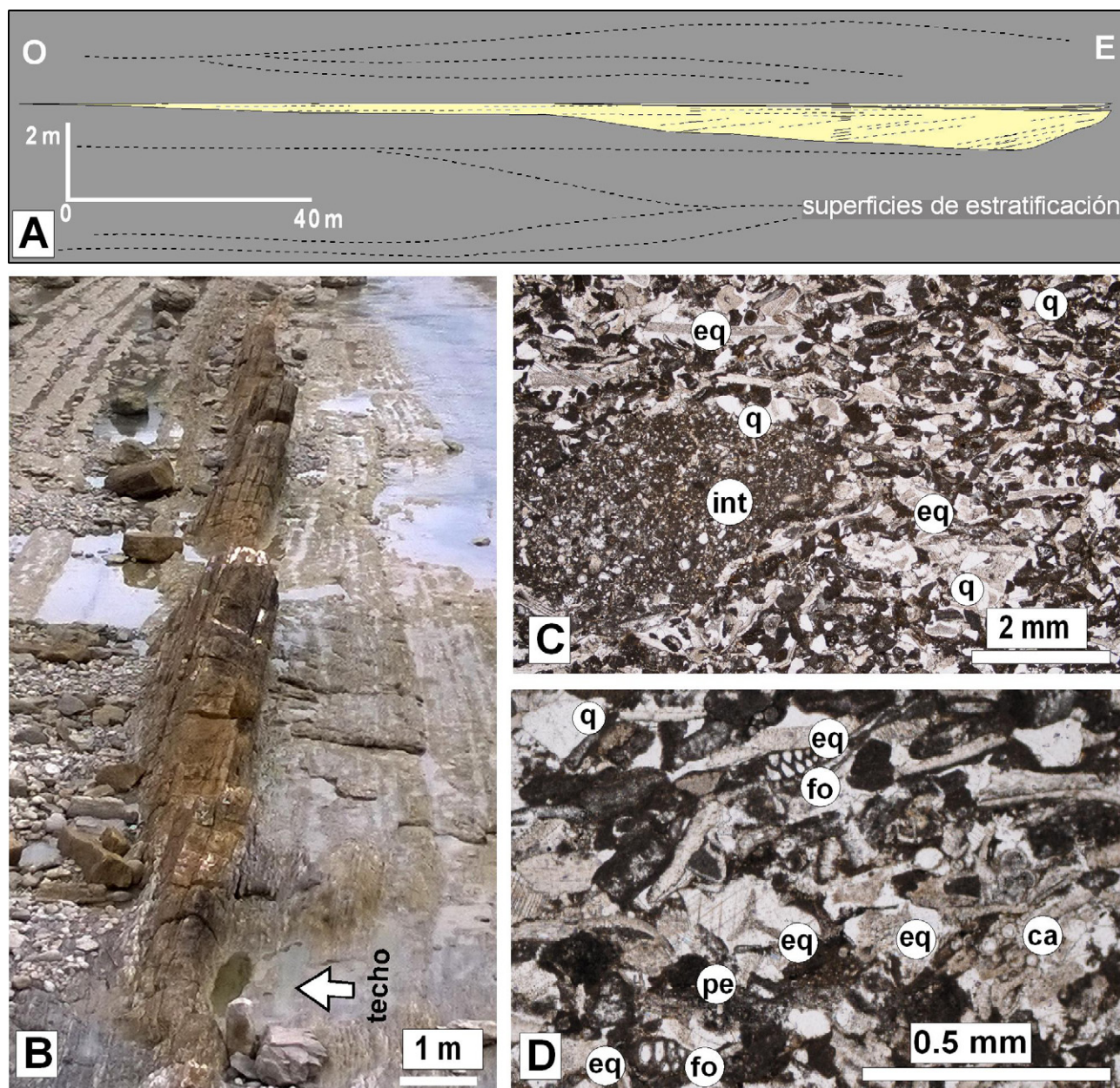


Fig. 8.- Calizas bioclásticas *grainstone* con estratificación cruzada en la sección de Arná. A. Esquema de uno de los litosomas de esta facies. B. Aspecto de campo del litosoma, sobresaliendo en el perfil de meteorización de la plataforma de abrasión. C y D. Microfotografías de las calizas: intraclasto de caliza con abundantes calciesferas (int), equinodermo (eq), foraminífero (fo), calciesfera (ca), peloide (pe), grano de cuarzo (q).

Calizas grainstone con estratificación cruzada hummocky

En la sección de Portio, se han observado, intercaladas entre las alternancias de caliza y marga, cuatro capas de calizas, de entre 10 y 20 cm de espesor, con base neta y techo ondulado. Estas capas presentan laminación ondulada interna, interpretada como a estratificación cruzada de tipo hummocky, parcialmente destruida por bioturbación (Fig. 9). La textura es *grainstone-packstone* de fragmentos esqueléticos diversos (de organismos bentónicos y planctónicos) y un contenido entre el 10-20 % de sedimento siliciclástico fino de cuarzo de tamaño de grano arena muy fina a limo grueso. Internamente se ha observado una ligera grano-selección decreciente hacia el techo.

Interpretación.- Capas con la misma estructura interna han sido interpretada como depósitos de tormenta (Dott y Bourgeois, 1982), característicos de una rampa intermedia, según la subdivisión ambiental de estos sistemas realizada por Burchette y Wright (1992).

Calizas nodulosas packstone de calciesferas y glauconita

Forman capas de espesor decimétrico y aspecto noduloso (Fig. 10A), lateralmente continuas a escala de afloramiento, con el límite inferior irregular (gradual o neto) muy bioturbado (*Thalassinoides*, Fig. 10B), y el superior irregular y neto. Algunas capas aparecen amalgamadas, formando conjuntos de espesor métrico o sub-métrico de tres o cuatro estratos. Texturalmente, son calizas *packstone*



Fig. 9.- Aspecto de campo de la facies de *calizas grainstone* con estratificación cruzada de tipo hummocky, en la playa de Portio (techo de la sucesión hacia la derecha).

(algo margosas), destacando la alta concentración de calciesferas (Fig. 10C), las cuales coinciden en tamaño (10 a 100 μm de diámetro y 40 μm de media), forma y estructura de la pared con el género *Phitonella* sp. cf. *P. johnstoni* Bolli, común en el Cretácico Superior (Flügel 2004). Otros restos esqueléticos son de: foraminíferos planctónicos de caparazón aglutinante y foraminíferos bentónicos (miliólidos, globorotálidos, entre otros), ostrácodos, equinodermos (con microborings) y bivalvos. Otros rasgos destacables son la abundancia de granos de glauconita (Fig. 10D), un contenido en granos de cuarzo, por lo general, inferior al 15 %, y mineralizaciones de Fe y P. Estas capas resaltan en el perfil de meteorización del afloramiento debido al menor contenido en arcilla y mayor grado de cementación que las rocas entre las que aparecen intercaladas. En algún caso, esta facies fosiliza una superficie de truncación intraformacional (Fig. 10E). Estos depósitos han sido descritos por Wiesen (1997) como “*nodular limestones*” en la parte inferior de la Formación (*Cardiaster beds*, Turoniense medio), y en niveles con coloraciones rojizas y amarillentas del Turoniense superior. La capa basal de la Formación, justo por encima del *Hardground*-99, corresponde a esta misma facies (Fig. 2B).

Interpretación.- Esta facies comparte algunos de los rasgos característicos de las superficies de no sedimentación y erosión (*hardgrounds*), tales como aspecto nodulo-

so, mineralización (P y Fe), intensa bioturbación (*Thalassinoides*) y glauconita. Sin embargo, el rasgo que define a los *hardgrounds* es la cementación marina temprana (la que se produce antes del enterramiento), con la precipitación de cementos carbonatados específicos que litifican el fondo del mar (Christ *et al.*, 2015). Aunque estos niveles están mejor cementados que los niveles entre los que se intercalan, no se han observado evidencias petrográficas de que dicha cementación hubiera sido temprana. Por ello, estas facies no pueden ser considerada como verdaderos *hardgrounds*, aunque sin duda representan niveles de condensación o ralentización en la sedimentación (Wiese 1997, Wiese y Wilsem, 1999). Es importante resaltar que en sedimentos hemipelágicos acumulados a profundidades superiores a 100 m, como probablemente sean los depósitos de la Formación Sardinero, la cementación se produce por fábricas microcristalinas (Christ *et al.*, 2015), lo que haría difícil reconocer los cementos tempranos en las muestras estudiadas en este trabajo. La baja tasa o ralentización de la sedimentación favorecen los procesos de disolución local y reprecipitación de CaCO_3 , que genera el carácter nodular de las calizas, el cual, aumenta con la posterior compactación y disolución por presión (Jenkyns, 1974). También la litificación temprana del fango carbonatado calcítico y la bioturbación (Tucker, 1974) son procesos que generan o acentúa la estructura nodular.

La presencia de granos de glauconita, exclusiva de sedimentos marinos, está relacionada con aportes elevados de Fe en el sedimento, condiciones subóxicas y bajas tasas de sedimentación (McRae, 1972; Odín y Matter, 1981). La forma lobulada y bordes agrietados, como los observados aquí, indican también elevada madurez y condensación (Huggett y Gale, 1997), al igual que el color verde claro a verde oscuro y a marrón señala una madurez textural de baja a alta respectivamente. Enriquecimientos de Fe, Mn y P son comunes en *hardgrounds* carbonatados y estarían relacionados con aumento en nutrientes, de condiciones oligotróficas a eutróficas (Föllmi *et al.*, 1994, Drzewiecki y Simo, 1997). Las capas de calizas con los rasgos estratigráficos descritos son comunes en sucesiones cretácicas de calizas micríticas pelágicas y hemipelágicas depositadas en plataformas marinas epicontinentales, y han sido interpretadas como niveles de condensación desarrollados en condiciones submareales (Flügel, 2004). Calizas nodulosas bien cementadas, ricas en glauconita, diversas mineralizaciones, con rasgos de erosión y retrabajamiento, han sido interpretadas como niveles con distinto grado de condensación (*firmgrounds* o *hard-grounds*) en una sucesión pelágica y hemipelágica de ritmitas margo-calcáreas del sur de Inglaterra acumulada a 200-300 m de profundidad (Kennedy y Garrison, 1975).

Christs *et al.* (2015) señalan dos momentos en la curva eustática como los más favorables para la formación de *hardgrounds*: al final de una regresión (máximo regresivo) y al final de una transgresión (superficie de máxima inundación), registrando niveles de exposición subaérea o discontinuidades de inundación (*drowning unconformities*) respectivamente. Pero no siempre es fácil determinar si corresponden a una situación o a otra, sobre todo si en

la sucesión estratigráfica no se han definido, con fiabilidad, secuencias estratigráficas (depositional sequences) y cortes sedimentarios. Pandey *et al.* (2018) han descrito *hardgrounds* en depósitos siliciclástico-carbonatados del Jurásico de la India, como niveles de condensación formados en condiciones submareales permanentes, preferentemente durante fases de máxima inundación. En el Cretácico Superior de Polonia Olszewska-Nejbert (2004) interpreta como *hardgrounds* niveles similares a los aquí estudiados, en los que identifica litificación por cementación marina temprana

(microcristalina), asociándolos a pausas relativamente cortas (decenas a centenares de años) en la sedimentación durante etapas de disminución de aporte siliciclástico por inundación de la plataforma.

Margas y calizas margosas de calciesferas (ritmita)

Forma tramos muy potentes de una alternancia rítmica de niveles margosos y otros más carbonatados (Fig. 11A), con límites difusos entre las dos litologías. Los tér-

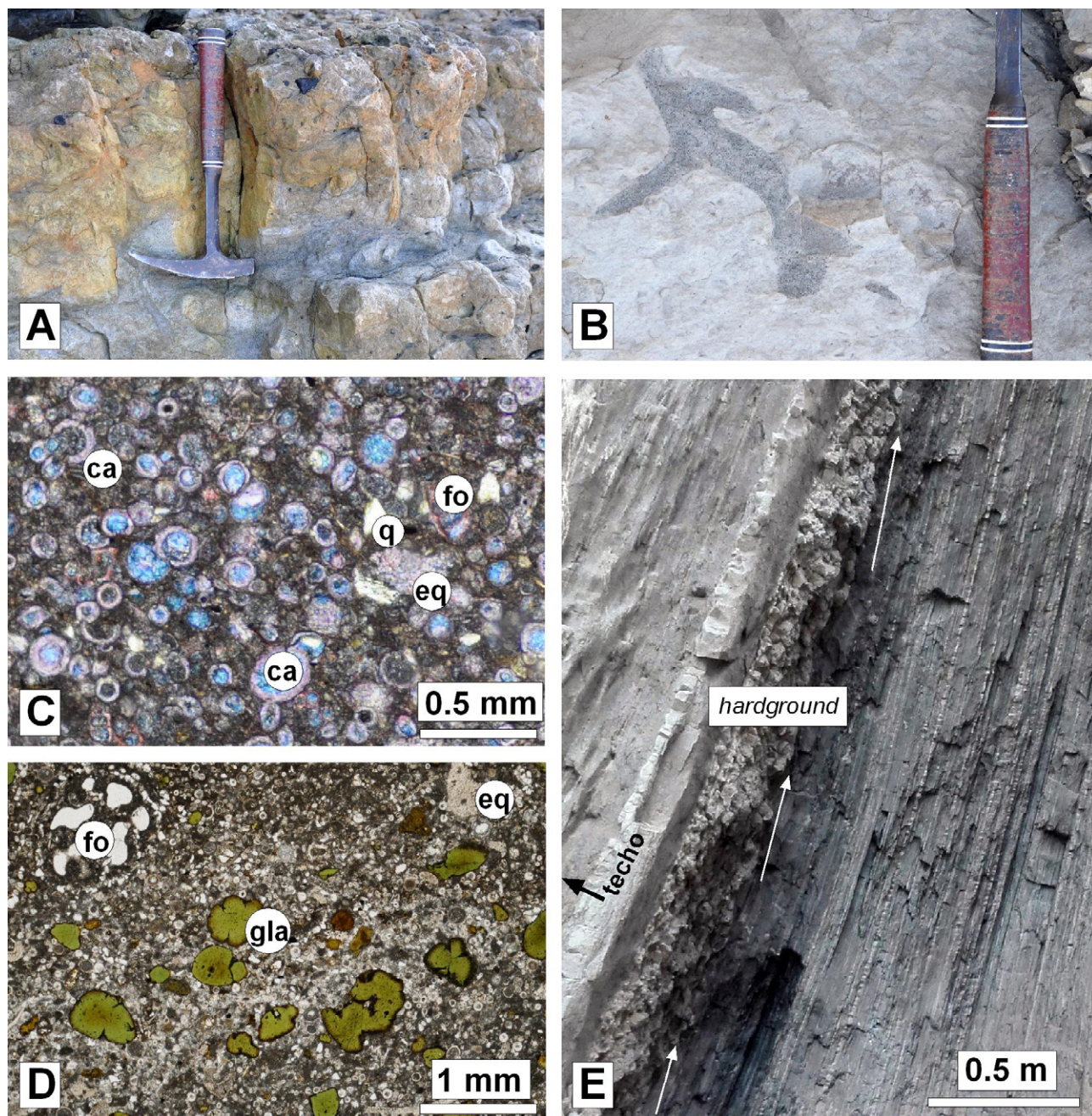


Fig. 10.- A. Aspecto de campo de las facies *calizas nodulosas* packstone de calciesferas, *glauconita* y *mineralizaciones de Fe*, en la parte inferior de la Formación Sardinero, sección de El Madero. B. Detalle del techo del tramo de capas vistas en A, mostrando una pista de bioturbación (*Thalassinoides*) rellena por un sedimento con abundantes granos de glauconita. C y D. Microfotografías de las calizas mostradas en A, constituidas por una acumulación de calciesferas (ca) y granos de glauconita (gla). Otros componentes como granos de cuarzo (q), foraminíferos bentónicos (fo) y equinodermos (eq) son visibles. E. Aspecto de campo de una capa nodulosa de unos 25 cm de espesor de esta misma facies, en la sección de Arnía (metro 80 de la sucesión), que fosiliza una superficie de truncación intraformacional (las flechas blancas señalan superficies de estratificación cortadas a techo por la capa nodulosa).

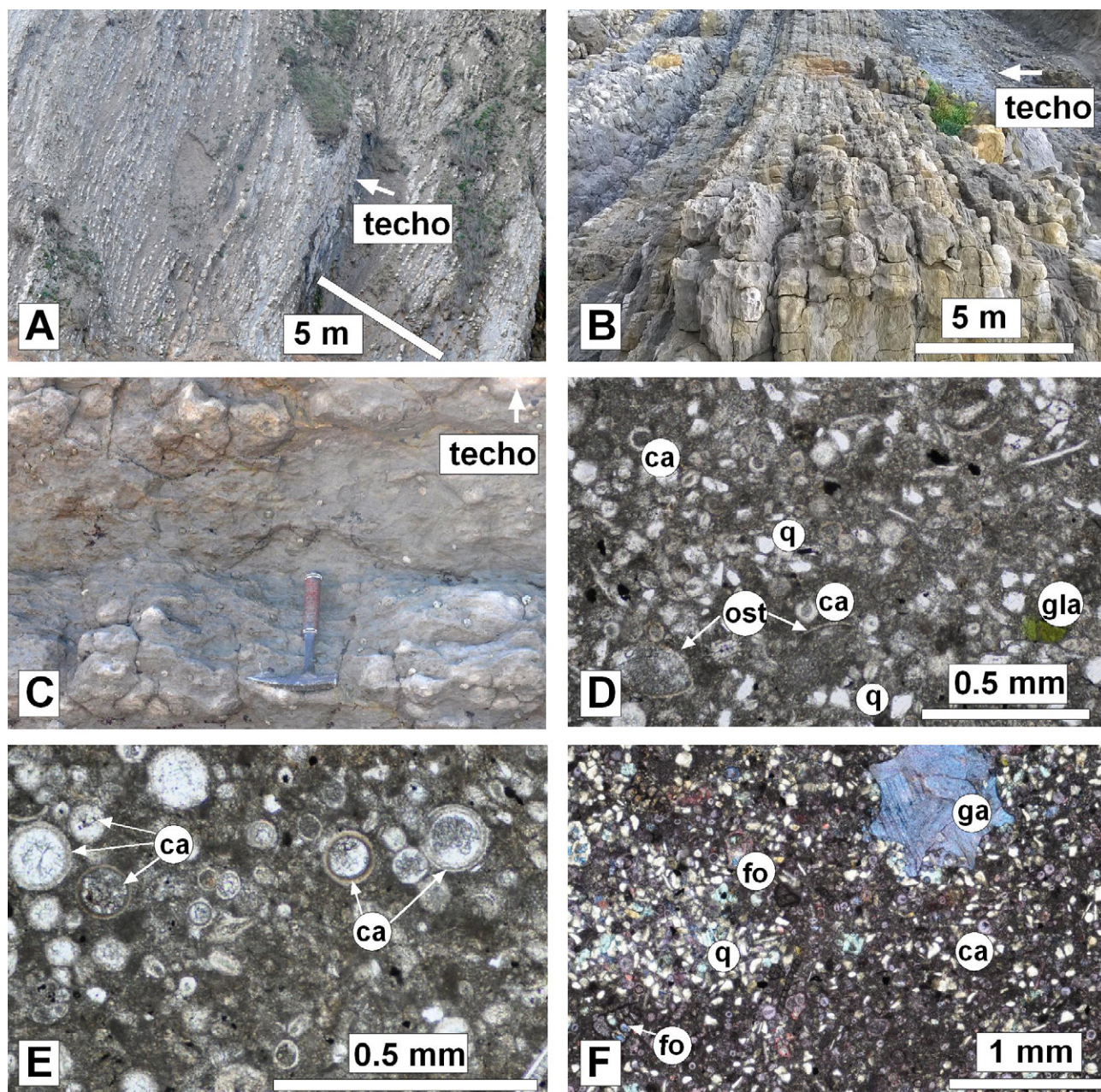


Fig. 11.- A, B y C. Aspectos de campo de la facies *margas y calizas margosas* wackestone de calciesferas (ritmita), la más representativa de la Formación Sardinero, en la sección de Covachos. En B se observa la continuidad lateral de las capas, con límites difusos entre las dos litologías. En C, los términos carbonatados formando nódulos aislados de bordes mal definidos. D. Microfotografía de una caliza nodulosa wackestone de calciesferas (ca), ostrácodos (ost), granos de glauconita (gla) y escasos granos de cuarzo de tamaño limo (q). E. Microfotografía de una caliza nodulosa packstone con abundantes calciesferas (ca) del género *Phitonella* sp. F. Microfotografía de una caliza packstone arenosa, con un contenido en cuarzo (q) anormalmente alto, foraminíferos (fo, textularído), calciesferas (ca), gasterópodos (ga, porosidad biomóldica rellena por cemento esparítico en mosaico).

minos más calcáreos forman capas nodulosas continuas (Fig. 11B) o formas nodulosas aisladas (Fig. 11C) de unos centímetros de espesor. Texturalmente son calizas wackestone (puntualmente packstone), siendo las calciesferas (*Phitonella* sp.) el componente esquelético más abundante (Figs. 11D y 11E). Se han identificado también foraminíferos planctónicos (indeterminados) y diversos organismos bentónicos: foraminíferos, equinodermos, ostrácodos, espículas de esponjas calcificadas (silíceas originalmente), gasterópodos, y bivalvos (Fig. 11D). El contenido en granos de cuarzo varía entre el 10-15%,

siendo puntualmente muy superior (Fig. 11F). Aunque no se han podido realizar láminas delgadas de los términos margosos, éstos presentan un menor contenido de granos esqueléticos, y se han reconocido caparazones completos de micráster, ammonoideos y gasterópodos. La bioturbación (no figurativa) es de moderada a intensa, habiéndose identificado los icnogéneros *Zoophycos*, *Thalassinoides* y *Chondrites*. En las secciones de Portio y playa de Arnía se han observado agregados de cristales aciculares de celestina dispuestos radialmente a partir de un núcleo, formando nódulos (Fig. 12).

