

# Sedimentación turbidítica y asociaciones de foraminíferos bentónicos en el margen continental de la Gran Barrera de Arrecifes, NE Australia

## *Turbidite sedimentation and benthic foraminifera assemblages in the Great Barrier Reef continental margin, NE Australia*

Lucía Quesada-López<sup>1</sup>, Ángel Puga-Bernabéu<sup>1,2</sup>, Jody M. Webster<sup>2</sup> y Robin J. Beaman<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva, 18002, lqlpangea@gmail.com, angelpb@ugr.es

<sup>2</sup> Geocoastal Group, School of Geosciences, The University of Sydney, NSW 2006, Australia, jody.webster@sydney.edu.au

<sup>3</sup> College of Science, Technology and Engineering, James Cook University, PO Box 6811, Cairns QLD 4870, Australia, robin.beaman@jcu.edu.au

### ABSTRACT

A micropaleontologic study has been performed in order to test the viability of the use of benthic foraminifera assemblages to determine the source area of turbidites on the mixed carbonate-siliciclastic continental margin of north-eastern Australia. Turbidites drilled in the uppermost 10 m of the ODP Leg 133 Site 823A are bioclastic carbonate-dominated, and only a few of them show high terrigenous content. The principal component analysis of benthic foraminifera assemblages suggests a main source area corresponding to sediments deposited between 0 and 40 m water depth. The relationship between the timing of turbidite deposition and relative sea level changes indicates that turbidites were emplaced preferentially during periods when sea level was below 75 m with respect to its present-day position. The results obtained in this study are not fully consistent with conventional models of sediment transfer to deep-water settings, but they support and extend the turbidite depositional model in the study region from 60 ka, to at least, 200 ka.

**Key-words:** turbidite deposition, benthic foraminifers, mixed carbonate-siliciclastic margin, source area, principal component analysis.

### RESUMEN

Se ha realizado un estudio micropaleontológico para comprobar la viabilidad del uso de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en la determinación de la procedencia de depósitos turbidíticos en el margen continental mixto carbonatado-siliciclástico del noreste de Australia. Las turbiditas perforadas en los primeros 10 m del sondeo 823A del ODP Leg 133 contienen un claro predominio de componentes bioclásticos frente a componentes terrígenos. El análisis de componentes principales de las asociaciones de foraminíferos bentónicos ha permitido determinar un área fuente dominante en sedimentos depositados entre 0 y 40 m de profundidad. La relación entre el tiempo de depósito de las turbiditas y los cambios relativos del nivel del mar indican que las turbiditas fueron emplazadas preferentemente durante periodos en los que el nivel del mar estuvo por debajo de 75 m respecto a su posición actual. Los resultados obtenidos no se ajustan completamente a los modelos tradicionales de transferencia de sedimento hacia aguas profundas, pero validan y extienden el modelo de sedimentación turbidítica en la región desde 60 ka hasta hace, al menos, 200 ka.

**Palabras clave:** sedimentación turbidítica, foraminíferos bentónicos, margen mixto carbonatado-siliciclástico, área fuente, análisis de componentes principales.

Geogaceta, 63 (2018), 7-10  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 14 de julio de 2017  
Revisión: 4 de octubre de 2017  
Aceptación: 23 de octubre 2017

## Introducción

En ambientes marinos, se asume comúnmente que las corrientes de turbidez se originan en la cabeza de los cañones submarinos, en el talud superior, donde existe espacio de acomodación suficiente para acumular el sedimento exportado desde la plataforma continental (Paull *et al.*, 2005; Piper y Normak, 2009; Covault, 2011). Sin embargo, el área fuente de las turbiditas puede ser muy variable y es difícil de precisar únicamente con la información que proporciona la litología.

La presencia de microfauna fósil en los depósitos turbidíticos puede ayudar a discriminar el área fuente de los sedimentos removilizados. Esta discriminación es aún más relevante en márgenes continentales de tipo mixto carbonatado-siliciclástico, ya que existe una mayor variabilidad en el área fuente, pudiendo abarcar diferentes sectores de la plataforma, cabecera de los cañones o el talud.

El objetivo general de este estudio es comprobar la utilidad de los foraminíferos bentónicos alóctonos para realizar estudios de procedencia de depósitos turbidíticos (*i.e.*, plataforma vs. talud), y comparar los

resultados con otros modelos de sedimentación turbidítica.

