

## Ciclos carbonatados submareales-perimareales de alta frecuencia del Aptiense inferior (Fm. San Esteban, cuenca Vasco-Cantábrica): registro de cambio climático

### *High-frequency subtidal-peritidal carbonate cycles of the Lower Aptian (San Esteban Fm., Basque-Cantabrian basin): a record of climatic change*

I. Rosales<sup>1</sup>, M. Najarro<sup>1</sup>, I. Lopez-Cilla<sup>2</sup> y J. Martín-Chivelet<sup>3</sup>

1 Dpto. Investigación en Recursos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, Madrid. [i.rosales@igme.es](mailto:i.rosales@igme.es); [mnajarro21@gmail.com](mailto:mnajarro21@gmail.com)

2 Dpto. Infraestructura geocientífica y servicios. Instituto Geológico y Minero de España, 28760 Tres Cantos, Madrid. [i.lopez@igme.es](mailto:i.lopez@igme.es)

3 Dpto. Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid. [martinch@ucm.es](mailto:martinch@ucm.es)

**Resumen:** El análisis detallado de facies de las calizas de la Formación San Esteban del Aptiense inferior de Cantabria ha permitido caracterizar 15 tipos de litofacies depositadas en ambientes submareales a supramareales. Las facies se organizan en ciclos somerizantes que culminan con superficies de exposición subaérea, evidenciando variaciones relativas del nivel del mar de alta frecuencia/baja amplitud. Se distinguen dos tipos de ciclos en función de las facies y naturaleza de las superficies que los culminan. Los ciclos Tipo-1 están dominados por facies submareales. La secuencia ideal comienza con *rudstone* bioclástico-intraclástico, seguido de *wackestone* de *Chondrodonta*, *floatstone* de rudistas, *boundstone* de rudistas y *mudstone* de milóidos. El techo es una superficie neta con bioturbación y marcas de raíces estilo pseudomicrokarst. Los ciclos Tipo-2 comienzan con *floatstone* oncolítico-litoclástico, seguido de *floatstone* de rudistas, *packstone-grainstone* de foraminíferos, *boundstone* de rudistas y finalmente *rudstone* oncolítico, *mudstone* fenestral y/o estromatolitos laminares a hemisféricos. Culmina con rasgos subaéreos de desecación y conglomerados calcáreos de cantos negros con microestructura alveolar y rizolitos calcificados. Los ciclos Tipo-1 caracterizaron condiciones ambientales húmedas, mientras que los de Tipo-2 caracterizaron condiciones semi-áridas. La evolución vertical de los ciclos refleja una transición climática de tipo *greenhouse* a otra *coolhouse* tras el OAE-1a.

**Palabras clave:** ciclos perimareales, pseudomicrokarst, cantos negros, Aptiense inferior, cuenca Vasco-Cantábrica.

**Abstract:** High-resolution facies analysis of Lower Aptian platform carbonates from Cantabria has allowed to characterize 15 lithofacies types, which reflect environmental conditions ranging from subtidal to supratidal. The facies are organized in shallowing-upward cycles capped by subaerial exposures, attesting for high-frequency and low-amplitude relative sea-level fluctuations. According to the facies types and nature of the subaerial capping surfaces, two types of cycles have been differentiated, characterizing respectively the lower and upper part of the succession. Type-1 cycles are dominated by subtidal facies. They ideally start with transgressive bioclastic-intraclastic rudstone, followed by *Chondrodonta* wackestone, rudist floatstone, rudist boundstone and finally miliolid mudstone. They culminate with burrowed and rooted surfaces that resembles to pseudomicrokarst. Type-2 cycles start with transgressive oncoidal-pebbly floatstone, followed by rudist floatstone, foraminiferal packstone-grainstone, rudist boundstone and ending eventually with either oncoidal rudstone, fenestral mudstone and/or laminoid to hemispherical stromatolites. These cycles are capped by subaerial desiccation and limestone conglomerates rich in black-pebbles with alveolar septal microstructure and calcified rhizoliths. Type-1 cycles developed under humid environmental conditions, whereas Type-2 cycles could have formed under semiarid conditions. The cycle stacking pattern may reflect the sedimentary evolution of the platform during the transition from greenhouse to coolhouse conditions after the OAE-1a.