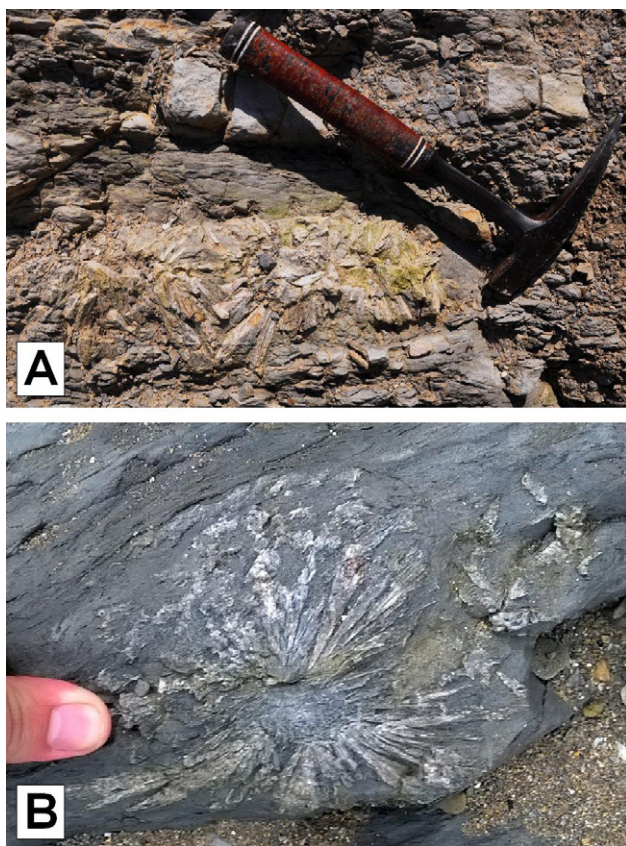


Fig. 12.- A y B. Nódulos de cristales de celestina en un tramo de margas en la sección de la ensenada de Armia.

Interpretación.- Esta facies sería asimilable a la Facies SMF 3 de Wilson (1975): fangos carbonatados *mudstone* y *wackestone* con microfósiles planctónicos, y a *Phytonella packstone* de Gräfe y Wiedmann (1993) descrita en sucesiones del Turoniense superior en otras partes de la CVC. Las calciesferas mesozoicas, consideradas quistes (cysts) de algas planctónicas dinoflageladas (Flügel, 2004), fueron especialmente abundantes en algunos momentos del Jurásico y Cretácico siendo uno de los principales formadores de sedimentos carbonatados pelágicos acumulados en ambientes de rampa externa o de cuenca (Flügel, 2004). Durante el Cretácico, las calciesferas (*Phytonella* y otros géneros dependiendo de la microestructura de la pared) formaron, junto con foraminíferos planctónicos (tipo *Globotruncana*), calpionélidos y radiolarios espesas acumulaciones en ambientes marinos abiertos (plataforma profunda, talud, cuenca, y más raramente en plataforma interna), en diversas partes del mundo (Flügel, 2004 y referencias allí citadas). Gräfe y Wiedmann (1993) coinciden con esta interpretación, considerando que el depósito de las calciesferas, cuyo ciclo vital ocurre en la parte superior de la columna de agua, se produjo en ambientes marinos de baja energía en la parte distal de una rampa carbonatada. Las concentraciones de calciesferas en biomicroritas pelágicas y hemipelágicas del Cretácico Superior del S de Inglaterra y Europa (*chalks*) han sido asociadas a aportes de nutrientes elevados en la columna de agua (Hart, 1987). La precipitación de los agregados de cristales de celestina ocurriría durante la diagénesis temprana en condiciones de escasa oxigenación (Yan y Carlson, 2003).

Lutitas margosas laminadas

Forman tramos de varios metros de espesor en la parte inferior de la Formación Sardinero (Fig. 13A). Las láminas son sub-milimétricas, paralelas y ligeramente onduladas (Figs. 13B y 13C), con granos sub-angulosos de cuarzo tamaño limo (y algunos de moscovita) y granos esqueléticos muy finos de calciesferas y espículas silíceas de esponja (ahora calcificadas), principalmente. Fuera de las laminaciones, la roca presenta pocos granos detríticos (en general entre un 2-10 % del volumen total) y de tamaño muy fino: de cuarzo, glauconita y esqueléticos (ostrácodos además de los mismos de las laminaciones). La bioturbación, muy abundante en el conjunto de la Formación, es escasa en esta facies. Destacan intercalados niveles discontinuos, de ~5 cm de espesor, de calizas micríticas de tonos blancos, que internamente incluyen la misma laminación que las lutitas margosas. Aunque estas capas aparentan una geometría tabular, presentan bruscas terminaciones laterales, creando un rosario de tramos inconexos, en ocasiones nódulos, de una misma “capa” (Fig. 13A).

Interpretación.- Esta facies se interpreta como sedimentos acumulados por debajo de la acción del oleaje de tormenta, en la parte externa de una rampa mixta terrígeno-carbonatada. Wiese (1997) interpreta estos tramos como secuencias calciturbidíticas (*silt-bearing calciturbidites*) acumuladas tanto en cortejos sedimentarios LST/TST como HST de una secuencia estratigráfica, aunque no queda claro si se refiere a todo el conjunto (lutitas margosas) o solamente a las capas blancas de aspecto tabular. Las laminaciones corresponderían a aportes de sedimento tamaño limo (siliciclástico y carbonatado) erosionado de otras partes de la cuenca, en relación con tormentas o corrientes submarinas de plataforma. No se descarta que puedan corresponder a calciturbiditas, aunque éste tipo de depósitos son más propios de la base de talud y cuenca adyacente a plataformas carbonatas de márgenes elevados y taludes inclinados, que de rampas y sistemas pelágicos y hemipelágicos. El hecho de que tampoco se hayan reconocido rasgos estratigráficos específicos de calciturbiditas, como gradaciones o laminaciones de ripples (Flügel, 2004 y referencias allí citadas) apoya esta interpretación. La ausencia o escasa bioturbación se asocia a niveles bajos de oxígeno en el fondo y/o a altas tasas de sedimentación (Tucker y Wright, 1990). Estos mismos autores señalan que laminaciones similares pueden corresponder a depósitos de nubes de fango de baja densidad (*low-density mud clouds*). Depósitos con espículas de esponja son habitualmente interpretados como sedimentos relativamente profundos: Facies SMF 1 de Wilson (1975), espiculitas en la base de talud de plataformas carbonatadas (Bahamonde *et al.*, 2004). Respecto a las capas discontinuas a escala de afloramiento de tonos blancos con mayor contenido en carbonato que las lutitas margosas entre las que se intercalan, pudieran tener un origen diagenético, dada su estructura interna que engloba las laminaciones descritas, y sus bruscas terminaciones laterales o el aspecto de nódulos aislados que presenta en otras ocasiones.

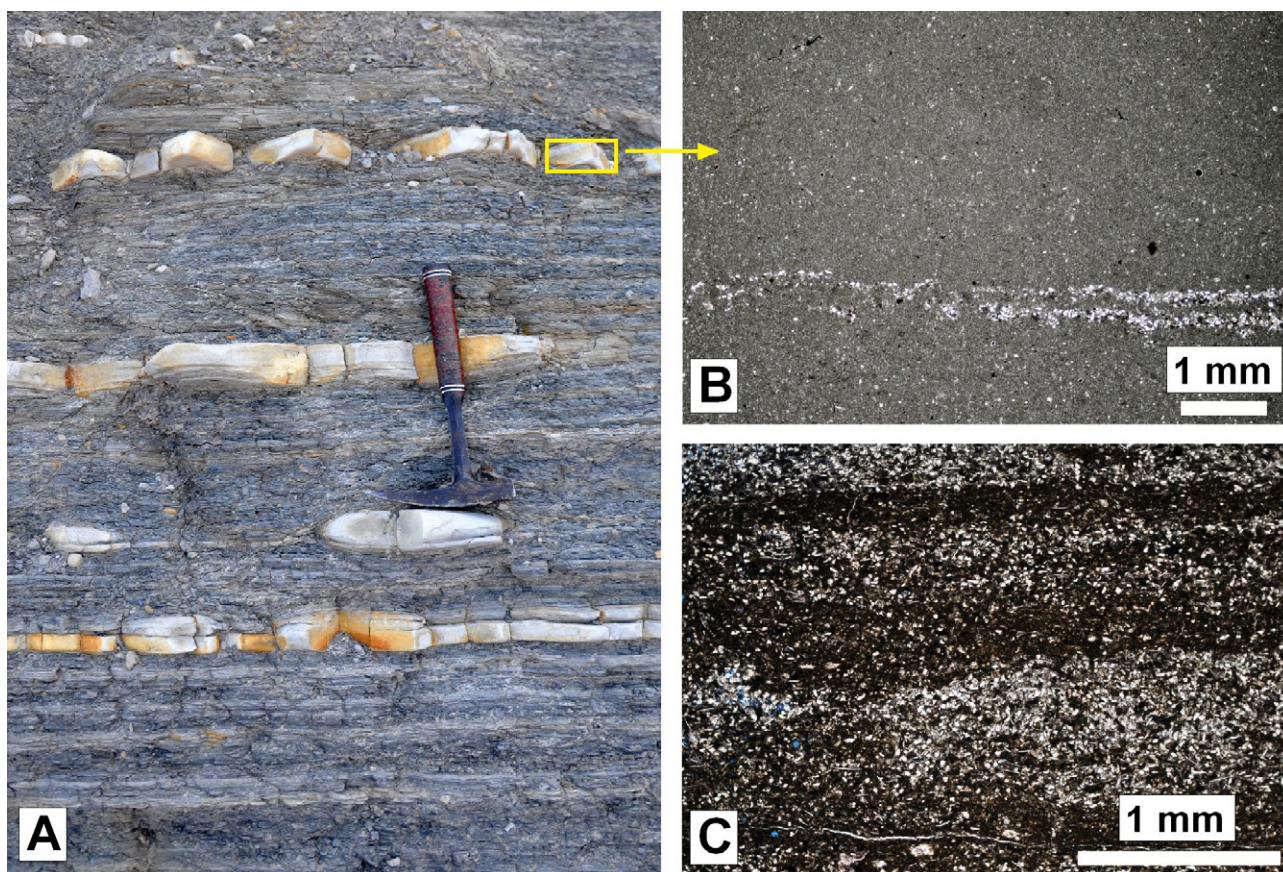


Fig. 13.- A. Aspecto de campo de la facies *lutitas margosas laminadas*, mostrando el carácter discontinuo de los niveles de calizas blancas intercalados. B. Microfotografía de un nivel de calizas micríticas intercalado en las lutitas margosas. Ver posición en A. C. Microfotografía de las lutitas margosas laminadas mostrando el aspecto de las laminaciones formadas por granos de cuarzo tamaño limo y granos esqueléticos de grano muy fino, de calciesferas y espículas silíceas de esponja (ahora calcificadas).

Asociaciones de facies y evolución estratigráfica

En la Formación Sardinero se han diferenciado tres asociaciones de facies (Tabla 2).

La asociación de facies 1, en la parte inferior de la Formación (hasta 35 m en la sección de El Madero), consiste en lutitas margosas con finas laminaciones (e intercalaciones de calizas centimétricas *mudstone*) y calizas nodulosas ricas en calciesferas y granos de glauconita, en una sola capa aislada o en un conjunto de 2 a 4 capas amalgamadas. Ambas facies muestran una cierta ciclicidad de escala métrica (Fig. 14A y 14B). Esta asociación representa la recuperación, de forma intermitente, de la producción carbonatada (hemipelágica) en la cuenca, posterior al *Hardground-99*, y del episodio oceánico anóxico (*OAE2*, Cemonaniense superior-Turonense inferior) que causó cambios globales importantes en la fauna marina, con la extinción de numerosas formas de vida y la expansión de otras, como las calciesferas (Jarvis *et al.*, 1988 y referencias allí citadas). La escasa bioturbación en las lutitas margosas (por lo que se conserva la laminación), así como el carácter detrítico de los granos (siliciclásticos y calcáreos), transportados desde otras zonas de la cuenca, indican muy escasa una productividad orgánica muy escasa en la columna de agua, que alternó con etapas de alta productividad registrada en las calizas nodulosas ricas en calciesferas. Estos cambios des-

de una sedimentación detrítica carbonatada y siliciclástica a carbonatada a hemipelágica (con arcilla y cuarzo) pueden interpretarse como variaciones en el nivel de oxigenación en la cuenca, debido a modificaciones en los patrones de circulación marina en la cuenca que pudieron provocar el intercambio vertical de las aguas. Como posible interpretación, la alternancia de tramos de lutitas margosas laminadas y tramos de calizas nodulosas ricas en calciesferas podría ser el registro de cambios relativos del nivel del mar, representando las lutitas laminadas (depósitos turbidíticos según Wiese, 1997), etapas de mar bajo durante las que se activaría la erosión en las partes más someras de la cuenca y el transporte del material erosionado a las más profundas (distales). Durante las etapas de mar alto se reactivaría la producción carbonatada pelágica en la misma, disminuyendo los aportes detríticos y depositándose las calizas nodulosas ricas en calciesferas y glauconita. El menor contenido de material siliciclástico en las calizas nodulosas respecto a las lutitas laminadas indica que su formación se produciría preferentemente en momentos de máxima transgresión. De todas formas, en el Turonense el contexto general era fuertemente transgresivo, con el nivel del mar global más alto del Cretácico (240-250 m de media más alto que en la actualidad, Haq, 2014), manteniéndose bastante estable hasta el Campaniense, con fluctuaciones relativas de baja amplitud (unos 20 m en ~20 Ma, Haq, 2014).

Asociación de facies, posición estratigráfica y facies que la componen	Interpretación
Asociación 1 , parte inferior de la Fm. Sardinero: lutitas margosas con laminaciones finas y calizas nodulosas ricas en calciesferas y glauconita, mineralizaciones e intensa bioturbación. Ciclos de escala métrica.	Sedimentos acumulados por debajo de la acción del oleaje de tormenta, en la parte externa de una rampa mixta terrígeno-carbonatada. Registra la recuperación de la producción carbonatada (hemipelágica) posterior al <i>Hardground-99</i> , y al <i>OAE2</i> . La escasa bioturbación y contenido fosilífero indica escasa productividad orgánica, que alternó con etapas de alta productividad (calizas nodulosas de calciesferas y glauconita). Ciclicidad por variaciones en el nivel de oxigenación en la cuenca, por cambios en los patrones de circulación marina.
Asociación 2 , la mayor parte de la Fm. Sardinero: alternancia rítmica de margas y calizas margosas, calizas nodulosas ricas en calciesferas y glauconita, calizas con <i>HCS</i> .	Sedimentos marinos hemipelágicos, parte externa de una rampa mixta carbonatada-siliciclástica (bajo acción oleaje de tormenta). Profundidad > 50–100 m. Capas de concentración de calciesferas, glauconita e intensa bioturbación: bajas tasas de sedimentación registran cambios ambientales. Capas de tormenta (<i>HCS</i>): ambientes de rampa intermedia. Intercalaciones de calizas <i>grainstone</i> con estratificación cruzada asociadas a superficies de truncación intraformacional.
Asociación 3 , transición de la Fm. Sardinero a la Fm. y Cabo de Lata (sección de Punta de San Juan): calizas nodulosas <i>grainstone</i> y calizas <i>grainstone</i> arenosas.	Sedimentos acumulados por encima de la acción del oleaje de buen tiempo. Registra la somerización y colmatación de la cuenca.

Tabla 2.- Asociaciones de facies en la Formación Sardinero.

La asociación 2, la más característica, está constituida por la alternancia rítmica de margas y calizas margosas con intercalaciones de calizas nodulosas *packstone* de calciesferas y glauconita (de la asociación anterior). Corresponde a depósitos hemipelágicos acumulados sobre un fondo marino en la parte externa de una rampa mixta carbonatada-siliciclástica (Hines, 1986; Wiesen, 1997, entre otros). Por definición (Burchette y Wright, 1992), estos sectores se sitúan por debajo de la acción de oleaje de tormenta, una profundidad superior a 50–100 m, aunque dada la ausencia de indicadores paleobatimétricos en este tipo de sedimentos, esta batimetría puso ser mucho mayor (Tucker y Wright, 1990). En sucesiones hemipelágicas del Cretácico Superior del noroeste de Europa (*chalks*), con cierta similitud con la Formación Sardinero, se han estimado profundidades entre 100 y unos pocos cientos de metros, a excepción del Graben Central del Mar del Norte donde se superarían los 1000 m (Tucker y Wright, 1990 y referencias allí citadas). Los niveles con mayor concentración de calciesferas, glauconita y más intensa bioturbación corresponden a tasas de sedimentación más bajas por cambios ambientales en la cuenca. La escasez de fauna bentónica en buena parte de la Formación Sardinero estaría en consonancia con el carácter profundo de las facies, así como las trazas fósiles reconocidas (*Thalassinoides*, *Chondrites* y *Zoophycos*) que son comunes en depósitos de una cierta profundidad, pero no permiten más precisiones (Tucker y Wright, 1990). Puntualmente forman parte de esta asociación capas de tormenta (capas de estratificación cruzada *hummocky* en la sección de Portio, ver Fig. 4) que indicarían condiciones puntuales algo más someras, dentro de la zona intermedia de la rampa. También aparecen intercaladas muy puntualmente con la alternancia rítmica la facies de calizas *grainstone* con estratificación cruzada que suele ir asociada a superficies de truncación intraformacional.