## Datos y metodología

Se han estudiado los primeros 10 m del sondeo 823A del *Ocean Drilling Program* (ODP) Leg 133, llevando a cabo un estudio micropaleontológico de detalle en 8 muestras de arenas turbidíticas (Fig. 2). En ellas, se identificaron y cuantificaron los componentes terrígenos y carbonatados, y se realizó un análisis faunístico (Murray, 2006) de la fracción >125 µm. Los resultados obteni-

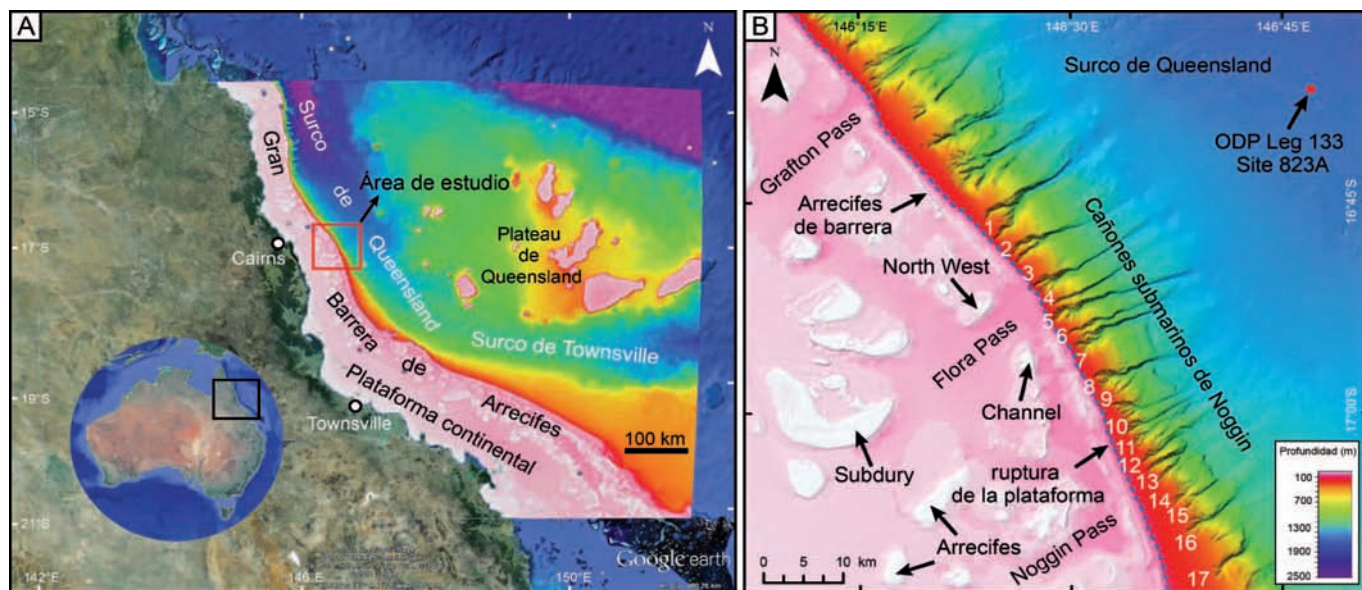


Fig. 1.- A) Localización geográfica del área de estudio. B) Mapa batimétrico mostrando la fisiografía del margen continental y la localización del sondeo estudiado. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- A) Geographical location of the study area. B) Bathymetric map showing the continental margin physiography and the location of the study site. See color figure in the web.

dos se analizaron estadísticamente mediante análisis cluster en modo Q y análisis de componentes principales (ACP), utilizando el programa Past 3.11. El modelo de edad utilizado se basa en la estratigrafía de isótopos de oxígeno para el sondeo 823A realizado por Alexander (1996).

**Contexto regional**

El margen continental del noreste de Australia constituye la mayor provincia tropical moderna con sedimentación mixta carbonatada-siliciclástica. Este es un margen pasivo en el que existen tres regiones fisiográficas (Fig. 1): 1) la plataforma continental, que incluye la Gran Barrera de Arrecifes (GBA); 2) los ambientes de talud y de cuenca, que corresponden a los surcos de Queensland y Townsville; y 3) el Plateau de Queensland.

*Área de estudio*

El sondeo 823A se sitúa en el sector central del Surco de Queensland (Fig. 1A), unos 120 km aguas adentro de la ciudad de Cairns y 43 km desde el borde de la plataforma (Fig. 1). El talud adyacente al sondeo 823A está excavado por el sistema de cañones submarinos de Noggin (Puga-Bernabéu *et al.*, 2013). De este sistema, los cañones más cercanos al sondeo 823A son los cañones 1 a 5 (Fig. 1B). Estos cañones están encajados en el talud pero sus cabezas están cerca del borde de la plataforma (~105 m), entre 187

y 200 m de profundidad, a excepción del cañón 3 que excava la plataforma a 90 m de profundidad. La plataforma externa carece de barrera arrecifal continua, por lo que presenta condiciones de conexión más abierta hacia el talud.