**Key words:** peritidal carbonate cycles, pseudomicrokarst, black-pebbles, Lower Aptian, Basque-Cantabrian basin.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de ciclos perimareales de escala métrica culminados con estromatolitos es un rasgo común de muchos sistemas de plataforma carbonatada del registro geológico. No es el caso de las plataformas carbonatadas del Cretácico Inferior de la cuenca Vasco-Cantábrica, que se caracterizan por presentar facies y ciclos principalmente de tipo submareal. Por

esa razón, no existen hasta la fecha muchos trabajos orientados a analizar la ciclicidad de alta frecuencia de estas plataformas. El reconocimiento de diferentes tipos de ciclos métricos submareales y perimareales en las facies de plataforma interna de la Formación San Esteban (Aptiense inferior, noroeste de Cantabria), ofrece una oportunidad excepcional para estudiar los factores climáticos y ambientales que favorecieron o

limitaron el desarrollo de ciclos primareales en estos sistemas de plataformas.

## MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se localiza en la sub-cuenca Nor-Cantábrica (NCB; Wilmsen, 2005; Najarro 2015), que constituye la terminación noroccidental de la cuenca Vasco-Cantábrica (en adelante CVC). Esta se formó en relación con la apertura del Golfo de Vizcaya, que separó el margen noribérico del Macizo Armoricano, durante la extensión mesozoica del Atlántico Norte. La NCB se comportó durante la fase de *rifting* cretácica como una sub-cuenca extensional relativamente independiente y poco subsidente, con orientación E-O y espesores de los materiales del Aptiense-Albiense comparativamente reducidos (varios cientos de metros) en contraste con los miles de metros que presentan otras áreas de la CVC.

Las secciones de Cuchía y Suances (noroeste de Cantabria, Fig. 1) son claves para el estudio del Aptiense inferior de la CVC debido a la excelente calidad de exposición de sus afloramientos en acantilados costeros. En estas secciones, la sucesión del Aptiense inferior está constituida por tres unidades litoestratigráficas: (1) Formación Umbrera, del Bedouliense basal (20 m), constituida por calcarenitas oolíticas y bioclásticas con estratificación cruzada; (2) Formación Patrocinio, del Bedouliense inferior (80 m), formada por margas grises con intercalación de calizas nodulosas con ammonites y limolitas y areniscas deltaicas a techo, cuyo depósito se relaciona con el evento anóxico oceánico OAE1a (Najarro et al., 2011); (3) Formación San Esteban (50 m), del Bedouliense superior, que es la primera unidad con sedimentación de carbonatos de plataforma somera en facies urgoniana, siendo el objetivo de este estudio.

## RESULTADOS

### Facies y reconstrucción paleoambiental

El análisis detallado de facies, a partir del estudio de 6 perfiles estratigráficos correlativos, ha permitido reconocer 15 tipos de litofacies sedimentarias (F1–F15; Tabla 1). A partir de la distribución vertical y horizontal de las facies sedimentarias, se ha establecido un perfil deposicional de la plataforma compuesto por seis asociaciones de facies:

#### *Asociación de facies supramareales*

Están constituidas por estromatolitos con fábrica de laminitas fenestrales a hemisférica y en ocasiones pisolítica (F3; Fig. 2), que pueden presentar a techo huellas de desecación, y por brechas y conglomerados calcáreos con cantos negros (F2). La facies F3 sugiere ambientes de llanura mareal (Husinec y Read, 2014), mientras que la facies F2 representa brechas de paleosuelos para-autóctonas o bien retrabajadas en playas de cantos (Fig. 2) (Leinfelder, 1987).

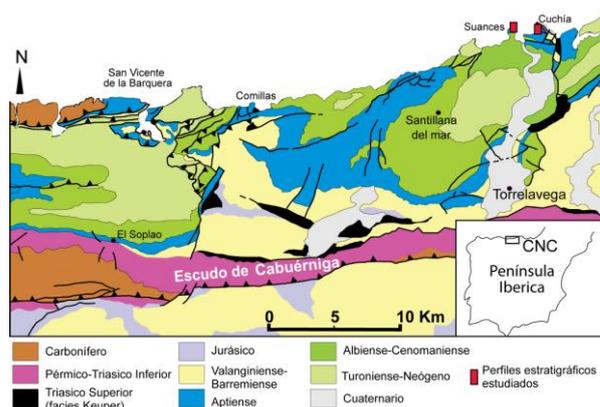


FIGURA 1. Mapa geológico de la sub-cuenca Nor-Cantábrica con la localización de los perfiles estudiados de Suances y Cuchía.

#### *Asociación de facies intermareales*

Incluye calizas *mudstone* con porosidad fenestral/*birds eyes* (F4) y *rudstone* oncolítica (F5) en bancos tabulares o lenticulares. La facies F4 se depositó en lagunas o *ponds* intermareales, mientras que la facies F5 se interpreta como canales y pavimentos de oncolitos retrabajados por las mareas, en ambiente intermareal (Godet et al., 2010).