La asociación de facies 3 estaría formada por las facies de calizas nodulosas *grainstone* y calizas *grainstone* arenosas en la transición a la Formación Cabo de Lata (sección de Punta de San Juan) que registraría la somerización y colmatación de la cuenca. Las calizas *packstone* margo-arenosas fosilíferas y las calizas *grainstone* con estratificación cruzada (Fig. 15A y 15B) en los afloramientos del hotel Chiqui y playa de Molinucos (flanco meridional del Sinclinal de San Román) corresponden a depósitos de ambientes más someros que los del flanco N (ver apartado de facies sedimentarias).

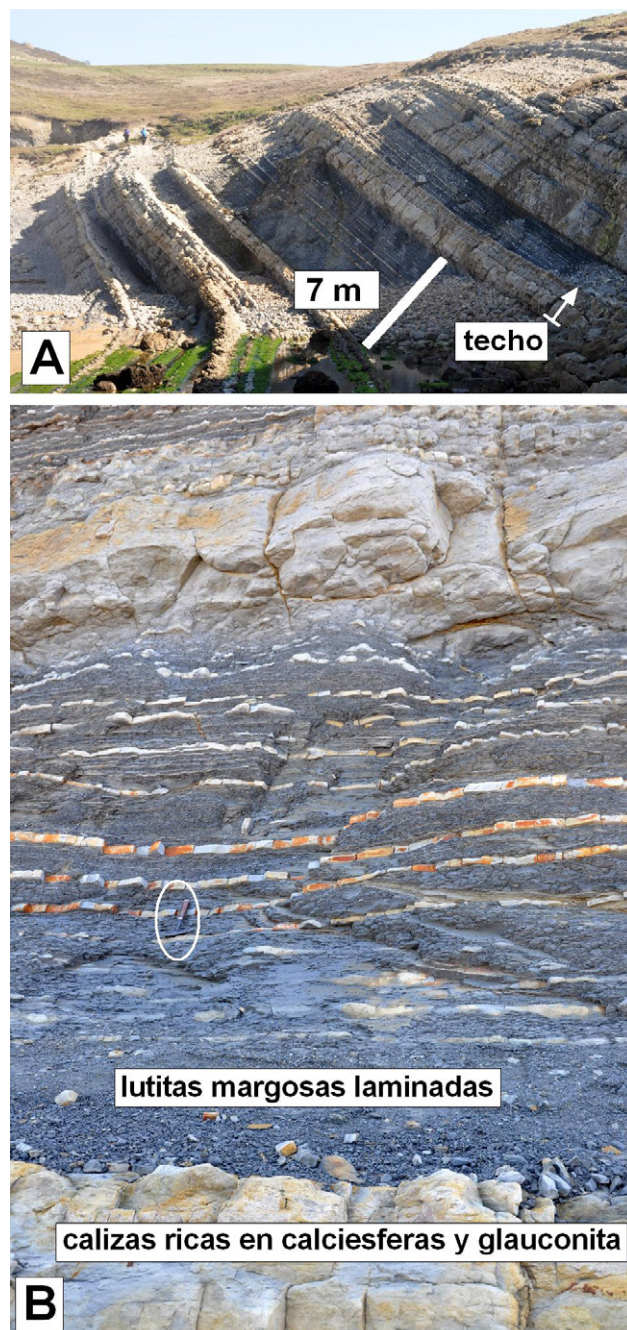


Fig. 14.- Aspectos de campo de la asociación de facies 2 (lutitas margosas laminadas y calizas nodulosas ricas en calciesferas y glauconita), en la parte inferior de la Formación Sardinero (sección El Madero). A) Vista general, mostrando la repetición cíclica de las dos facies que forman la asociación. B) Detalle del ciclo señalado con la escala en A. En el círculo, martillo de 32 cm de longitud como escala.

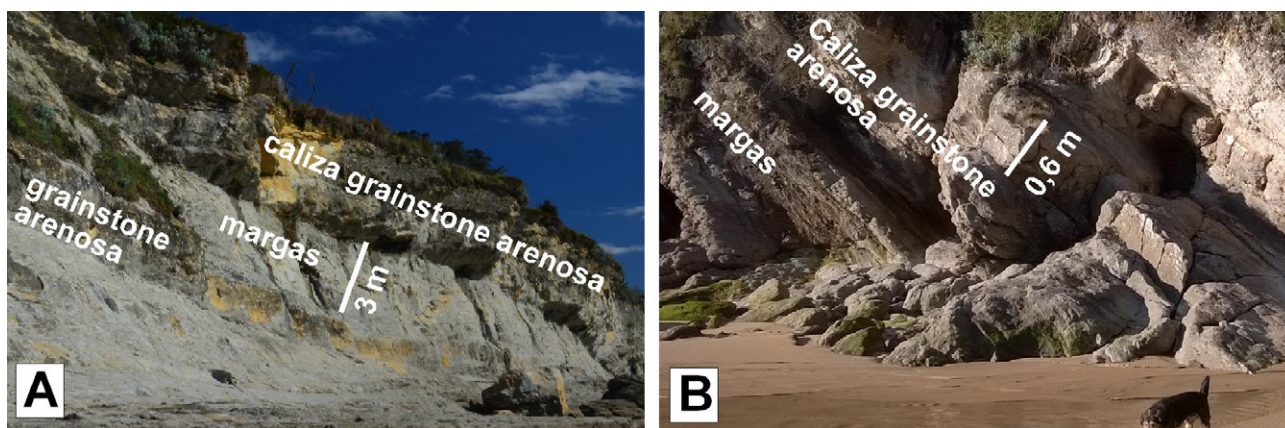


Fig. 15.- Aspectos de campo de la Formación Sardinero en el flanco meridional del Sinclinal de San Román (afloramientos del hotel Chiqui y playa de Molinucos), mostrando depósitos más someros que los del flanco norte. A. Calizas arenosas *grainstone* con estratificación cruzada entre margas. B. Calizas arenosas *grainstone*.

Discusión

Evolución sedimentaria y secuencias estratigráficas en la Formación Sardinero

Wiese y Wilmsen (1999) señalan que las sucesiones del Cretácico Superior del N de Cantabria, registran una etapa transgresiva que, inicialmente, permitió el desarrollo de la plataforma carbonatada de la Formación Altamira, y posteriormente (Cenomaniense medio y superior) su inundación, con condensación en la sedimentación (*Hardground-99* de Reitner *et al.*, 1995) en unas zonas (zona de Lienres), y acumulación de margas y calizas nodulosas en otras (hasta 50 m). Un evento tectónico (*Santander tecto-event*) causaría la emersión generalizada de la *Cuenca Cantábrica Norte* y el final de la sedimentación durante el Cenomaniense (Wilmsen, 1997). La re-inundación y reactivación de la sedimentación en esta zona de la cuenca, de carácter diacrónico dada su configuración en bloques, se produjo a lo largo del Turoniense inferior y medio, con depósitos condensados en la base de la Formación Sardinero (*kallei Zone*, SB Tu 1, de Wiese 1997), y posteriormente (Turoniense medio, *neptuni / deverianum Zone*) con sedimentación turbidítica (DS Tu 2). Esta re-inundación estuvo relacionada con la subida global del nivel del mar al inicio del Turoniense (Haq, 2014), ampliamente documentada en diversas cuencas del mundo con sedimentación carbonatada (Mulayim *et al.*, 2020).

Wiese (1997) ha identificado seis límites de secuencia en la sucesión Turoniense inferior-Coniaciense inferior, interpretados como límites de ciclos de tercer orden en el sentido de Haq *et al.* (1988). Según Wiese (1997), los límites de estas secuencias no coinciden en todos los casos con los límites de secuencias definidas en otras sucesiones de la misma edad del occidente de Europa. Posteriormente, Wiese y Wilmsen (1999) diferencian en el intervalo Cenomaniense a Campaniense cinco megasecuencias (inducidas tectónicamente) que se subdividen en 21 secuencias estratigráficas: 6 del Cenomaniense, 5 del Turoniense, 3 del Coniaciense, 3 del Santoniense, y 4 del Campaniense; cuyos límites coinciden, en numerosas ocasiones, con

límites de biozonas. En ellas se diferencia un LST/TST y un HST. En las secuencias del Turoniense interpretan las lutitas margosas laminadas como cuñas de calciturbiditas acumuladas durante los LST en las depresiones de la cuenca, acuniándose hacia los bloques elevados. Los tramos de calizas nodulosas se consideran depósitos de HST, aunque no siempre se sigue ese mismo criterio. De todas formas, la subdivisión en las citadas 5 megasecuencias del Turoniense no coincide, en buena parte, con la subdivisión que realizaron otros autores para este periodo, tanto en la cuenca Vasco-Cantábrica (Floquet, 1998, Gräfe y Wiedman, 1998), como en Túnez (Robaszynski *et al.*, 1993), Inglaterra (Gale, 1996), o con el cuadro del ciclo global de Haq *et al.* (1988). Según Wiese y Wilmsen (1999), esto puede deberse a que las biozonas de los otros autores no son compatibles con las de ellos; y, en algunos casos, a interpretaciones contradictorias sobre la posición de los límites de secuencia en las sucesiones.

En nuestra opinión, las subdivisiones en megasecuencias o secuencias estratigráficas realizadas por los diversos autores tienen cierto carácter especulativo, y los criterios aplicados no siempre son los adecuados (como el uso de límites de biozonas). Lo más probable es que los límites de las secuencias aparecieran registrados por niveles con rasgos estratigráficos específicos intercalados en la monótona sucesión rítmica: *hardgrounds* durante subidas relativas, o niveles calcareníticos (*rudstone* o *grainstone*) de base neta (erosiva) durante bajadas relativas. Este tipo de niveles específicos aparecen en las columnas de Wiese (1997), pero no siempre coinciden con los límites de secuencias o de los cortejos sedimentarios propuestos por el autor. En este trabajo, se propone que la Formación Sardinero en el área de estudio muestra una tendencia somerizante que culminaría con las calizas *grainstone* bioclásticas de la Formación Cabo de Lata en la sección de Punta de San Juan. La definición de ciclos o secuencias de menor jerarquía (*depositional sequences*) dentro de la sucesión necesitaría un estudio más detallado que el realizado aquí (incluyendo análisis de isótopos estables), por las siguientes razones: a) por la dificultad que entraña el contexto sedimentario con tectónica activa; b) por la poca amplitud de las fluctuacio-

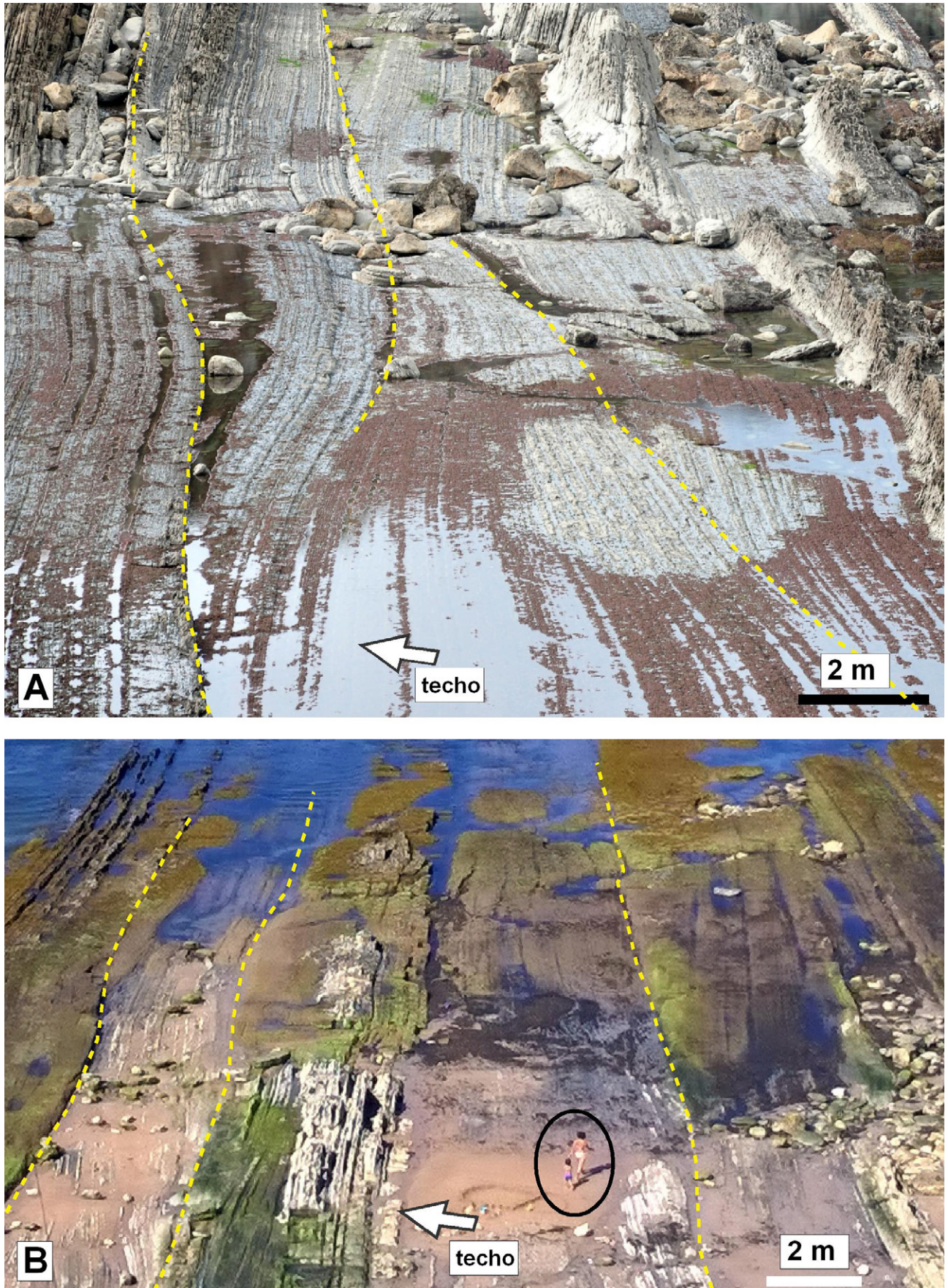


Fig. 16.- Aspectos de campo de la parte inferior de la Formación Sardinero, mostrando diversas superficies de truncación intraformacional (líneas discontinuas amarillas). A. Plataforma de abrasión de Arnía. Ancho de la fotografía en su parte inferior ~15 m, techo hacia la izquierda. B. Playa de Portio, ancho de la fotografía en su parte inferior ~20 m, techo hacia la izquierda.

nes del nivel mar de alta frecuencia durante el Cretácico Superior (Haq, 2014); c) por la monotonía de buena parte de la sucesión estudiada.

Aunque es difícil estimar una tasa de sedimentación fiable de la sucesión estudiada, al carecer de una sección completa, que permita conocer su espesor total, y de un control geocronológico preciso, los valores obtenidos son entorno a ~ 5 cm/ka (~ 450 m/ ~ 8 Ma, Turoniense medio a Santoniense superior). Este valor es superior a la tasa calculada para sucesiones hemipelágicas, de edad similar, en el noroeste de Europa (chalks) por Kennedy y Garrison (1975) que sería de 2-3 cm/ka (sin corrección por compactación), probablemente debido a una elevada tasa de subsidencia.

El origen de la estratificación en la alternancia marga-caliza

El origen de la estratificación en la alternancia marga-caliza es el resultado de procesos diagenéticos que acentúan una anisotropía sedimentaria predefinida (en porosidad-permeabilidad, contenido de arcilla, contenido fósil, etc.). Unos autores dan más importancia a los procesos diagenéticos y otros a los sedimentarios. Estos últimos (Einsele, 1982; Elrick y Hinnov, 2007) consideran que cada par marga-caliza representa una parasecuencia: la caliza nodulosa se formaría en un periodo de nivel del mar alto y la marga durante un periodo de bajo nivel del mar con mayor aporte siliciclástico. Kennedy (1987) describe una ciclicidad rítmica que registraría cambios climáticos de alta frecuencia controlados por factores como la energía solar, productividad orgánica y temperatura del agua (Hart 1987). Los del primer grupo (Bathurst, 1987; Westphal *et al.*, 2000) sostienen que diversos procesos diagenéticos han generado la estratificación rítmica (*diagenetic unmixing*): las capas de caliza serían cementadas durante la diagénesis temprana por transferencia (vertical) de carbonato cálcico desde otros niveles (margosos), siendo mínima la compactación en los primeros y mucho mayor en los segundos (Munnecke y Samtleben 1996). La estratificación diagenética (*diagenetic bedding*) es un rasgo característico de las sucesiones de *chalks* cretácicas (Ekdale y Bromley, 1988), y de las calizas margosas de plataforma marina abierta de Gran Bretaña (Bathurst, 1987), con una repetición de procesos de disolución y cementación que amplifican ligerísimas variaciones litológicas primarias. Así, los planos de estratificación se dispondrían donde la compactación fue más intensa (en la parte media de los niveles menos competentes) y, por lo tanto, no coincidiría con los límites originales entre estratos. En la Formación Sardinero se observan dos situaciones diferentes: 1) par caliza-marga bien definido (Fig. 11A y 11B); y 2) nódulos carbonatados dispersos, o no conectados entre sí, dentro de las margas (Fig. 11C). En el primer caso, algunos rasgos señalarían un origen primario de la estratificación: a) mayor contenido de granos esqueléticos en la caliza que en los intervalos margosos; b) falta de paralelismo (concordancia) de la estratificación entre los paquetes de caliza-marga situados por debajo y por encima de las superficies de truncación

intraformacional, lo que indicaría que la diferenciación de caliza y marga ya había ocurrido antes de la deformación o truncación sinsedimentaria, y que la redistribución vertical del carbonato durante la litificación/compactación fue limitada. Por el contrario, calizas nodulosas con formas irregulares y discontinuas, con transiciones caliza-marga difusas y graduales, y sin cambios texturales claros entre ambas litologías, parecen ser el resultado de procesos diagenéticos como la cementación concrecionaria diagenética temprana y la bioturbación (Möller y Kvingan 1988).

Superficies de truncación intraformacional

En las secciones de Arnía y Portio (Fig. 16A y 16B, respectivamente), las superficies de truncación intraformacional pasan lateralmente a superficies de concordancia, y a techo de ellas, e intercaladas en la alternancia marga-caliza se disponen calizas *grainstone* con estratificación cruzada (Fig. 10B). En otros afloramientos, aparecen asociadas a niveles de calizas nodulosas interpretados como niveles de condensación. Ligadas a ellas se han observado estructuras de deformación sin-sedimentaria, tales como cabalgamientos de pequeña escala, fracturas y *slumps*. Estructuras similares se han descrito en las sucesiones cretácicas del sur de Inglaterra, Normandía y otras localidades del norte de Francia, así como en la cuenca de París (Kennedy, 1987; Mortimore, 2011; Esmerode *et al.*, 2007, entre otros), como canales y cicatrices erosivas de gran escala que cortan sucesiones rítmicas (marga-caliza) de cretas y que contienen conglomerados, *hardgrounds*, capas deformadas (*slumps*) y depósitos de *debris flow* (Quine y Bosence, 1991). En esos casos, su origen ha sido atribuido a fuertes corrientes en el fondo marino (Quine y Bosence, 1991) en una cuenca fracturada en bloques. Otros autores han evocado erosión por corrientes de contorno paralelas a la costa (Esmerode *et al.*, 2007, 2008; Esmerode y Surlyk, 2009), deslizamientos gravitacionales desencadenados por tectónica sin-sedimentaria (Kennedy, 1987; Mortimore, 2011). En el caso de la Formación Sardinero, su origen podría estar relacionado con el régimen tectónico extensional ligado a la apertura del Golfo de Vizcaya, desde finales del Aptiense hasta principios del Campaniense (p. ej. Olivet, 1996), antes del inicio de la convergencia alpina. Wiese (1997) y Wilmsen (1997) han señalado que la Cuenca Cantábrica Norte estuvo afectada por una tectónica activa durante el Cretácico Superior. Además, las deformaciones cretácicas relacionadas con actividad diapírica de las sucesiones del Triásico (Küchler, 2000), pudieron causar fragmentación e inclinación de bloques en el fondo oceánico. Casos de transporte gravitacional de bloques a gran escala dentro de cretas, con planos de deslizamiento rotacional y otros rasgos de deformación plástica, resultado de actividad tectónica han sido descritos, entre otras, en sucesiones del Cretácico Superior y Paleógeno Inferior en el NO de la península Arábiga (Livnat *et al.*, 1986; Buchbinder *et al.*, 1988); en el Canal de Etreait, cuenca de París (Mortimore, 2011), en el Graben Central del Mar del Norte (Kennedy, 1987). No se descarta la interpretación como contouritas, ya que éstas pueden incluir estructuras tractivas intercaladas en sucesiones pelágicas y hemipelágicas, superficies de

erosión, superficies corrugadas convexas, canales, etc. (Rebesco *et al.*, 2014). Las calizas *grainstone* con estratificación cruzada asociadas (acumulaciones de material bentónico re-trabajado desde áreas más someras de la cuenca), podrían estar relacionadas con dichas corrientes de contorno. En cualquier caso, se requieren estudios complementarios que permitan obtener datos adicionales para esclarecer totalmente el origen de las superficies y de las estructuras asociadas.

Conclusiones

En Costa Quebrada (flanco norte del sinclinal de San Román, O de Santander), la Formación Sardinero (Turonense a Campaniense) alcanza ~450 m espesor y consiste en margas y calizas margosas, con abundantes calciesferas y granos de glauconita, acumuladas en ambientes de plataforma (rampa) externa (por debajo del nivel de acción de oleaje de tormenta) mixta, carbonatada-siliciclástica. Este espesor varía considerablemente en otras partes de la cuenca (~900 m en el flanco sur del sinclinal de San Román), dada su configuración en bloques.

La Formación registra la re-inundación de esta zona de la cuenca (Turonense medio), consecuencia de la subida global del nivel del mar en ese periodo, después de una larga etapa sin depósito y con sedimentación condensada (*Hardground-99*). Al inicio, la sedimentación fue predominantemente siliciclástica (lutitas margosas laminadas), interrumpida por niveles de calizas nodulosas amalgamadas que representan intentos de recuperar una sedimentación carbonatada en la cuenca, posteriormente al episodio oceánico anóxico global *OAE2* (Cemonaniense superior-Turonense inferior) que causó cambios importantes en la fauna marina a nivel global. En el Turonense superior, se recuperó la producción de organismos con caparazón calcáreo en la columna de agua marina, manteniéndose durante el resto del Cretácico. A esta etapa, con un nivel del mar muy elevado, corresponden los depósitos hemipelágicos de margas y calizas nodulosas que caracterizan a la Formación Sardinero y que se acumularon, con elevadas tasas de sedimentación (~5 cm/ka), en un fondo marino situado entre 50-100 m de profundidad. Los depósitos de calizas margoso-arenosas fosilíferas y las calizas con estratificación cruzada que afloran en el flanco sur del sinclinal de San Román (afloramientos del hotel Chiqui y playa de Molinucos), registrarían ambientes más someros que los anteriores. La colmatación de la cuenca aparece registrada en las calizas arenosas de la Formación Cabo de Lata (sección de Punta de San Juan).

En la mitad inferior de la Formación Sardinero se han reconocido superficies de truncación intraformacional previamente descritas, que separan conjuntos de capas no concordantes entre sí, comparables en geometría y escala a estructuras descritas en las sucesiones cretácicas del S de Inglaterra, Normandía y N de Francia. Su origen estaría relacionado con la tectónica sinsedimentaria descrita en la cuenca durante este periodo: movimientos extensionales ligados a la apertura del golfo de Vizcaya y/o procesos halocinéticos de las facies salinas del Keuper. No obstante, no se descarta la interpretación como contouritas, ya que éstas pueden incluir, intercaladas en sucesiones pelágicas y

hemipelágicas, estructuras tractivas, superficies de erosión, superficies corrugadas convexas, canales, etc.

Algunos rasgos estratigráficos señalarían un origen primario de la estratificación en la alternancia marga-caliza de la Formación Sardinero: a) mayor contenido de granos esqueléticos en la caliza que en los intervalos margosos; b) falta de paralelismo (concordancia) de la estratificación entre los paquetes de caliza-marga situados por debajo y por encima de las superficies de truncación intraformacional, indicando que la diferenciación de caliza y marga fue previa a la truncación, y que la redistribución vertical del carbonato durante la litificación/compactación fue limitada. Por el contrario, cuando los nódulos carbonatados aparecen dispersos, con transiciones caliza-marga difusas y graduales, y sin cambios texturales claros entre ambas litologías, su formación sería resultado de procesos diagenéticos, como la cementación concrecionaria diagenética temprana y la bioturbación.

Agradecimientos y financiación

El presente estudio es el resultado en un trabajo fin de estudios del Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo, y ha recibido financiación del Departamento de Geología de dicha institución. Más allá de esa pequeña financiación, la investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro. Agradecemos a los revisores Pedro Huerta y Alberto Pérez López los comentarios y sugerencias realizadas que han supuesto una mejora significativa del manuscrito original.

Contribución de autores/as

Los dos autores han contribuido en todos los apartados del trabajo. Si bien, en la obtención de datos de campo y revisión del manuscrito Miguel Herrera ha realizado la contribución principal; mientras que Juan R. Bahamonde ha tenido un papel protagonista en apartados como elaboración del trabajo (redacción, diseño de figuras e interpretación de resultados).

Referencias

- Bahamonde, J.R., Kenter, J.A.M., Della Porta, G., Keim, L., Immenhauser, A., Reijmer, J.J.G., 2004. Lithofacies and depositional processes on a high, steep-margined Carboniferous (Bashkirian-Moscovian) carbonate platform slope, Sierra del Cuera, NW Spain. *Sedimentary Geology*, 166: 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2003.11.019>
- Bathurst, R.G.C., 1987. Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction. *Sedimentology*, 34: 749-778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1987.tb00801.x>
- Boudagher-Fadel, M.K., 2008. Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera, Vol 21. Chapter 5, the Mesozoic large benthic foraminifera: The Cretaceous, 215-295. UCL Press, U.K. [https://doi.org/10.1016/S0920-5446\(08\)00005-8](https://doi.org/10.1016/S0920-5446(08)00005-8)

- Buchbinder, B., Benjamini, C., Mimran, Y., Gvirtzman G., 1988. Mass transport in Eocene pelagic chalk on the northwestern edge of the Arabian platform, Shefela area, Israel. *Sedimentology*, 35: 257-274.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb00948.x>
- Burchette, T.P., Wright, V.P., 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79: 3-57.
[https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A)
- Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R., Flor, E., Francés, E., González J.R., Salas L., 1986. Guía didáctica de la franja costera entre la Península de la Magdalena y Liencres (Cantabria) - Universidad de Cantabria, Consejería de Educación del Gobierno de Cantabria. TOMOS I y II.
- Christ, N., Immenhauser, A., Wood, R., Darwich, K., Hachenberg, A., 2015. Petrography and environmental controls on the formation of Phanerozoic marine carbonate hardgrounds. *Earth-Science Reviews*, 151: 176-226.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.10.002>
- Dott, R.H., Bourgeois, J., 1982. Hummocky stratification: significance of variable bedding sequences. *Geological Society of America, Bulletin*, 93: 663- 680.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1982\)93<663:HSSOIV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1982)93<663:HSSOIV>2.0.CO;2)
- Drzewiecki, P.A., Simo, J.A., 1997. Carbonate platform drowning and oceanic anoxic events on a mid-Cretaceous carbonate platform, south-central Pyrenees, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 698-714.
<https://doi.org/10.1306/D426861C-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: *Classification of Carbonate Rocks* (W.E. Ham, Ed.), Memoir American Association Petroleum Geologists, 1: 108-121.
<https://doi.org/10.1306/M1357>
- Einsele, G., 1982. Limestone-marl cycles (Periodites): diagnosis, significance, causes—a review. En: *Cyclic and event stratification* (G. Einsele, A. Seilacher, Eds.), Berlin, Springer. 8-53.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-75829-4_2
- Ekdale, A.A., Bromley, R.G., 1988. Diagenetic microlamination in chalk. *Journal Sedimentary Petrology*, 58: 857-861.
<https://doi.org/10.1306/212F8E8B-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Elrick, M., Hinnov, L.A., 2007. Millennial-scale paleoclimate cycles recorded in widespread Palaeozoic deeper water rhythmites of North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243: 348-372.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.08.008>
- Esmerode, E.V., Lykke-Andersen, H., Surlyk, F., 2007. Ridge and valley systems in the Upper Cretaceous chalk of the Danish Basin: contourites in an epeiric sea. En: *Economic and Palaeoceanographic Significance of Contourite Deposits* (A.R. Viana, M. Rebesco, Eds.), Geological Society of London Special Publication, 276: 265-282.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2007.276.01.13>
- Esmerode, E.V., Surlyk, F., 2009. Origin of channel systems in the Upper Cretaceous Chalk Group of the Paris Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 1338-1349.
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.05.001>
- Feuillée, P., Rat, P., 1971. Structures et paléogéographies Pyrénéo-Cantabriques. En: *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne* (J. Deviser, X. Le Pichon, L. Montardet Eds.), Publications de l'Institut Français du Pétrole, Collection Colloques et Séminaires, 22, Technip, Paris, 1-48.
- Floquet, M., 1998. Outcrop cycle stratigraphy of shallow ramp deposits: the Late Cretaceous series on the Castilian Ramp (Northern Spain). En: *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins* (P.C. Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin, P.R. Vail, Eds.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 60: 343-361.
<https://doi.org/10.2110/pec.98.02.0343>
- Föllmi, K.B., Weisset, H., Bisping, M., Funk, H., 1994. Phosphogenesis, carbon-isotope stratigraphy, and carbonate-platform evolution along the Lower Cretaceous northern Tethyan margin. *Geological Society of America Bulletin*, 106: 729-746.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1994\)106<0729:PCISAC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<0729:PCISAC>2.3.CO;2)
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 976 pp.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-08726-8>
- Gale, A.S., 1996. Turonian correlation and sequence stratigraphy of the Chalk in southern England. En: *Sequence Stratigraphy in British Geology* (S.P. Hesselbo, D.N. Parkinson, Eds.), Geological Society of London, Special Publication, 103:177-195.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.103.01.10>
- García-Mondéjar, J., Pujalte V., Amiot, A., Mathey, B., 1982. Región Vasco-Cantábrica y Pirineo Navarro. En: *El Cretácico de España* (A. García, Ed.). Ed. Complutense, Madrid, 49-160.
- Gräfe, K.U., 2005. Late Cretaceous benthic foraminifers from the Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. *Journal of Iberian Geology*. 31: 277-298.
- Gräfe, K.U., Wiedmann, J., 1993. Sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous of the Basque-Cantabrian Basin, northern Spain. *Geologische Rundschau*, 82: 327-361.
<https://doi.org/10.1007/BF00191837>
- Gräfe, K.U., Wiedmann, J., 1998. Sequence stratigraphy on a carbonate ramp: the Late Cretaceous Basque-Cantabrian Basin (Northern Spain). En: *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins* (P.C. Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin, P.R. Vail, Eds.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 60: 333-341.
<https://doi.org/10.2110/pec.98.02.0333>
- Hag, B.U., 2014. Cretaceous eustasy revisited. *Global Planet Change*, 113, 44-58.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>
- Hag, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R., 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. En: *Sea-Level Changes: An Integrated Approach* (C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.A. Ross, H.W. Posamentier, J.C. Van Wagoner, C.G. St. C. Kendall (Eds.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42: 71-108. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0071>
- Hart, M.B., 1987. Orbitally-induced cycles in the Chalk facies of the United Kingdom. *Cretaceous Research*, 8: 335-348.
[https://doi.org/10.1016/0195-6671\(87\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0195-6671(87)90003-6)
- Hines, F.M. 1986., The sedimentation, tectonics and stratigraphy of the cretaceous/tertiary sequence of northwest Santander, Northern Spain. PhD thesis, Univ. Oxford, 274 p.
- Huggett, J.M., Gale A.S., 1997. Petrology and paleoenvironmental significance of glaucony in the Eocene succession at Whitecliff Bay, Hampshire Basin, UK. *Journal Geological Society London*, 154: 897-912.
<https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.5.0897>
- Jarvis, I., Carson, G.A., Cooper, M.K.E., Hart, M.B., Leary, P.N., Tocher, B.A. 1988. Microfossil assemblages and the

- Cenomanian-Turonian (late Cretaceous) oceanic anoxic event. *Cretaceous Research*, 9, 3-103.
[https://doi.org/10.1016/0195-6671\(88\)90003-1](https://doi.org/10.1016/0195-6671(88)90003-1)
- Jenkyns, H.C., 1974. Origin of red nodular limestones (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic: a diagenetical model. En: *Pelagic Sediments: on Land and Under the Sea* (K.J. Hü, H.C. Jenkyns, Eds.). International Association of Sedimentologists Special Publication, 1: 249-271.
<https://doi.org/10.1002/9781444304855.ch11>
- Kennedy, W.J., 1987. Late Cretaceous and early Paeocene Chalk Group sedimentation in the Greater Ekofisk Area, North Sea Graven. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 11: 91-126.
- Kennedy, W.J., Garrison, R.E., 1975. Morphology and genesis of nodular chalks and hard-grounds in the Upper Cretaceous of Southern England. *Sedimentology*, 22: 311-386.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1975.tb01637.x>
- Küchler, T., 2000. Upper Cretaceous of the Barranca (Navarra, northern Spain); integrated litho-, bio-, and event stratigraphy. Part II. Campanian Maastrichtian. *Acta Geologica Polonica*, 50: 441-499.
- Livnat, A., Flexer, A., Shafran, N., 1986. Mesozoic unconformities in Israel: characteristics, mode of origin and implications for the development of Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 55: 189-212.
[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(86\)90150-1](https://doi.org/10.1016/0031-0182(86)90150-1)
- Martín-Chivelet, J., Berasategui, X., Rosales, I., Lorenzo, L., Vera, J.A., Caus, E., Gräfe, K., Maas, R., Puig, C., Segura, M., Robles, S., Floquet, M., Quesada, S., Ruiz-Ortiz, P.A., Fregenal-Martínez, M.A., Salas, R., Arias, C., García, A., Martín-Algarra, A., Meléndez, M.N., Chacón, B., Molina, J.M., Sanz, J.L., Castro, J.M., García-Hernández, M., Carenas, B., García-Hidalgo, J., Gil, J., Ortega, F., 2002. Cretaceous. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons, T. Moreno, Eds.). Geological Society of London, 255-292.
<https://doi.org/10.1144/GOSPP.12>
- McRae, S.G. 1972. Glauconite. *Earth Science Review*, 8: 397-440.
[https://doi.org/10.1016/0012-8252\(72\)90063-3](https://doi.org/10.1016/0012-8252(72)90063-3)
- Möller, N.K., Kvingan, K., 1988. The genesis of nodular limestones in the Ordovician and Silurian of the Oslo region (Norway). *Sedimentology*, 35: 405-420.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb00994.x>
- Mortimore, R.N., 2011. A chalk revolution: what have we done to the Chalk of England? *Proceedings of the Geologists' Association*, 122: 298-331.
<https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2010.10.003>
- Mulayim, O., Yilmaz, O.I., Sari B., Tasli, K.M., 2020. Cenomanian-Turonian drowning of the Arabian Carbonate Platform, the İnşidere section, Adıyaman, SE Turkey. En: *Cretaceous Climate Events and Short-Term Sea-Level Changes* (M. Wagreich, H.B. Hart, B. Sames, I.O. Yilmaz, Eds.). Geological Society of London Special Publication, 498: 189-210.
<https://doi.org/10.1144/SP498-2018-130>
- Munnecke, A., Samtleben, C., 1996. The formation of micritic limestones and the development of limestone-marl alternations in the Silurian of Gotland, Sweden. *Facies*, 34:159-176.
<https://doi.org/10.1007/BF02546162>
- Odin, G.S., Matter, A., 1981. De glauconiarum originae. *Sedimentology*, 28: 611-641.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1981.tb01925.x>
- Olivet, J.L., 1996. Kinematics of the Iberian Plate. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine*, 20: 131-195.
- Olszewska-Nejbert D., 2004. Development of the Turonian/Coniacian hard-ground boundary in the Cracow Swell area (Wielkanoc quarry, Southern Poland). *Geological Quarterly Journal*, 48: 159-170.
- Pandey, D.K., Fürsich, F.T., Alberti, M., Sharma, J.K., Swami, N., 2018. Recurrent hardgrounds and their significance for intra-basinal correlations: a case study of upper Bathonian rocks from the western margin of the Indian craton. *Journal of Palaeogeography*, 7:14.
<https://doi.org/10.1186/s42501-018-0013-3>
- Quine, M., Bosence, D., 1991. Stratal geometries, facies, and sea-floor erosion in Upper Cretaceous Chalk, Normandy, France. *Sedimentology*, 38: 1113-1152.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb00375.x>
- Rebesco, M., Hernández-Molina, J., Van Rooij, D., Wählin, A., 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: state-of-the-art and future considerations. *Marine Geology*, 352: 111-154.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.011>
- Reitner, J., Wilmsen, M., Neuweiler, F., 1995. Cenomanian/Turonian sponge microbialite deep-water hardground community (Liencres, Northern Spain). *Facies*, 32, 203-212.
<https://doi.org/10.1007/BF02536869>
- Robaszynski, F., Hardenbol, J., Caron, M., Amédéo, F., Dupuis, Ch., González Donoso, J.-M., Linares, D., Gartner, S., 1993. Sequence stratigraphy in a distal environment: the Cenomanian of the Kalaat Senan Region, Central Tunisia. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 17:395-433.
- Robles, S., 2014. Evolución geológica de la Cuenca Vasco-Cantábrica. En: *Geología de la Cuenca Vasco-Cantábrica* (A. Bodego, M. Mendia, A. Aramburu, A. Apraiz, Eds.): Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, UPV-EHU, Bilbao, 9-103.
- Tucker, M.E., 1974. Sedimentology of Palaeozoic pelagic limestones: The Devonian griotte (southern France) and Cephalopodenkalk (Germany). En: *Pelagic Sediments: on Land and Under the Sea* (K.J. Hsü, H.C. Jenkyns, Eds.). International Association of Sedimentologists Special Publication, 1: 71-92.
<https://doi.org/10.1002/9781444304855.ch4>
- Tucker, M.E., Wright, V.P., 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science. 482 p.
<https://doi.org/10.1002/9781444314175>
- Westphal, H., Head, M.J., Munnecke, A., 2000. Differential diagenesis of rhythmic limestone alternations supported by palynological evidence. *Journal Sedimentary Research*, 70: 715-725.
<https://doi.org/10.1306/2DC40932-0E47-11D7-8643000102C1865D>
- Wiese, F., 1997. Das Turon und Unter-Coniac im Nordkantabrischen Becken (Provinz Kantabrien, Nordspanien): Faziesentwicklung, Bio-, Event- und Sequenzstratigraphie. *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen. Reihe E, Paläobiologie. Band 24*, PhD thesis, Univ. Berlin, 176 p.
- Wiese, F., Wilmsen, M., 1999. Sequence stratigraphy in the Cenomanian to Campanian of the North Cantabrian Basin (northern Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 212: 131-173.
<https://doi.org/10.1127/njgpa/212/1999/131>
- Wilmsen, M., 1997. Das Oberalbe und Cenoman im Nordkantabrischen Becken (Provinz Kantabrien, Nordspanien):