#### *Asociación de facies de lagoon interno restringido*

Está constituida por estratos discretos (hasta 30 cm) de facies fangosas de *mudstone* a *wackestone* sin macrofósiles y con escaso contenido de miliólidos, ostrácodos, fragmentos bioclásticos (principalmente moluscos) y pequeños cantos negros (F1). Presenta siempre superficies de techo con abundante bioturbación y huellas de raíces. El escaso contenido fósil sugiere condiciones restringidas y de alto estrés ambiental. Se considera depositada en un medio de *lagoon* muy interno y restringido, vegetado, inmediatamente enfrente del medio emergido.

#### *Asociación de facies de lagoon interno*

Está constituida por *boundstone/rudstone* de rudistas requiñidos mayoritariamente en posición de vida (F6) y por facies *floatstone* de rudistas con matriz fangosa (F7). Estas facies sugieren un ambiente submareal de *lagoon* interno somero (Godet et al., 2010).

#### *Asociación de facies de plataforma submareal somera de energía moderada*

Está constituida por facies *floatstone* de rudistas requiñidos con matriz *packstone* de foraminíferos y peloides (F8), *wackestone-packstone* de *Chondrodonta* (F9), *packstone-grainstone* de foraminíferos y peloides (F10) y *packstone* con oncoides y *lumps* de *Bacinella* (F11). Presentan una alta diversidad faunística que incluye orbitolinas, foraminíferos bentónicos, rudistas, gasterópodos y fragmentos de corales ramosos entre otros. Esta asociación de facies sugiere ambientes submareales de plataforma somera de energía moderada.

Facies	Nombre	Espesor y características principales	Interpretación
F1	<i>Mudstone</i> bioturbada	Hasta 30 cm. Ausencia de microfósiles. Intensa bioturbación y techos con túbulos y pseudomicrokarst.	<i>Lagoon</i> interno restringido vegetado
F2	Brechas y conglomerados calcáreos	5-30 cm. Ruditas con cantos negros. Presentan huellas de raíces calcificadas, caliches y textura alveolar.	Supramareal
F3	Estromatolitos fenestrales	Hasta 50 cm. Estromatolitos laminares a hemiesféricos.	
F4	<i>Mudstone</i> fenestral	Hasta 10 cm. Porosidad fenestral y <i>birds eyes</i> .	Intermareal
F5	<i>Rudstone</i> oncolítica	Hasta 40 cm. Ruditas de oncolitos de <i>Bacinella</i> .	
F6	<i>Boundstone/rudstone</i> de rudistas	Hasta 1 m. Bioconstrucciones de rudistas requiñidos	<i>Lagoon</i> interno, baja energía
F7	<i>Floatstone</i> de rudistas	Hasta 2,4 m. Requiñidos dispersos en matriz micrítica.	
F8	<i>Floatstone</i> de rudistas, matriz <i>packstone</i>	Hasta 1,9 m. <i>Packstone</i> con conchas de requiñidos	Plataforma submareal, energía moderada
F9	<i>Wackestone-packstone</i> de <i>Chondrodonta</i>	Hasta 20 cm. <i>Chondrodonta</i> en posición de vida.	
F10	<i>Packstone-grainstone</i> de foraminíferos	Hasta 1,2 m. Foraminíferos bentónicos y peloides.	
F11	<i>Wacke-packs</i> con <i>Bacinella</i>	Hasta 1,3 m. Oncoides y <i>lumps</i> de <i>Bacinella</i> .	Facies transgresivas
F12	<i>Packstone-grainstone</i> de orbitolinas	Hasta 45 cm. Abundantes orbitolinas y bioclastos.	
F13	<i>Rudstone/grainstone</i> bioclástica	Hasta 50 cm. Abundantes bioclastos e intraclastos ( <i>lag</i> ).	
F14	<i>Wackes.-packstone</i> nodulosa bioturbada	Hasta 80 cm. Noduloso con rudistas y orbitolinas.	
F15	<i>Floatstone</i> de cantos negros	Hasta 20 cm. Cantos negros centimétricos dispersos en matriz micrítica sobre superficie erosiva ( <i>lag</i> ).	

TABLA I. Relación de facies identificadas en este estudio y su interpretación ambiental

### Asociación de facies transgresivas

Está constituida por niveles de hasta 50 cm de *grainstone/rudstone* bioclástica-intraclástica (F13), *grainstone* de orbitolinas (F12), *wackestone-packstone* nodulosa bioturbada (F14) y *floatstone* de cantos negros y oncolitos (F15). Los intraclastos y cantos negros a menudo presentan envueltas oncolíticas con *Bacinella*. Los *grainstone/rudstone* de bioclastos y orbitolinas aparecen rellenando huellas de raíces, bioturbaciones y microkarstificaciones. Los intraclastos y cantos negros aparecen incorporados en las facies transgresivas desde los niveles infrayacentes de exposición subaérea, por erosión marina durante la transgresión.