- Faziesentwicklung, Bio- und Sequenzstratigraphie. Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen. Reihe E, Paläobiologie, Band 23. PhD thesis, Univ. Berlin, 279 p.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate Facies in Geologic History, Springer-Verlag, Berlin. 471 pp.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>
- Yan, J., Carlson, E.H., 2003. Nodular celestite in the Chihhsia formation (Middle Permian) of south China. Sedimentology, 50: 265-278. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00552.x>
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). Marine Geology, 178: 171-195.
[https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)
- MANUSCRITO RECIBIDO: 29-04-2025
REVISIÓN RECIBIDA: 21-05-2025
ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 02-06-2025



ANÁLISIS DEL DECLIVE DE LOS ESTUDIOS EN GEOLOGÍA EN ESPAÑA EN EL SIGLO XXI

Analysis of the decline of geology studies in Spain in the 21st-century

Jaime Bonachea Pico¹

¹ Dpto. de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, España. jaime.bonachea@unican.es

Resumen: La Geología es una disciplina fundamental para entender la dinámica del planeta, gestionar de forma sostenible los recursos naturales y prevenir riesgos geológicos. En España, el número de estudiantes en estudios universitarios en geología ha sufrido un descenso progresivo a lo largo del siglo XXI. Este trabajo examina la evolución de la matrícula, el acceso, las tasas de egresados y de abandono, la empleabilidad y las posibles causas detrás de la pérdida de interés por esta carrera. El grado en geología se oferta en diez universidades donde solo se cubre un 66 % de las plazas. Desde el año 2000 se observa un descenso del número de matrículas del 73 % y el abandono en primer curso se sitúa en torno al 37 %, a pesar de que la tasa de ocupación en egresados es superior al 75 %. Causas como la reducción de contenidos en educación secundaria por la limitada formación del profesorado, la baja ponderación en el acceso a la universidad o la competencia de otros grados afines, entre otras, podrían estar detrás del descenso de vocaciones geológicas. Aunque en España se desarrollan iniciativas de divulgación de la geología, su impacto aún es insuficiente para despertar vocaciones científicas geológicas.

Palabras clave: estudios geología, sistema educativo español, déficit contenidos geológicos, empleabilidad egresados, divulgación.

Abstract: Geology is a fundamental discipline for understanding Earth's dynamics, managing natural resources sustainably, and mitigating geological risks. In Spain, there has been a consistent decline in the number of students studying geology at university level throughout the 21st century. This paper analyzes trends in enrollment, access, graduation and dropout rates, employment rates, and the potential causes behind the decreasing interest in these studies. Since the year 2000, there has been a 73% decrease in enrolment, with a first-year drop-out rate of approximately 37%, despite the fact that the graduate employment rate exceeds 75%. The decline in geological vocations may be attributable to a number of factors, including the reduction of content in secondary education due to limited teacher training, the low weighting in university access, or competition from other related degrees. Although various initiatives have emerged to promote geology in Spain, their impact has so far been insufficient to spark genuine enthusiasm for the geosciences among young people.

Keywords: geology studies, Spanish education system, deficit of geological content, graduate employability, dissemination.

Bonachea Pico, J., 2025. Análisis del declive de los estudios en geología en España en el siglo XXI. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 38 (1), 62-73.

Introducción

La Geología, junto a otras ciencias del saber, como las Matemáticas, la Física, la Química y la Biología, constituye la base del conocimiento necesario para entender el entorno que nos rodea. Desde esa perspectiva, se puede concluir que la Geología está muy presente a nuestro alrededor y, por tanto, en nuestras vidas.

A través de los estudios en geología se puede avanzar en el conocimiento y análisis de la estructura y composición del planeta Tierra, así como en los procesos que a lo largo de sus casi 4600 Ma de edad han configurado el planeta y continúan haciéndolo, tanto interna como externamente. A su vez, todos esos procesos han permitido la generación de los recursos que hoy en día son necesarios para llevar a cabo el desarrollo humano, como son: los minerales (Groves y Santosh, 2024), las rocas (Přikryl, 2021), los productos energéticos (Dincer y Acar, 2018), los recursos hídricos (Hoff, 2009), los suelos (Clunes *et al.* 2022), o el propio paisaje (Meneghello, 2021), entre otros, todos ellos fundamentales para el devenir de la humanidad.

Durante las últimas décadas, al igual que otros muchos países del mundo, España ha sufrido las consecuencias de distintos tipos de riesgos geológicos de origen natural (Bonachea *et al.*, 2014), tales como inundaciones, terremotos, volcanes e incendios, que han ocasionado daños significativos en términos de pérdidas humanas y económicas. Como es bien sabido, la concienciación de la población sobre estos peligros potenciales contribuye a salvar vidas y a minimizar las pérdidas económicas.

En este sentido, es fundamental el papel que desempeñan las geólogas y los geólogos en la comprensión y divulgación del funcionamiento del planeta, la evaluación de los impactos generados por la actividad humana al obtener los recursos naturales, y la identificación de los riesgos naturales que amenazan a la sociedad. Esta evaluación es fundamental para la mitigación de los efectos de dichos riesgos y, en última instancia, para la sensibilización y capacidad de adaptación de la sociedad a los retos futuros en un contexto de cambio global.

Por ello, se hace necesaria la adquisición de conocimientos geológicos, desde las etapas educativas obligatorias, hasta las no obligatorias. El déficit de conocimientos geológicos en la sociedad se puede paliar a través de distintas actividades e iniciativas que se programan en nuestro país de forma gratuita, y que están a disposición de profesionales y del público en general, permitiendo acercar la geología a la sociedad (Mujer y Niña en la ciencia, Ferias Científicas, *Pint of Science*, La Noche de los investigadores, Semanas de la Ciencia, Proyectos de divulgación científica, Geolodías, Olimpiadas de Geología, o cualquier otra actividad que se diseña en las propias facultades para atraer a nuevo estudiantado). Por otro lado, la declaración de geoparques por parte de la UNESCO, tanto en el mundo, como en España (con 18 territorios en 2025 con esta figura), contribuye a la puesta en valor de la geología ante la sociedad.

Los estudios en geología tienen diversidad de salidas profesionales: la exploración y explotación de recursos minerales y energéticos, la geotecnia, la prospección de

las aguas subterráneas, el estudio y mitigación de riesgos naturales, actividades de divulgación, etc. Por tanto, los egresados en los estudios de geología disponen de un amplio abanico de oportunidades de trabajo lo que les permite incorporarse a la empresa privada, pero también trabajar en la administración pública, bien dedicándose a la investigación y docencia en las universidades, o a la enseñanza en la educación secundaria.

En el año 2021, diversas entidades elaboraron un manifiesto en defensa de la Geología en todas las etapas educativas (Brusi *et al.*, 2022a), en respuesta a la reducción progresiva de esta materia en los contenidos curriculares (Brusi *et al.*, 2022b) y su reemplazo por otras materias percibidas como más atractivas. Esa situación conlleva a que el estudiantado carezca de la información esencial para acceder a este tipo de saberes en el futuro, sobre todo en el acceso a la universidad. De acuerdo con García-Yelo *et al.* (2022), tras un análisis exhaustivo de los currículos incluidos en las recientes leyes educativas, se concluye que la formación científica en geología del estudiantado al final de la etapa preuniversitaria no abarca los contenidos mínimos requeridos, lo que resulta en una limitada alfabetización científica en la sociedad española. Calvo-Sevillano (2025) señala que, si los libros de texto incluyesen a más mujeres, ello podría mejorar los números de mujeres que, a la hora de estudiar un grado, eligiesen el de geología.

En el presente trabajo se analiza la tendencia de los estudios de geología en España desde el curso 2000-2001 hasta el 2022-2023, periodo para el cual los datos estadísticos publicados son más homogéneos, dado que se ha observado un declive del número de estudiantes que accede a estudios de licenciatura/grado en geología. Se discuten algunas de las posibles causas de ese descenso. Además, se considera la evolución del estudiantado de nuevo ingreso, de las matrículas totales en los diferentes cursos y los porcentajes de egresados. Asimismo, se compara la tendencia de las matrículas de estudiantes que se han examinado de las materias Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente y Geología, en las Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU). Al mismo tiempo, se comparan las tasas de empleabilidad de egresados en estudios de geología, con el fin de observar los porcentajes de ocupación de estos estudios frente a otros grados.

Contexto educativo

El sistema educativo español ha sido objeto de la implantación de numerosas leyes educativas (LGE, 1970; LODE, 1980; LOGSE, 1990; LOCE, 2002; LOE, 2006 y LOMCE, 2013) hasta llegar a la LOMLOE, vigente desde 2021. La enseñanza de la Geología se integra de manera transversal a lo largo de la educación primaria (EP), la educación secundaria obligatoria (ESO) y, en el caso de la educación secundaria no obligatoria, en la modalidad de bachillerato. La asignatura de Geología y Ciencias Ambientales, impartida actualmente en el 2º curso de Bachillerato, tiene como propósito ampliar y reforzar los conocimientos geológicos y competencias previamente adquiridas en la educación primaria y secundaria, así

como en la asignatura impartida en 1º de Bachillerato, denominada Biología, Geología y Ciencias Ambientales. Pedrinaci *et al.* (2013), con anterioridad a la implantación de la LOMCE, sugirieron que, despertar vocaciones geológicas en la etapa preuniversitaria, ayudaría a incrementar el número de personas alfabetizadas en las Ciencias de la Tierra. Según Ramón (2000), la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente que se impartía en la educación secundaria, durante la LOGSE, presentaba una debilidad significativa al no abordar adecuadamente los contenidos geológicos, lo que resultaba en un déficit en la formación de los estudiantes al ingresar a la universidad. Anguita (2004) ya advertía del declive de la geología en la enseñanza secundaria, proponiendo estrategias para revitalizar su interés entre estudiantes y docentes. Moral y Olías (2012) analizaron la distribución de estudiantes en las licenciaturas y grados impartidos en España durante la primera década del siglo XXI, evidenciando ya una clara disminución del número de estudiantes, atribuida a la reducción de contenidos geológicos en etapas educativas previas.

Por otra parte, a lo largo del tiempo las materias de fase específica que se han evaluado en las pruebas de acceso a la universidad han ido cambiando y, en consecuencia, las relacionadas con la geología. En 2017 comenzó a evaluarse la materia denominada Geología. Previamente, la asignatura de la cual se examinaba el alumnado en las pruebas de acceso se denominaba Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (CTMA). En la Comunidad Autónoma de Cataluña, el alumnado se seguía evaluando de CTMA y no de Geología. Con la actual ley educativa, o LOMLOE, a partir de 2024, la materia a examinar en la PAU se denomina Geología y Ciencias Ambientales.

La Conferencia de Decanos de Geología (<https://decanosgeologia.blogspot.com>) en 2013 hizo una revisión del total de alumnado matriculado, estudiantado de nuevo ingreso y total de egresados, en los diferentes grados de geología que se impartían en España entre los cursos 2000-2001 y 2012-2013, corroborando una disminución respecto a años precedentes. Gil *et al.* (2022) presentan un análisis de género en los estudios de grado en geología en España, donde también indican un descenso en el número de estudiantes. Casas y López (2017) señalan que los estudios en geología en la universidad del País Vasco muestran una disminución en el número de matriculados y una alta tasa de abandono a partir del segundo año, lo cual se enmarca en un déficit previo en conceptos básicos de geología. Martínez-Braceras *et al.* (2022) indican que la enseñanza de la geología en la ESO necesita mejorar notablemente para que atraiga a los estudiantes. López-Martínez (2024) constata la escasa relevancia dada a la geología en la enseñanza secundaria de nuestro país, a pesar de los continuos cambios legislativos existentes. Una estrategia potencial para fomentar su enseñanza es a través de programas diseñados para adultos mayores, tales como los programas Senior, de la Tercera Edad o de la Experiencia (Fernández-Lozano *et al.*, 2018a) o las diferentes iniciativas que contribuyen a acercar la geología a la sociedad y a algunas etapas del sistema educativo.

Iniciativas que promueven vocaciones geológicas

Desde el ámbito académico, se han desarrollado, y continúan desarrollándose en nuestro país, una serie de iniciativas, que buscan promover la inclusión de la geología en la agenda ciudadana, y así crear vocaciones geológicas desde etapas tempranas.

La primera iniciativa surge en 1991, cuando se constituye la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT; <https://www.aepect.org/>). Esta asociación cuenta con cerca de 1000 socios, tanto españoles como extranjeros, entre los que se encuentra profesorado de enseñanza secundaria y de universidad, principalmente. Desde 1993, la AEPECT publica cuatrimestralmente “en abierto” la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (ECT), en la que se presentan experiencias educativas y fundamentos conceptuales didácticos aplicables en el aula, laboratorio y campo, así como investigaciones educativas y otros aspectos relacionados con el proceso de enseñanza y aprendizaje en el ámbito de la geología. La asociación organiza, bianualmente y desde 1980, los Simposios sobre la Enseñanza de la Geología, cuya misión es fomentar el conocimiento geológico del profesorado, en todos los niveles educativos, así como facilitar su formación científica y didáctica, lo cual ayudará a divulgar la geología en la sociedad. En 2024 tuvo lugar el XXII Simposio sobre Enseñanza de la Geología en el Geoparque Montañas de Courel (Galicia) (Ballesteros y López, 2024), el más reciente. Durante los simposios se realizan talleres sobre actividades que se pueden llevar al aula, así como salidas de campo, las cuales son un recurso fundamental para la enseñanza de ciencias (Aguilera, 2018).

Además, la AEPECT organiza, en colaboración con otras entidades, las Olimpiadas regionales, nacionales e internacionales de Geología, en las que el alumnado de 4º de ESO y de Bachillerato, pone a prueba sus conocimientos geológicos (Calonge *et al.*, 2021). La primera edición de la Olimpiada Nacional de Geología se celebró en la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, en 2010; en 2025 se ha celebrado la 16ª Olimpiada Española de Geología en Tremp (Lérida). Los cuatro participantes mejor clasificados de la fase nacional, acuden a la fase internacional. En esta última ocasión, la 18ª Olimpiada Internacional de Geología (<https://www.igeosciad.org/activities/ieso-2/history/>) de 2025 se celebra en China, habiéndose celebrado en 2007, en Corea del Sur, la 1ª edición de estas olimpiadas internacionales.

La Sociedad Geológica de España organiza, desde 2005, la actividad del Geolodía (Crespo-Blanc *et al.*, 2011; Bonachea *et al.* 2022; Pascual-Trillo, 2022). Los Geolodías (<https://geolodia.es/>) consisten en excursiones geológicas, gratuitas y guiadas por geólogos, en lugares de interés geológico, que están dirigidas al público en general, y que se realizan anualmente en casi todas las provincias de España, durante el segundo fin de semana de mayo. Esta actividad ha ido expandiéndose por todo el territorio nacional, hasta convertirse en una cita anual obligada.

Los Hidrogeodías (Fernández-Lozano *et al.* 2018b), promovidos por el Grupo Español de la Asociación Inter-

nacional de Hidrogeólogos, celebran jornadas para divulgar la importancia de las aguas subterráneas.

El Instituto Geológico y Minero en 2017 puso en marcha el proyecto “Apadrina una roca” (Vegas *et al.*, 2018), mediante el cual, cualquier persona o entidad puede apadrinar cualquiera de los casi 5000 Lugares de Interés Geológico incluidos en la base de datos IELIG (<https://info.igme.es/ielig/>) de nuestro país. El objetivo principal de esta iniciativa radica en la sensibilización, conservación y protección del patrimonio geológico español.

A nivel internacional, desde el año 2000, la UNESCO ha promovido la declaración de figuras de Geoparque Mundial en aquellos territorios que disponen de un patrimonio geológico destacable a nivel mundial. En la actualidad, se han declarado 229 geoparques en 50 países del mundo, de los cuales España cuenta con 18, constituyendo el segundo país del mundo en número de geoparques, después de China (Orús y Urquí, 2020; Bonachea *et al.*, 2023). Los geoparques son regiones habitadas que disponen de un patrimonio geológico reconocido, además de otros elementos del medio natural y cultural, en los cuales la geoconservación y el desarrollo sostenible son objetivos estratégicos, para la cual es indispensable la participación de profesionales de la geología.

A pesar de estas iniciativas (y otras más como son las ferias de minerales, concursos de cristalización, charlas, etc.) que son llevadas a cabo por diferentes profesionales y entidades, sigue existiendo un gran desconocimiento geológico en la sociedad, lo cual se traduce en una disminución continua de las cifras de estudiantado que se matricula en los grados de geología. Si las tendencias continúan, podríamos estar enfrentando una posible desaparición de la geología como profesión en España.

Metodología de análisis

Para llevar a cabo el presente trabajo sobre la evolución de los estudios de geología en España a lo largo del siglo XXI, se ha recurrido a diferentes bases de datos, que recopilan información sobre esta temática. Inicialmente, se han consultado los datos que dispone cada centro/universidad, a través de su Sistema Interno de Calidad. Las tasas de abandono en el primer curso de cada grado se obtuvieron a partir de la información estadística que ofrece cada universidad para cada grado. No obstante, es pertinente señalar que en dichos sistemas los datos más antiguos corresponden al curso 2011-2012, y los más recientes al 2023-2024. La serie de cursos analizados varía entre 5 y 12 años.

Por otra parte, las universidades aportan diversos datos estadísticos al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Este ministerio pone a disposición de la ciudadanía la información estadística a través del Sistema Integrado de Información Universitaria (SIIU: <https://www.ciencia.gob.es/Ministerio/Estadisticas/SIIU.html>), dependiente de la Secretaría General de Universidades. El SIIU dispone de estadísticas relacionada con los estudios universitarios desde el curso 2010-2011. Así, se ha recopilado información de los grados en geología referente a: i) estudiantes matriculados; ii) estudiantes de nuevo ingreso; iii) estudiantes egresados.

La información sobre cursos anteriores, se encuentra alojada en el Instituto Nacional de Estadística (INE: <https://www.ine.es>), que incluye la estadística de la enseñanza universitaria desde el curso 1985-1986 hasta el curso 2010-2011. Se debe tener en cuenta que durante los cursos 2010-2011 y 2014-2015, en las distintas universidades, salvo en la UA, convivieron las titulaciones de licenciado y de grado, con lo cual las búsquedas en la base de datos se referirán a licenciado/a y graduado/a.

Se han detectado pequeñas discrepancias al comparar la información proveniente de diferentes fuentes (ministerios o portales de transparencia de las propias universidades). Estas diferencias pueden deberse a errores en la transcripción o la actualización continua de los datos. Por esta razón, se ha decidido tomar como fuente principal los datos del SIIU, utilizando el resto de informaciones de las universidades únicamente como herramienta de validación.

Resultados

Impartición de grados

En la actualidad, se imparte grado en geología en 10 universidades de 9 provincias españolas (Fig. 1; Tabla 1). La propia observación del mapa de la figura 1, parece mostrar una distribución homogénea de los grados en el territorio español. La primera universidad en la que se iniciaron los estudios de geología (licenciatura) fue la Universidad de Barcelona (UB), en 1953. Posteriormente, en 1958, se iniciaron en las universidades de Granada (UGR) y de Oviedo (UO). Diez años después se iniciaron los estudios en la Universidad de Salamanca (USAL), seguida de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). En los años 70 comienzan los estudios en la Universidad del País Vasco (UPV), después en la Universidad de Zaragoza (UZ) y a continuación en la Universidad Complutense de Madrid (UCM). A principios de los años 80, comienzan los estudios en la Universidad de Huelva (UHU), siendo la última en incorporarse a esta oferta académica, la Universidad de Alicante (UA), con los estudios de grado iniciados en el curso 2010-2011 (Tabla 1).



Fig. 1. En colores, provincias españolas en las que se imparten estudios de grado en geología.

Universidad	Facultad	Inicio de estudios	Nota de acceso 2022-2023	Plazas ofertadas 2022-2023	Estudiantes de nuevo ingreso 2000-2023		Tasa media de abandono (%)
					Media	Desviación estándar	
Barcelona (UB)	Geología	1953	5	60	75	24,3	23,3
Granada (UGR)	Ciencias	1958	5	75	54	25,9	48,5
Oviedo (UO)	Geología	1958	5	50	35	11,9	32,9
Salamanca (USAL)	Ciencias	1968	5	45	21	14,1	21,5
Autónoma de Barcelona (UAB)	Ciencias	1970	5	40	56	18,8	12,7
País Vasco (UPV)	Ciencias y Tecnología	1971	5	50	47	19,3	48,9
Zaragoza (UZ)	Ciencias	1973	5	47	43	16,8	43,1
Complutense de Madrid (UCM)	Ciencias Geológicas	1974	5	110	101	32,2	42,6
Huelva (UHU)	Ciencias Experimentales	1981	5	40	13	6,8	47,1
Alicante (UA)	Ciencias	2010	6,846	50	37	5,4	47,3

Tabla 1. Universidades españolas, ordenadas por año de inicio de estudios, en las que se imparten estudios de grado en geología, con indicación de: nombre de centro de impartición, año de inicio, nota PAU de acceso, número de plazas ofertadas, media y desviación estándar del número de estudiantes matriculados en primer curso y tasa de abandono media en el primer curso. Fuente: Registro de Universidades, Centros y Títulos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (https://www.educacion.gob.es/ruct/consulta_estudios?actual=estudios) y sistemas de calidad de las universidades.

Acceso a los grados y plazas existentes

El acceso a los estudios de grado se realiza a partir de la superación de las pruebas de acceso a la universidad (PAU). Salvo en la UA, donde se necesitaba un 6,8 para poder acceder al grado de geología (7,6 en el curso 2023-2024), en el resto de universidades solo se requiere un 5 para acceder al grado en geología (Tabla 1). El número de plazas de nuevo ingreso, ofertadas en la actualidad, en las diferentes universidades oscila entre 40 y 110 (Tabla 1); situándose la mayor oferta en la UCM y en la UGR.

Matrículas en los grados

En el curso 2022-2023, el límite de plazas ofertadas para iniciar estudios de grado en geología en toda España era de 567, de las que se ocuparon en nuevo ingreso un total de 373, lo que corresponde a un 65,8 % del total (quedando vacante casi el 34 % de las plazas disponibles). Si se atiende a la media anual de los estudiantes que han iniciado el grado en geología durante el siglo XXI (Tabla 1), solo la UB indica una media superior al número de plazas actuales ofertadas anualmente. La columna en la que se presenta la desviación estándar de las matrículas a lo largo de este siglo (Tabla 1), muestra como la menor variación de matrículas se ha producido en la UHU y en la UA, mientras que la UCM, la UGR y la UB, son aquellas que han sufrido una mayor variación en el número de estudiantes de nuevo ingreso.

La adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior hizo que los primeros grados se instaurasen en el curso 2009-2010, concretamente en las universidades de Huelva, Zaragoza, Autónoma de Barcelona, Barcelona y Complutense de Madrid. En el curso siguiente, el resto de las universidades implementó la nueva estructura académica, permitiendo la coexistencia de los antiguos programas de licenciatura con los nuevos títulos de grado hasta el curso académico 2014-2015 (en la UAB, la licenciatura se extinguió en el curso 2013-2014). Como ya se ha comen-

tado, la UA comenzó su andadura en el curso 2010-2011 implantando directamente su programa de grado.

En la figura 2 se muestra el número total de matriculados en todos los cursos, bien de licenciatura bien de grado, por curso académico. La UCM presenta el mayor número de personas matriculadas y la UHU, la que menos. En general, se observa una clara disminución de las matrículas en todas las universidades a lo largo del periodo analizado. A principios de siglo hay matriculados un total de 5139 estudiantes en las licenciaturas de geología.

En el curso 2009-2010, se alcanza un número mínimo de estudiantes matriculados, concretamente 2016 (menos de la mitad de los matriculados diez años antes). A partir de ese curso, se recupera lentamente con los inicios de los estudios en la UA, manteniéndose más o menos estable la matrícula hasta el curso 2012-2013 (en torno a los 2000 estudiantes totales). En los cursos más recientes, el número de matrículas continúa descendiendo ligeramente, situándose por debajo de los 1400 estudiantes. Ello significa que, en los últimos 23 años se ha visto reducida la matrícula a casi la cuarta parte respecto al inicio de siglo.

El análisis del comportamiento de las matrículas por universidad durante todo el periodo (Fig. 3A) indica un claro descenso de las nuevas matrículas en todas ellas, más concretamente desde el curso 2011-2012. Sin embargo, para periodos más recientes no todas las universidades tienen el mismo comportamiento en cuanto a matriculación. Desde el curso 2016-2017 hasta el último curso analizado (2022-2023), la UPV muestra una ligera tendencia de aumento en el número de matrículas; la UCM, UB y USAL presentan una tendencia de estabilidad en las matrículas, y el resto UGR, UHU, UZ, UO, UAB y UA, apuntan a una ligera disminución.

La figura 3B refleja la matrícula anual de alumnado de nuevo ingreso en los estudios de geología en el conjunto de España. A principios de siglo iniciaban los estudios de geología más de 800 universitarios y, en el curso 2022-2023, las matrículas se redujeron a menos de la mitad, concretamente 373 estudiantes. También se puede observar (Fig. 3B) el punto de inflexión que se produce en el curso 2007-

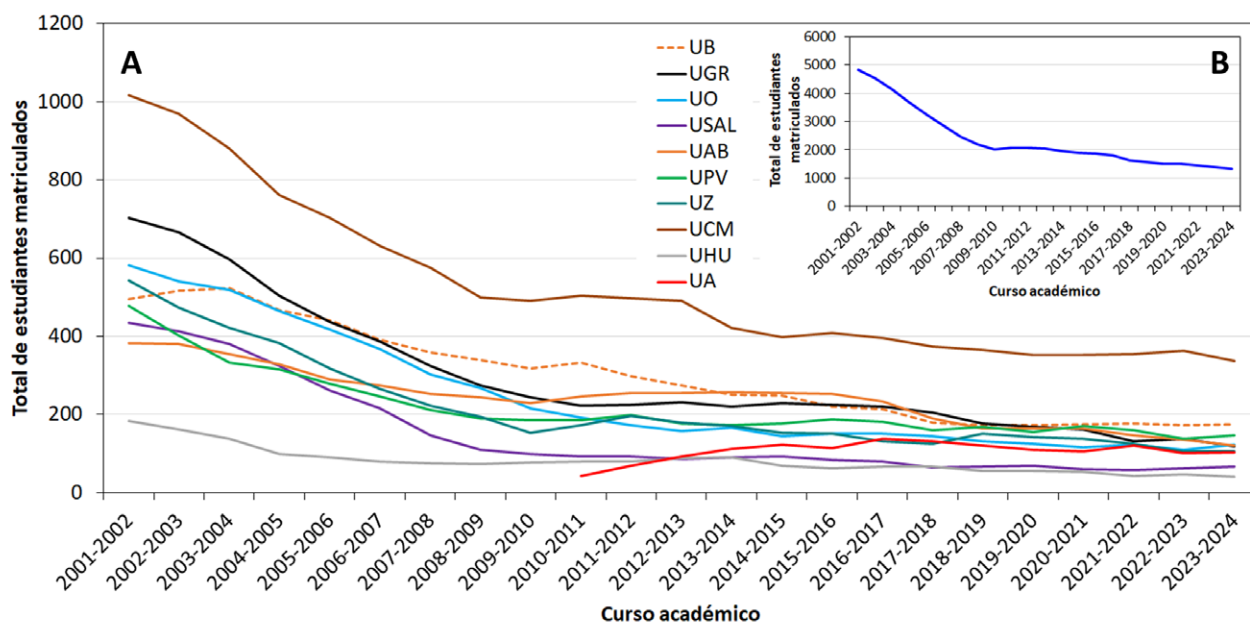


Fig. 2. Evolución del número total de estudiantes matriculados en estudios de geología (licenciatura y grado) durante el periodo 2000-2023. A. Por universidad. B. En el conjunto de España.

2008, con 260 estudiantes de nuevo ingreso, coincidiendo con la crisis económica. A continuación, se recupera teniendo un máximo en el curso 2011-2012, momento en que se alcanzan las 610 matrículas, para continuar descendiendo paulatinamente en periodos más recientes.

Análisis de materias PAU

Durante el periodo 2017-2023 (ley educativa LOMCE), periodo en el que coexisten Geología y CTMA en Cataluña y resto de España, el número de matrículas totales en las PAU ha descendido claramente (Fig. 4). El mayor

descenso se produjo entre 2019 y 2020, momento en que se pasó de 4759 a 2887 matriculados. Desde 2021, el número de matrículas parece mantenerse, con una media de 2300 estudiantes. El alumnado matriculado que se presentó a alguno de los exámenes, entre 2020 y 2023, fue el 83 %, habiendo superado la materia el 75 %.

En la figura 4 se compara la matrícula de nuevo ingreso en grados en geología en España con los datos de las PAU. Mientras en estos últimos años la media de matrícula de nuevo ingreso ronda los 400 estudiantes, dicha matrícula se mantiene constante, independientemente de los cambios que se puedan producir en las materias de PAU.

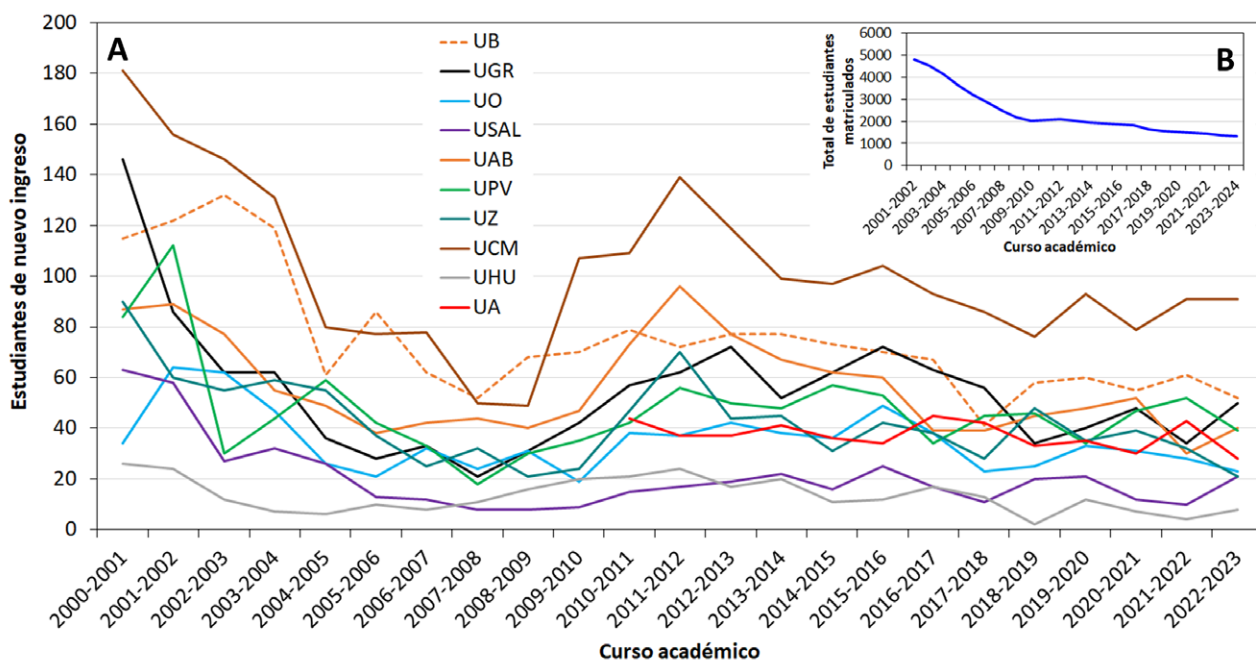


Fig. 3. Evolución de las matrículas de nuevo ingreso en estudios de geología (licenciatura y grado), durante el periodo 2000-2023. A. Por universidad. B. En el conjunto de España.

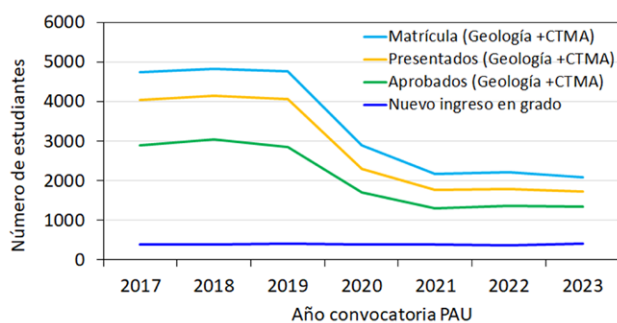


Fig. 4. Evolución del número de estudiantes matriculados, presentados y aprobados en las pruebas de acceso a la universidad en las materias de Geología y CTMA en España en las convocatorias de los años 2017 a 2023. Se indica, a modo de comparación, el número de estudiantes de nuevo ingreso (Fig. 2B y 3B).

Análisis de egresados

El número de personas egresadas en los grados de geología y, de acuerdo con las tendencias de las matrículas de nuevo ingreso, marca un descenso paulatino en el número de estudiantes que finalizan sus estudios (Fig. 5). A principios de siglo, se licenciaban casi 600 universitarios, y en el curso 2022-2023 se graduaban en torno a los 200, es decir, una tercera parte, lo cual está en consonancia con las cifras de matriculados de nuevo ingreso. Para el periodo transcurrido del siglo XXI, la media anual de egresados en geología es de 340 graduados/licenciados.

Análisis de la tasa de abandono

En la tabla 1, en su última columna, se indica la tasa media de abandono en cada grado en el primer curso. En el conjunto de todas las universidades, la tasa media de abandono en primer curso es del 36,8 %. Los grados con menor

tasa de abandono son los impartidos en la UAB, USAL y UB, mientras que la mayor tasa de abandono se produce en la UPV y UGR.

Cuando se compara el número total de personas egresadas con el número total de estudiantes de nuevo ingreso (Fig. 6), se observa que en los últimos años se produce un ligero paralelismo entre graduados y estudiantes de nuevo ingreso, lo cual parece obvio aunque no siempre ha sido así, dado que entre los cursos 2004-2005 y 2008-2009, se produce un mayor número de egresados que aquellos que inician los estudios. Esto podría significar que todos aquellos estudiantes que iniciaron la licenciatura, finalizaron sus estudios. Por otra parte, en los últimos años, se gradúa algo más de la mitad de estudiantes que se matriculan de nuevo ingreso. Es decir, casi la mitad de los estudiantes que inician el grado no finalizan los estudios.

Inserción laboral de egresados

A partir de las encuestas de inserción laboral de titulados universitarios publicadas por el INE (2016, 2020), la situación laboral de los egresados en geología es buena, comparada con otras titulaciones (Tabla 2). En la tabla 2, se observa un ascenso importante en la ocupación de los graduados respecto a los licenciados, así como un aumento del número de geólogos ocupados en los últimos 10 años. Según el Ranking CYD (<https://www.rankingcyd.org/insercion-laboral>) que muestra la situación de los graduados, un año después de su graduación, en el curso 2018-2019, disponen de contrato de trabajo el 29,6 %, y el 67,6 % a los 4 años de graduarse. Según el centro de empleo de la UA, más del 50 % de los que disponen de trabajo están empleados bajo el epígrafe de servicios profesionales y actividades científicas (<https://centroempleo.ua.es/>).

En relación con el total de graduados en España, las di-

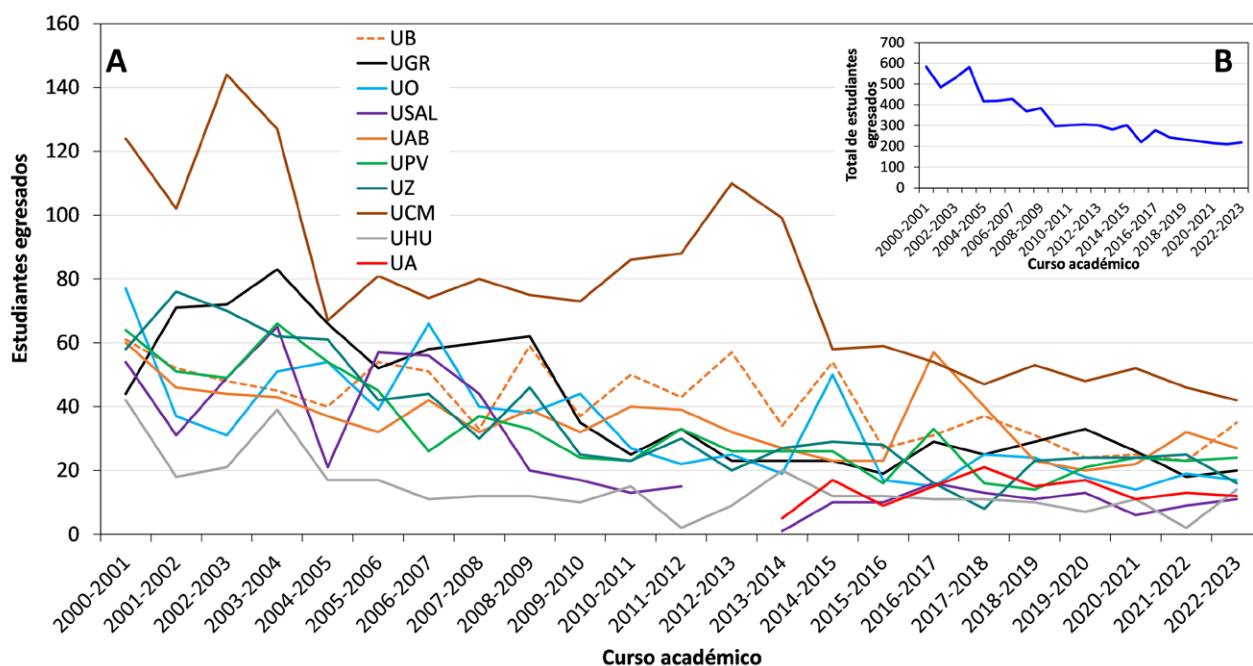


Fig. 5. Evolución del número de egresados en los estudios de geología en España, durante el periodo 2000-2023. A. Por universidad. B. En el conjunto de España.