### Ciclos de alta frecuencia

Se han reconocido dos tipos de ciclos de alta frecuencia (0,4–4 m de espesor), en función de las asociaciones de facies que los constituyen y la naturaleza de las superficies que los culminan. Las sucesiones de facies idealizadas presentes en estos ciclos son:

#### Ciclos Tipo-1

Están dominados por facies submareales. Comienzan con facies transgresivas (F13 y F14), seguido sucesivamente de facies de plataforma submareal (F9), facies de *lagoon* interno (F7 seguido de F6) y finalmente facies *lagoon* interno restringido y vegetado (F1). El techo es una superficie neta con bioturbación y túbulos, muchos de ellos verticales y agrandados por disolución, que constituyen un entramado irregular de pequeñas cavidades (Fig. 2) que asemejan al pseudomicrokarst descrito en ambientes palustres y humedales, desarrollado en relación a la actividad de raíces (Alonso-Zarza y Wright, 2010).

#### Ciclos Tipo-2

Comienzan con facies transgresivas de *floatstone* de cantos negros y oncolitos (F15), continúan con facies submareales someras (F9, F8, F6, F10 y F11), facies intermareales (F4 y F5) y culminan con facies de llanura mareal con marcas de desecación a techo (F3) o con brechas de exposición subaérea con cantos negros (F2). En los cantos negros se observa preservación de huellas de raíces calcificadas (rhizolitos) y textura alveolar, que sugieren desarrollo de paleosuelos y paleocaliches (Leinfelder, 1987).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los ciclos Tipo-1 caracterizan principalmente la parte inferior de la Fm. San Esteban, mientras que los ciclos de Tipo-2 predominan en la parte alta de la unidad. Los ciclos de Tipo-1 no desarrollan facies perimareales. Representan plataformas interiores que carecían de llanura mareal y donde la transición entre el medio emergido y la zona submareal pasaba por sistemas de humedal (*wetland*) donde pudieron proliferar macrofitas acuáticas adaptadas a habitats costeros, junto con intensa bioturbación de crustáceos. Esta característica sugiere condiciones ambientales húmedas. Por el contrario, los ciclos de Tipo-2, que sí llegan a desarrollar facies perimareales y que culminan con exposición subaérea (desecación, brechas subaéreas y paleosuelos), sugieren condiciones ambientales más áridas o con fuerte estacionalidad (Husinec y Read, 2014).

La evolución temporal de predominio de ciclos de Tipo-1 a ciclos de Tipo-2 se produjo en un contexto general regresivo y de transición desde una fase hipertermal a una etapa de condiciones climáticas más frías y áridas tras al evento anóxico oceánico OAE-1a (Bonin et al., 2016).