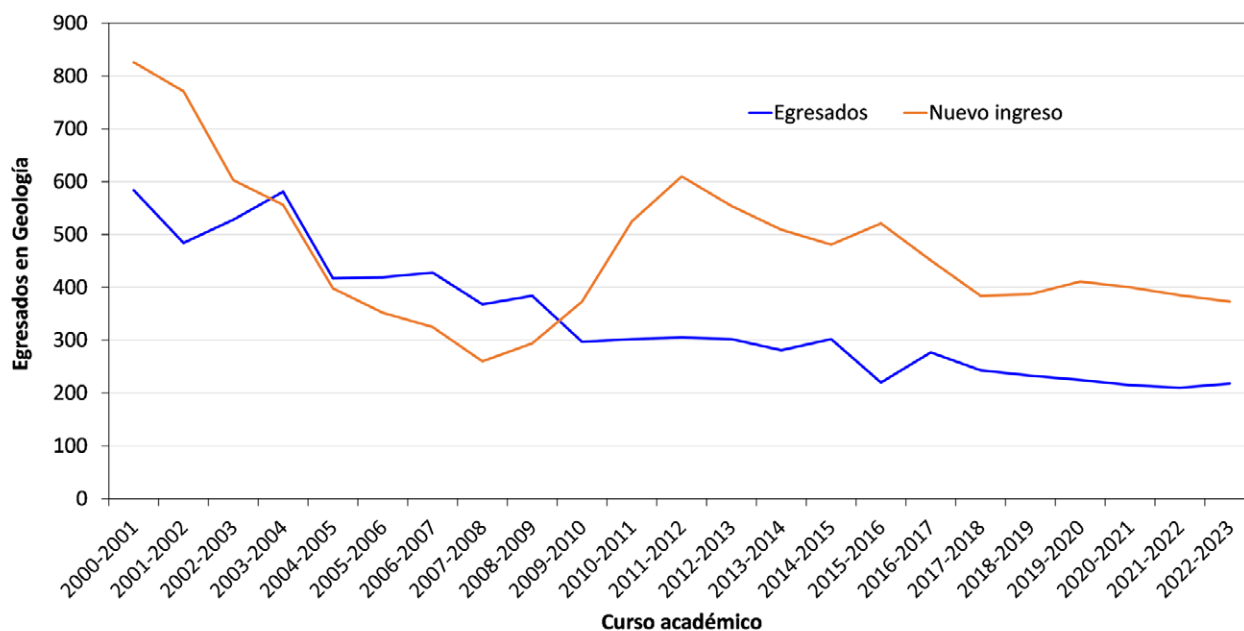


Fig. 6. Comparación entre el número de egresados y de estudiantes de nuevo ingreso en estudios de geología en España, durante el periodo 2000-2023.

ferencias en cuanto a tasas de paro han descendido en 2019 (momento más alejado de la crisis económica) respecto a 2014. Según los datos presentados por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, en 2007-2008 (justo antes de la crisis económica mundial) se alcanzaron tasas de paro en torno al 8 %, datos muy inferiores al resto de profesionales (Alonso-Zarza *et al.*, 2008). Según el ranking de la Fundación BBVA, en 2018, el 66 % de los graduados en el curso 2013-2014 estaban afiliados a la seguridad social. En estos momentos hay aproximadamente 2750 geólogos colegiados en España; la tasa de ocupación está en torno al 78 % (<https://cgeologos.es/>) con tasas de paro en torno al 12 %.

De acuerdo con el estudio realizado por la Federación Europea de Geólogos en 2023 (EFG: <https://eurogeologists.eu/results-efg-employment-survey-2023/>) el 64 % de los colegiados estaban trabajando y solo un 2,4 % estaba desempleado. En Reino Unido (<https://www.geolsoc.org.uk/>), los graduados tienen una tasa de empleo del 58 %, y a medida que incrementan sus estudios (master, doctorado) esa tasa de empleo se incrementa hasta el 74 %, mientras que la tasa de paro es del 10 % (<https://www.geolsoc.org.uk/>). En Francia, la tasa de paro de los geólogos es del 8 % (<https://www.geosoc.fr/>), en Alemania es del 6 % (<https://www.dggv.de/en/>), mientras que en Estados Unidos es del 5 % (<https://www.americangeosciences.org/>).

La tabla 3 recoge, para cada universidad española, las tasas de inserción laboral, las cuales oscilan entre el 63 y el 100 %. Cabe señalar que los datos no son homogéneos dado que hacen referencia a promociones de años diferentes. En general, la mayoría de egresados obtiene trabajo a los 6 o 12 meses de finalizar sus estudios.

Discusión y consideraciones sobre los estudios de geología

Los estudios de geología en España tienen más de 70 años de trayectoria. A lo largo del tiempo se han impartido en diez universidades, distribuidas, de manera más o menos homogénea a lo largo del territorio español, en ocho comunidades autónomas. La Universidad de Barcelona fue la primera en ofrecer esta titulación mientras que la Universidad de Alicante es la más joven, con apenas 15 años de historia.

Además del grado en geología, el sistema universitario español ofrece programas relacionados con esta disciplina y con las ciencias ambientales. La Geología y Ciencias Ambientales es la materia evaluada en la fase 2 de las pruebas de acceso a la universidad con la LOMLOE. En la UAB y en la UHU se imparte un doble grado en geología y ciencias ambientales, con una oferta limitada a 30 y 20 plazas, respectivamente. Por su parte, en la UCM, en la

	Egresados en Geología				Egresados en España		
Situación laboral	Tasa de actividad (%)	Tasa de empleo (%)	Tasa de paro (%)	Geólogos en paro	Tasa de actividad (%)	Tasa de empleo (%)	Tasa de paro (%)
2014 (Egresados 2009-2010)	96,9	69,9	27,8	1335	93,6	75,6	19,2
2019 (Egresados 2013-2014)	94,0	82,0	12,7	778	93,6	86,1	8,0
2024 (Egresados 2018-2019)	-	-	-	503	-	-	10,6

Tabla 2. Tasas de actividad, empleo y paro de egresados en geología frente al total de egresados en todas las titulaciones en España, en 2014 y 2019 (INE, 2016, 2020). (-) Sin datos.

Universidad	Inserción laboral (%)	Fuente
Granada (UGR)	100,0	https://empleo.ugr.es/observatorio/consulta/4
Huelva (UHU)	100,0	https://www.uhu.es/estudia-en-la-uhu/oferta-academica/grados/grado-en-geologia
Zaragoza (UZ)	78,6	https://portaltransparencia.unizar.es/insercion-laboral-unizar-por-titulacion
Oviedo (UO)	63,2	https://www.uniovi.es/documents/39158/8710706/2024-07-17-UNIOVI-INFORME-2024-INSERCIÓN-LABORAL.pdf/0fed286c-7cae-6f14-4701-d114960d5a2e?t=1721214606494
Salamanca (USAL)	67,8	https://www.usal.es/files/grados/empleabilidad/2017-18/12_G213_Geologia_Egres17-18.pdf
Barcelona (UB)	68,4	https://www.uab.cat/web/estudios/calidad-docente/insercion-laboral-observatorio-de-graduados/observatorio-de-graduados-1345667476708.html?param1=1096479780636
Autónoma de Barcelona (UAB)	74,2	https://www.uab.cat/web/estudios/calidad-docente/insercion-laboral-observatorio-de-graduados/observatorio-de-graduados-1345667476708.html?param1=1096479780636
Complutense de Madrid (UCM)	77,8	https://geologicas.ucm.es/file/inserciongg
Alicante (UA)	81,0	https://utc.ua.es/es/documentos/observatorio-medida/informe-insercion-laboral-grados-ua-2023-web.pdf
País Vasco (UPV)	100,0	https://www.chu.eus/es/web/zientzia-teknologia-fakultatea/laneratzea-geologia

Tabla 3. Tasas de inserción laboral de egresados en geología en las distintas universidades. Fuente: sistemas de calidad de las universidades.

USAL y en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), se oferta un grado en ingeniería geológica. Este mismo grado fue impartido en la UA hasta su reciente extinción, y también se ofrece de forma conjunta entre la UB y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). No obstante, en este estudio se han analizado exclusivamente los grados en geología.

El número total de plazas de nuevo ingreso ofertadas en nuestro país supera las 500. Durante el curso 2022-2023, el último analizado en este trabajo, quedó vacante el 34 % de las plazas ofertadas, siendo la UAB la única universidad que logró completar su oferta. Las universidades con mayor número de matriculas fueron UGR, UAB, UB, UCM y la UPV, mientras que la UHU registró la menor ocupación. En la mayoría de las universidades solo se necesita superar la PAU para acceder al grado en geología. Solo en la UA se requiere una nota de acceso superior, lo que podría indicar una mayor demanda, aunque no se han cubierto el conjunto de las plazas ofertadas en sus años de historia.

Desde el curso 2000-2001, año en que comienza el análisis presentado, se ha observado un descenso sostenido en la matrícula de las licenciaturas y grados en geología. A comienzos del siglo XXI, el número de estudiantes matriculados superaba los 5.100; sin embargo, en el curso 2022-2023 esta cifra se redujo a menos de 1.400, lo que representa una disminución del 73 %. De forma paralela, el número de estudiantes de nuevo ingreso ha caído de 800 a 373 anuales en el mismo periodo. Este descenso resulta especialmente llamativo si se considera que los egresados en geología cuentan con un amplio abanico de salidas profesionales y una elevada tasa de empleabilidad.

Entre las posibles causas de esta tendencia, destacan las siguientes:

a) Reducción de contenidos geológicos en la educación secundaria y bachillerato.

Tal como señala López-Martínez (2024), los contenidos geológicos han ido perdiendo presencia en los planes de estudio a lo largo de las sucesivas leyes educativas en España. Con la actual LOMLOE, en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), la geología se imparte dentro de

la asignatura “Biología y Geología”, que es troncal en primero y tercero, y optativa en cuarto curso, con una carga horaria de tres horas semanales. En bachillerato, la asignatura “Biología, Geología y Ciencias Ambientales” se ofrece en primer curso, y “Geología y Ciencias Ambientales” en segundo, ambas con cuatro horas semanales.

En general, estas materias suelen ser impartidas por profesorado con formación principalmente en biología, lo que puede repercutir en una menor dedicación a los contenidos geológicos. Esta situación podría influir negativamente en la generación de vocaciones científicas en este ámbito. Sería útil disponer de datos específicos sobre la formación del profesorado que imparte estas asignaturas, así como de estadísticas de matrícula en la asignatura de segundo de bachillerato, para evaluar el interés estudiantil por la geología. Una aproximación indirecta podría obtenerse a través del número de estudiantes que eligen la materia “Geología y Ciencias Ambientales” en las pruebas de acceso a la universidad.

b) Implantación de dobles grados y grados alternativos.

La creación de dobles grados como los ofrecidos por la UAB y la UHU podría haber absorbido parte del alumnado que, en otras circunstancias, habría optado por el grado en geología. No obstante, la capacidad total de estos programas no supera los 40 estudiantes por curso académico. Por otro lado, los grados en Ingeniería Geológica, que en el curso 2015-2016 contaban con más de 300 nuevos matriculados, también han experimentado un descenso significativo, reduciéndose a la mitad en los últimos años. Incluso si se asumiera que todos estos estudiantes habrían elegido geología en ausencia de estas alternativas, ello no bastaría para explicar la magnitud del descenso observado en las matrículas de nuevo ingreso.

c) Descenso en la matrícula de asignaturas geológicas en las pruebas de acceso a la universidad.

Entre 2017 y 2023, el número de estudiantes matriculados en las asignaturas “Geología” y “Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente” en las pruebas de acceso a la universidad (PAU) se redujo de 4.700 a 2.100, lo que representa una caída superior al 50 % en tan solo siete años. Sin

embargo, este descenso no se ha traducido en una disminución proporcional del alumnado que accede a los grados en geología, cuya matrícula de nuevo ingreso se ha mantenido relativamente estable durante ese mismo periodo.

El porcentaje de estudiantes que, tras examinarse de materias geológicas en las PAU, acceden a un grado en geología oscila entre el 8 % y el 19 %. Esto implica que entre el 80 % y el 90 % de quienes eligen estas asignaturas optan finalmente por otros estudios universitarios.

d) Ponderación de las materias geológicas en el acceso a la universidad.

Aunque no se ha establecido una relación directa, otro factor a considerar es la ponderación asignada a estas materias en el proceso de admisión universitaria. Un estudio interno, realizado en 2022 por el grupo de coordinadores de las PAU, propuso armonizar la ponderación de la asignatura “Geología y Ciencias Ambientales” en los distintos grados universitarios. La propuesta identificó 26 titulaciones en las que esta materia debería ponderar con 0,2 puntos, al considerar que la geología era un aspecto necesario en dicho grado. Entre ellas se incluyeron grados en geología, ciencias ambientales, ingeniería geológica, ingeniería de los recursos mineros, ciencias del mar, biología, geografía, y diversas ingenierías ambientales, agrarias y forestales, entre otros.

Una mayor ponderación en un número más amplio de grados -decisión que corresponde a las universidades- podría incentivar a los estudiantes de bachillerato a matricularse en esta asignatura, aumentando así su visibilidad y relevancia.

e) Métodos de enseñanza y divulgación científica.

Otra posible causa del escaso interés por los estudios de geología podría estar relacionada con la utilización de metodologías poco atractivas en los niveles preuniversitarios. Para contrarrestar este déficit de conocimientos geológicos en la sociedad y en el sistema educativo, se han impulsado diversas iniciativas desde el ámbito académico y de las sociedades científicas. Actividades como las Olimpiadas de Geología, los Geolodía o los geoparques de la UNESCO, han demostrado ser herramientas eficaces para acercar la geología al público general y al estudiantado, fomentando así vocaciones científicas en este campo.

No obstante, persisten importantes desafíos en términos de comunicación y difusión, que limitan el impacto de estas iniciativas y dificultan una mayor penetración social de la geología.

En líneas generales, los egresados en geología, aproximadamente unos 300 anualmente, disfrutan de un futuro profesional prometedor, con múltiples salidas laborales, tanto en el sector privado como en el público. Los geólogos pueden especializarse en áreas muy diversas como la exploración de recursos, la gestión ambiental, la hidrogeología, la geotecnia o la investigación científica, así como en la docencia en educación secundaria.

De acuerdo con el informe de la Fundación CYD 2023 (<https://www.fundacioncyd.org/publicaciones-cyd/informe-cyd-2023/>) y del SIIU, en España, en el conjunto de los grados, la tasa de abandono en el primer año está en torno al 20 %. En el conjunto de grados de ciencias físicas,

químicas y geológicas, la media de los últimos años fue del 24 %. La tasa de abandono media en los grados en geología es del 37 %; superando el 45 % en la UHU, UA, UGR y UPV. En resumen, el abandono durante el primer año es casi el doble que en el resto de grados, lo cual puede ser debido a que el alumnado matriculado no tenía ningún tipo de vocación geológica.

En 2019, más del 80 % de los titulados en geología estaban incorporados al mercado laboral cinco años después de finalizar sus estudios. Antes de la crisis económica, la tasa de paro en esta profesión rondaba el 8 %, situándose por debajo de la media nacional. Tanto las cifras de ocupación como las de paro hay que tomarlas con cautela, ya que dependiendo de la fuente de origen pueden variar.

Como resumen a los datos mostrados y todo lo comentado anteriormente, cabe señalar que el futuro de los estudios de geología en España no parece amenazado por la empleabilidad, sino por la trayectoria a la baja de la demanda de estos estudios en los últimos años. A pesar de la necesidad de aplicar conocimientos geológicos para obtener recursos que ofrece el planeta y para enfrentar procesos naturales como los que han afectado en los últimos años a nuestro país: terremotos, volcanes, inundaciones, entre otros, la sociedad española, en general, tiene una baja formación en geología. Así, el desconocimiento generalizado y poca atención prestada a esta ciencia, dificulta la atracción de nuevos estudiantes. Por ello, es imprescindible reforzar la presencia de la geología en el sistema educativo, desde las primeras etapas educativas, e incluso en otras disciplinas en la universidad, teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible. De esta forma aumentarían las vocaciones y también los responsables en las instituciones valorarían el poder de esta ciencia en la sociedad.

En definitiva, solo mediante una educación de calidad, integrada y transversal al conjunto de conocimientos, se podrá garantizar que la geología ocupe el lugar que merece en la sociedad y en la construcción de un futuro más seguro, sostenible y resiliente para el planeta.

En este sentido, es fundamental incorporar la geología en todos los niveles del sistema educativo. Por ejemplo, en la educación primaria, se deberían abordar con mayor profundidad conceptos básicos como los tipos de rocas, los volcanes o los fósiles a través de actividades prácticas y salidas al entorno natural. En secundaria, deberían tener más presencia temas de actualidad como los riesgos geológicos, la dinámica interna de la Tierra o la importancia de los recursos minerales, vinculándolos con la actualidad y los desafíos ambientales. En la educación superior, es clave fomentar programas especializados y multidisciplinarios que conecten la geología con la sostenibilidad del planeta, la planificación territorial y la gestión de recursos.

En resumen, es esencial reforzar la presencia de la geología tanto en el sistema educativo como en la conciencia social, con el objetivo de despertar vocaciones, asegurar una formación científica sólida y consolidar el papel clave de esta disciplina en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y en la gestión de los desafíos ambientales que enfrentamos como sociedad.

Agradecimientos

El autor desea agradecer la labor de revisión realizada por revisores y editora. Sus sugerencias y comentarios han contribuido a la mejora del artículo.