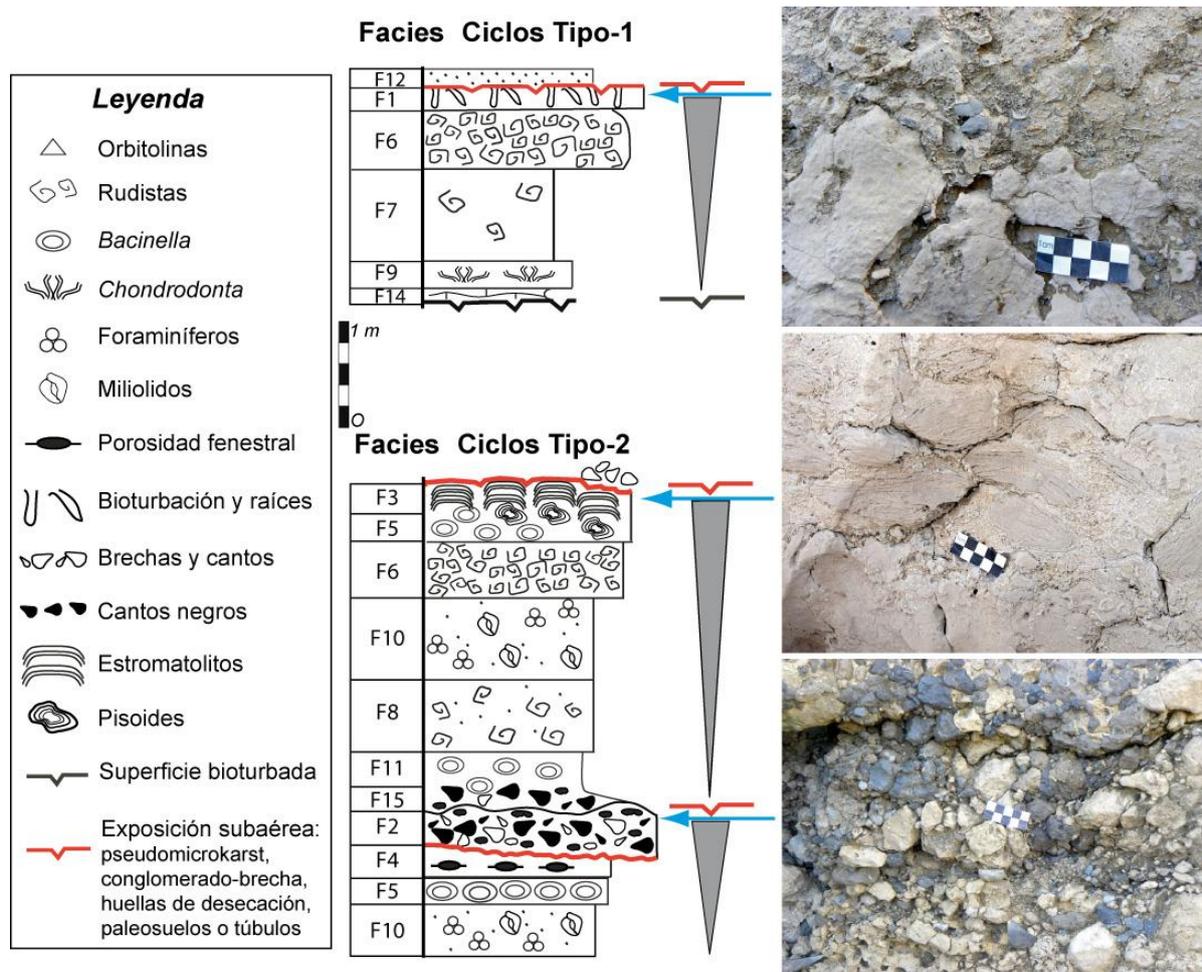


FIGURA 2. Sucesiones idealizadas de facies que constituyen los ciclos de alta frecuencia de Tipo-1 y Tipo-2.

## AGRADECIMIENTOS

Contribución al proyecto de investigación CGL2014-53548-P del MINECO.

## REFERENCIAS

- Alonso-Zarza, A.M. y Wright, V.P. (2010): Palustrine carbonates. En: *Carbonates in Continental Settings: Geochemistry, Diagenesis and Applications* (Alonso-Zarza, A.M. y Tanner, L.H., eds.). *Developments in Sedimentology*, 61: 103-132.
- Bonin, A., Pucéat, E., Vennin, E., Mattioli, E., Aurell, M., Joachimski, M., Barbarin, N. y Laffont R. (2016): Cool episode and platform demise in the Early Aptian: New insights on the links between climate and carbonate production. *Paleoceanography*, 31: 66-80.
- Godet, A., Föllmi, K.B., Bodin, S., de Kaenel, E., Matera, V. y Adatte, T. (2010): Stratigraphic, sedimentological and palaeoenvironmental constraints on the rise of the Urgonian platform in the western Swiss Jura. *Sedimentology*, 57: 1088-1125.
- Husinec, A. y Read, F. (2011): Microbial laminated versus rooted and burrowed caps on peritidal cycles: Salinity control on parasequences development, early Cretaceous isolated carbonate platform, Croatia. *Geological Society of American Bulletin*, 123: 1896-1907.
- Leinfelder, R.R. (1987): Formation and significance of black pebbles from Ota Limestone (Upper Jurassic, Portugal). *Facies*, 17: 159-170.
- Najarro, M., Rosales, I., Moreno-Bedmar, J.A., de Gea, G.A., Barrón, E., Company, E. y Delanoy, G. (2011): High-resolution chemo- and biostratigraphic records of the Early Aptian oceanic anoxic event in Cantabria (N Spain): Palaeoceanographic and palaeoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299: 137-158.
- Najarro, M. (2015): Las plataformas carbonatadas y sistemas deltaicos del Aptiense-Albiense inferior del noroeste de Cantabria: registro de cambios paleoambientales y eventos anóxicos. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid, 450 pp.
- Wilmsen, M. (2005): Stratigraphy and biofacies of the Lower Aptian of Cuchía (Cantabria, northern Spain). *Journal of Iberian Geology*, 31: 253-275.