Referencias

- Aguilera, D., 2018. La salida de campo como recurso didáctico para enseñar ciencias. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3): 1-17.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3103
- Alonso-Zarza, A.M., Álvarez Marrón, J., Calonge García, A., Díaz Martínez, C., Díez Balda, M.A., Gil-Peña, I., Gómez García, M.I., 2008. Mujeres y Geología en España. *Geotemas*, 10: 1611-1614.
https://sge.usal.es/archivos_pdf/mujeres_estudios.pdf
- Anguita, F., 2004. Los futuros de la enseñanza de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1): 16-19.
- Ballesteros, D., López, A., (Eds.). 2024. Libro de Actas del XXII Simposio sobre la enseñanza de la Geología: Vol. XXII Simposio sobre la enseñanza de la Geología. Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT).
https://www.aepect.org/documentos/ACTAS_SIMPOSIO-AEPECT QUIROGA 2024.pdf
- Bonachea, J., Bruschi, V.M., Fernández-Maroto, G., Remondo, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A., 2014. Geomorphic hazards in Spain. En: *Landscapes and Landforms of Spain*. World Geomorphological Landscapes (Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. (Eds.). Springer, Dordrecht, 319-345.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-8628-7_26
- Bonachea, J., Cruz, P., Terán, J.R.D. de, Fernández-Maroto, G., González-Díez, A., Martínez-Cedrun, P., Remondo, J., Valenzuela, P., 2022. El agua, escultora del Alto Asón. *Sociedad Geológica de España*, Salamanca, 1-8.
https://sge.usal.es/archivos_pdf/geolodia22/guias_geolodia22/gdia22guia_cantabria.pdf
- Bonachea, J., González-Díez, A., Hernández-Blanco, J., Remondo, J., Rivas, V., 2023. Suitability of valleys of Cantabria area for a UGp Proposal. *Land*, 12(12): 2177.
<https://doi.org/10.3390/land12122177>
- Brusi, D., 2022a. Los contenidos geológicos en la LOMLOE. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1): 8-28.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/432535>
- Brusi, D., 2022b. Manifiesto por una adecuada presencia de la Geología en el currículo de la LOMLOE. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(1): 2-7.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/432348>
- Calonge, A., Anglisano, A., Fesharaki, O., Juan, X., López Carrillo, M.D., 2021. Olimpiada Española de Geología. *Geotemas*, 18: 635-638.
<https://sociedadgeologica.org/publicaciones/geotemas/geotemas-18/>
- Calvo-Sevillano, G., 2025. Imagen de las personas que se dedican a la geología en los libros de texto e implicaciones para la docencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(1): 1102.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i1.1102
- Casas, B., López, I., 2017. Evolución de la enseñanza de la geología en la sociedad vasca: experiencias personales. *Revista Forum de Sostenibilidad = Forum Iraunkortasun Aldizkaria = Sustainability Forum Journal*, 8: 95-108.
<https://www.ehu.eus/cdsea/web/wp-content/uploads/2017/03/Revista-Forum-8.pdf>
- Clunes, J., Valle, S., Dörner, J., Martínez, O., Pinochet, D., Zúñiga, F., Blum, W.E.H., 2022. Soil fragility: A concept to ensure a sustainable use of soils. *Ecological Indicators*, 139: 108969.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108969>
- Crespo-Blanc, A., Alcalá-Martínez, L., Carcavilla, L., Simón Gómez, J.L., 2011. Geolodía: origen, presente y futuro. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(1): 95-103.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/244383/331355>
- Dincer, I., Acar, C., 2018. 2.32 Future directions in energy materials. En *Comprehensive Energy Systems*, (I. Dincer, Ed.). Elsevier, 1043-1059.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00261-3>
- Fernández-Lozano, J., Bonachea, J., Morellón, M., 2018a. Geología para adultos: una experiencia significativa en el programa senior de la UC. *Comunicaciones del XX Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 245-252.
- Fernández-Lozano, J., Remondo, J., Bonachea, J., Morellón, M., González-Díez, A., Losa Román, A. de la., 2018b. El hidrogeodía como experiencia de apoyo para el desarrollo rural sostenible en la provincia de León. *Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español*, Santander, <https://digital.csic.es/handle/10261/277639>
- García-Yelo, B.A., García-Buitrago, E., García-García, E., 2022. El estado de la geología en el currículo. una situación preocupante. *Supervisión* 21, 65(65): 1-41.
<https://doi.org/10.52149/Sp21/65.3>
- Gil, A.S., Graña, A.M., Carratalá, J.F.B., Bruno, M.F., Martín, A.M., Ruano, S.M., Nore, I.G., Puro, L.M.C., Fernández, C.L., Madenabeitia, S.G. de, Ríos, J.I.V., Crespo, L.A., 2022. La paridad de género en el alumnado de grado en Geología e Ingeniería Geológica de las universidades españolas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 30(2): 151-164.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/432605>
- Groves, D.I., Santosh, M., 2024. Implications for global exploration. En *Mineral Systems, Earth Evolution, and Global Metallogeny* (D.I. Groves, M. Santosh, Ed.). Elsevier, 193-210.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21684-8.00011-3>
- Hoff, H., 2009. Global water resources and their management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2): 141-147.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.001>
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2016. Situación laboral en 2014 de los titulados universitarios del curso 2009-2010.
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?tpx=18020&L=0>
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2020. Situación laboral en 2019 de los graduados universitarios del curso 2013-2014.
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?tpx=38191&L=0>
- López-Martínez, F., 2024. La geología, ¿una ciencia suficientemente valorada en educación secundaria? *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37(2): 3-13.
<https://doi.org/10.55407/rsge.106797>
- Martínez-Bracerías, N., Bodego, A., Payros, A., Antón, Á., 2022. Análisis de la enseñanza de los procesos geológicos externos en la educación secundaria obligatoria del País Vasco. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2): 1-18.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2102
- Meneghello, S., 2021. The Tourism–Landscape nexus: assessment and insights from a bibliographic analysis. *Land*, 10(4), 417.
<https://doi.org/10.3390/land10040417>
- Moral, F., Olías, M., 2012. Evolución del alumnado de Geología

- en las universidades españolas (1999-00 a 2010-11). Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología, 106-111.
<https://www.uhu.es/fexp/segeo2012/arc/comunicaciones/12.pdf>
- Orús, A.H., Urquí, L.C., 2020. Twenty years of Spanish geoparks: analysis and future prospects. *Geoheritage*, 12(4): 87.
<https://doi.org/10.1007/s12371-020-00510-2>
- Pascual-Trillo, J.A., 2022. Geología, una actividad didáctica y un almacén de recursos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 108: 1015-1016.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, Á., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández Martínez, E.M., González-Díez, A., Jiménez Millán, J., López Ruiz, J., Mata Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Roquero, E., 2013. Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2): 117-129.
<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274145/362238>
- Přikryl, R., 2021. Geomaterials as construction aggregates: a state-of-the-art. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(12): 8831-8845.
<https://doi.org/10.1007/s10064-021-02488-9>
- Ramón, G., 2000. La asignatura ‘Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente’ desde la Universidad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(3): 202-207.
<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88678/132827>
- Vegas, J., Cabrera, A., Prieto, A., García-Cortés, A., Díez-Herrero, A., 2018. Apadrina una Roca. Un programa de voluntariado para la conservación del patrimonio geológico en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(1): 122-124.
<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/335675>
- MANUSCRITO RECIBIDO: 12-05-2025
REVISIÓN RECIBIDA: 01-06-2025
ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 09-06-2025

NORMAS DE PUBLICACIÓN EN LA REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La Revista de la Sociedad Geológica de España es una **publicación semestral de acceso abierto** de la Sociedad Geológica de España que da cabida a trabajos de investigación científica, en español o en inglés, en relación con cualquier área de las Ciencias de la Tierra. Los trabajos de geología de la Península Ibérica y áreas próximas son particularmente bienvenidos, además de los relacionados con la Historia de la Geología, el Patrimonio Geológico, y temáticas similares. Los trabajos de revisión o recopilación de información de temas específicos con una perspectiva científica actualizada, también serán valorados para su posible publicación en la revista. Los trabajos deberán ser originales, es decir, no publicados (o no aceptados) en otra revista, sea íntegramente o por partes y/o en otro idioma. Todos los artículos serán revisados, al menos, por dos especialistas y por el Comité Editorial.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Organización del texto

El texto se elaborará siguiendo la Plantilla RSGE (formato DOC), disponible <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSocGeoEsp/index>. El texto seguirá este orden: 1) Título en español e inglés. 2) Nombre y apellidos de autores/as. 3) Dirección postal y electrónica completa de autores/as. 4) Resumen en español e inglés, de 200 palabras para el idioma del manuscrito, de 400 en el segundo idioma. 5) Palabras clave (3 a 5, en español y en inglés). 6) Título corto para el encabezamiento, en el idioma del manuscrito. 7) Texto principal. Los encabezamientos del texto principal se ordenarán jerárquicamente en tres tipos, sin numeración alguna: **Apartado**, *Subapartado de primer orden* y *Subapartado de segundo orden*, con punto y seguido el texto. En el texto, se incluirán sólo citas de trabajos publicados o en prensa, con el apellido de autores/as y año de publicación en orden cronológico (ej., Pérez, 2004; Mateos y Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). Las figuras y tablas se indicarán de forma correlativa (ej., Fig. 1, Fig. 2, Figs. 3-5, Tabla 1, Tabla 2...etc.). 8) Agradecimientos y financiación. Se citarán los agradecimientos personales y a las personas que han revisado el trabajo. Además, es necesario indicar las fuentes de financiación del estudio. 9) Contribución de autores/as. Se especificará, en un párrafo corto, la contribución individual de cada persona. 10) Referencias. Deberán ir ordenadas alfabéticamente por el apellido de autores/as y cronológicamente, en el caso de que se repitan. Deberán indicarse las referencias que dispongan de DOI con un enlace tipo <https://doi.org/...> (según los ejemplos indicados abajo). 11) Pies de figuras y tablas.

Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondónedo). IGME, Madrid.

Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.

Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)

Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. En: Libro jubilar, J.M. Ríos. Geología de España, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.

Parra, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Tesis Doctoral, Univ. Huelva, 272 p.

Woodroffe, C.D., 2002. Coasts. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

Figuras y tablas

Para el diseño de tablas y figuras (incluyendo dibujos y fotografías) se tendrá en cuenta el tamaño de caja de la revista (248 x 170 mm). Las figuras y tablas pueden ocupar la anchura de una columna (82 mm) o de una página (170 mm). Las tablas irán en formato DOC. El tamaño de letra deberá ser como mínimo de 7 pts. y la anchura de línea oscilará entre 0,3 y 1,5 pts. Las partes de una figura se denotarán con letras mayúsculas (A, B, C, etc.). Los dibujos deben tener una buena calidad en cuanto a tramas, tonos de grises y leyendas. Las fotografías deben ser claramente visibles, tener contraste suficiente y acabado brillante, y deben contener escalas u objetos que sirvan de referencia.

Extensión del manuscrito

Como norma general, la extensión del manuscrito, incluyendo texto y espacio equivalente de figuras y tablas, no podrá exceder 20 páginas. Una página de la Plantilla RSGE (en fuente Times New Roman 10, a espacio simple) equivale a unas 1000 palabras aproximadamente.

ENVÍO Y REVISIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito será enviado electrónicamente a la Editora Principal (Nieves López-González) a través de la plataforma de Envío de Artículos en <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge> en 2 documentos: 1) el texto en formato DOC (*Plantilla RSGE*), y 2) las figuras y tablas en un documento PDF y numeradas correlativamente. En la plantilla, se deberá proporcionar el nombre, institución y correo electrónico de 5 posibles revisores/as. Existe la posibilidad de vetar a personas, siempre que esté debidamente justificado.

La Editora Principal valorará la adecuación del manuscrito a las normas de publicación. Si el trabajo se ajusta a las normas, será enviado para su revisión a 2 especialistas y, en caso de discrepancia, se remitirá a una tercera persona. Teniendo en cuenta la opinión de las personas que han revisado el trabajo, la Editora Principal decidirá si el trabajo es aceptado o requiere de modificaciones menores, moderadas o importantes, o si es rechazado. En caso de que sea aceptado con modificaciones, el manuscrito original deberá ser corregido siguiendo las observaciones de los/las revisores/as. La nueva versión del documento será enviada a la Editora Principal, quien valorará la necesidad de una segunda revisión o, en su caso, lo aceptará definitivamente.

MANUSCRITO ACEPTADO

Una vez aceptado el manuscrito se enviará por correo electrónico a la Editora Principal (nieves.lopez@ieo.csic.es), la versión final de las tablas (en formato DOC) y de las figuras (en formato JPG o TIFF), en archivos individuales. Si se usa el formato TIFF y la figura sólo contiene dibujos de líneas, la resolución deberá ser de 600 ppp. Si la figura tiene trama de grises o es en color, la resolución deberá ser de 300 ppp. Los/las autores/as recibirán: 1) las pruebas de imprenta para la corrección de erratas, sin que se acepten modificaciones del texto original, y 2) el documento de Transferencia del Copyright a la Sociedad Geológica de España. Para resolver cualquier duda pueden contactar con la Editora Principal por correo electrónico: nieves.lopez@ieo.csic.es.

PUBLICATION RULES OF THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF SPAIN

The Journal of the Geological Society of Spain is an **open access biannual publication** of the Geological Society of Spain. This journal publishes original research contributions in Spanish or English that cover all Earth Science topics, in particular those concerning the Iberian Peninsula and nearby areas, as well as those related to the History of Geology, Geological Heritage, and similar topics. Review papers or compilations on specific topics with an up-to-date scientific perspective will also be considered for possible publication in the journal. The submitted manuscripts must be original research papers that have not been published (or not accepted) totally or partially elsewhere, in any language. All the papers will be reviewed by a minimum of two referees and by the Editorial Board.

MANUSCRIPT PREPARATION

Text organization

The text is to be formatted using the **RSGE Template** (DOC format), which is available <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSoc-GeoEsp/index>. It should be organized as follow: 1) Title in English and Spanish. 2) Name and surnames of authors. 3) Full postal and electronic addresses of authors. 4) Abstract in Spanish and English, not exceeding 200 words in the language of the main text, and no more than 400 words in the second language. 5) Keywords (3 to 5, in Spanish and English). 6) Short title to use as header, in the language of the main text. 7) Main text. Headings should be hierarchically sorted into three types without any numbering: **Section**, *First-order subsection* and *Second-order subsection*, with dot and followed by the text. In the main text, cite only published or in press publications. Any cited publications should be referred to the authors' surname and year of publication, arranged chronologically (e.g., Pérez, 2004; Mateos and Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). The figures and tables must be sequential (e.g., Fig. 1, Fig. 2, Fig 3-5, Table 1, Table 2...etc.). 8) Acknowledgements and funding. Personal acknowledgements and those to the persons who have reviewed the work will be cited. In addition, it is necessary to indicate the funding sources of the study. 9) Author contributions. The individual contributions of each author must be provided in a short paragraph. 10) References. The list of references should be arranged alphabetically by authors' surnames and chronologically in case of repetition. References with a DOI should be indicated with a link such as <https://doi.org/...> (see examples below). 11) Figure and table captions.

Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondónedo). IGME, Madrid.

Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.

Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)

Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. In: Libro jubilar, J.M. Ríos. Geología de España, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.

Para, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Doctoral Thesis, Univ. Huelva, 272 p.

Woodroffe, C.D., 2002. Coasts. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

Figures and tables

The page size of the journal, 248 x 170 mm, should be considered when preparing figures (both drawings and photographs) and tables. The figures and tables can occupy either one column (82 mm width) or the whole width of the page (170 mm width). Lettering should be a minimum of 7 pt. Line widths should range from 0.3 to 1.5 pt. Tables shall be in DOC format. Figure parts should be denoted by uppercase letters (A, B, C, etc.). Line drawings must be of good quality in terms of patterns, grey tones and legends. Photographs should be clear, have good contrast and a glossy aspect, and employ some indication of scale.

Manuscript length

As a general rule, manuscripts must not exceed 20 pages, including text and the equivalent space for figures and tables. One single-spaced RSGE Template page, written with font Times New Roman 10, contains approximately 1000 words.

MANUSCRIPT SUBMISSION AND REVISION

Manuscripts should be submitted electronically through <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge> to the Editor-in-chief (Nieves López-González) in 2 separated files: 1) the text in DOC format (*RSGE Template*), and 2) the figures and tables in a PDF document and numbered sequentially. In the template, the name, address and email of 5 possible reviewers should be provided. When justified, opposed reviewers can be named.

The Editor-in-chief evaluates the manuscript to ensure that it follows the requirements of the journal. If the manuscript receives a positive evaluation, it will be sent for review to 2 referees, but given conflicting reviews, the manuscript will be sent to a third referee. Once revised, the Editor-in-chief will decide whether the manuscript is accepted or requires minor, moderate or major modifications, or it is rejected. If it is accepted with modifications, the original manuscript must be adapted following the reviewers' suggestions. The new version of the manuscript will be sent to the Editor-in-chief, who will assess whether there is a need for additional revisions or if it is acceptable for publication.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Once the manuscript is accepted, the authors will send by email to the Editor-in-chief (nieves.lopez@ieo.csic.es), the final version of the tables and figures in separated files. Tables must be in DOC format and figure files must be provided as JPG or TIFF files. For TIFF format figures containing only lines drawings, a resolution of 600 dpi is required. For greyscale or colour figures, a resolution of 300 dpi is sufficient. Authors will receive: 1) the print proofs, to be checked for typesetting/editing, and 2) the Copyright Transfer to the Geological Society of Spain. Questions should be directed to the Editor-in-chief by email: nieves.lopez@ieo.csic.es.

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

- (Presidencia) **Ana Ruiz Constán**
Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Granada
Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada (España)
Tel: +34 958 691 031; e-mail: a.ruiz@igme.es
- (Secretaría 1ª) **Manuela Chamizo Borreguero**
Instituto Geológico y Minero de España, Dpto. Geología y Subsuelo
C/ Calera, 1. Despacho 02-PB-03, 28760 Tres Cantos, Madrid (España)
Tel: +34 917 285 192; e-mail: m.chamizo@igme.es
- (Secretaría 2ª) **Miguel Gómez Heras**
Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. de Geología y Geoquímica
Facultad de Ciencias
C/ Francisco Tomás y Valiente 7 (Módulo 06-406), 28049 Madrid (España)
Tel: +34 914 975 407; e-mail: miguel.gomezheras@uam.es
- (Tesorería) **Blanca M. Martínez García**
Universidad del País Vasco
C/ Sarriena s/n, 48940 Leioa, Vizcaya (España)
e-mail: blancamaria.martinez@ehu.eus
- (Vicepresidencia) **Pedro Huerta Hurtado**
Universidad de Salamanca, Dpto. de Geología
Facultad de Ciencias
Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca (España)
Tel: +34 920 353 500; e-mail: phuerta@usal.es
- (Vicesecretaría) **Ramón Casillas Ruiz**
Universidad de La Laguna, Dpto. de Biología Animal, Edafología y Geología
Sección de Biología de la Facultad de Ciencias
C/ Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 28200 La Laguna, Santa Cruz de Tenerife (España)
Tel: +34 922 845 268; e-mail: rcasilla@ull.edu.es
- (Vocalías) **Antonio José Olaiz Campos**
Davinia Moreno García
Desireé Palomino Cantero
Iván Martín Rojas
José F. Mediato Arribas
Juana Vegas Salamanca
Raquel Martín Banda

SEDE ADMINISTRATIVA

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

Suscripciones: Toda la correspondencia debe ser dirigida a la Sede Administrativa de la Sociedad. El precio de la suscripción anual es de 67 € para España y Portugal y 76 € para el resto del mundo.

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 38, Número 1, (2025)

CARLOS PASCUAL-ARRIBAS, JONGYUN JUNG, MOUSSA MASROUR, NIEVES HERNÁNDEZ-MEDRANO Y FÉLIX PÉREZ-LORENTE

Huellas de pterosaurios en el Cretácico Inferior del Grupo Enciso de la Cuenca de Cameros (España) / *Pterosaur tracks in the Lower Cretaceous Enciso Group of the Cameros Basin (Spain)* 3

ISABEL RÁBANO

Exploración geológica y minería en el Puerto Rico colonial durante el siglo XIX: la contribución de Ángel Vasconi / *Geological exploration and mining in 19th-century colonial Puerto Rico: the contribution of Ángel Vasconi* 25

MIGUEL HERRERA DURÁN Y JUAN R. BAHAMONDE

Caracterización estratigráfica y sedimentológica de la Formación Sardinero (Cretácico Superior) en Costa Quebrada (Cantabria) / *Stratigraphic and sedimentological characterization of the Sardinero Formation (Late Cretaceous) in Costa Quebrada (Cantabria, Northern Spain)* 40

JAIME BONACHEA PICO

Análisis del declive de los estudios en geología en España en el siglo XXI / *Analysis of the decline of geology studies in Spain in the 21st-century* 62