**Resultados**

*Depósitos turbidíticos*

El tramo estudiado del sondeo 823A contiene 16 capas de arenas y limos turbidíticos, intercaladas entre sedimentos margosos que corresponden a la sedimentación autóctona (Fig. 2A). Los niveles turbidíticos tienen un espesor medio de 4,3±8,0 cm, y están formados por arenas lutíticas y localmente lutitas arenosas, pobre a muy pobremente seleccionadas, y tamaños de grano medio entre limo grueso y arena fina, con excepción de la turbidita 3, que es una arena gravosa pobremente seleccionada de tamaño arena gruesa.

El estudio de componentes terrígenos y carbonatados indica un claro predominio de los carbonatados en las turbiditas estudiadas, a excepción de las turbiditas 2 y 3 que tienen un alto contenido en material siliciclástico. Los componentes carbonatados son fundamentalmente restos bioclásticos de aguas someras y profundas, con cantidades variables de fragmentos carbonatados macerados no identificables.

El análisis cluster en modo Q generó un dendrograma con cuatro grupos (Fig. 2B). El 1 está formado por los foraminíferos planc-

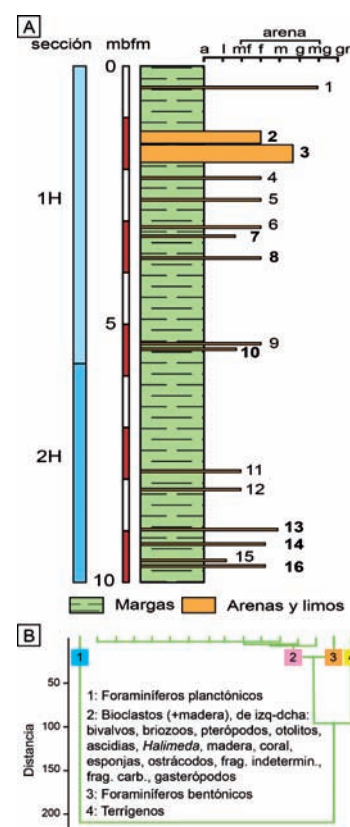


Fig. 2.- A) Columna estratigráfica del tramo estudiado del sondeo 823A. Los números indican los niveles turbidíticos (en negrita los estudiados en detalle). B) Análisis cluster en modo Q de los componentes presentes en las turbiditas Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- A) Stratigraphic column of the study section of Site 823A. Numbers label the turbiditic beds (in bold those studied in detail). B) Q-mode cluster analysis of turbidite components. See color figure in the web..

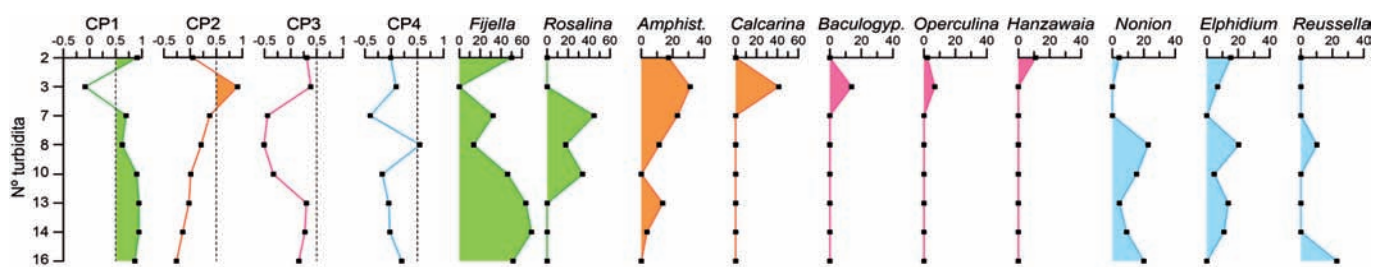


Fig. 3.- Asociación de foraminíferos bentónicos resultantes del análisis de componentes principales (CP) en modo Q y abundancia relativa (en porcentaje) de los géneros (con mayor puntuación) representativos de cada asociación. Las cargas de componentes principales superiores a 0.5 (zonas sombreadas en color) se han considerado representativas siguiendo la propuesta de Malmgren y Haq (1982). Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Benthic foraminifera assemblages as derived from the Q-mode principal component (CP) analyses and relative abundance (in percentage) of the representative taxa (with higher score) in each group. PC loadings >0.5 (color shading) are considered significant by Malmgren and Haq (1982). See color figure in the web.

tónicos, que constituyen el componente más abundante en todas las muestras excepto en las turbiditas 2 y 3. El cluster 2 agrupa los componentes bioclásticos con abundancias moderadas a bajas que están presentes en la mayoría de las turbiditas estudiadas. El cluster 3 está representado por los foraminíferos bentónicos y el cluster 4 está representado por los terrígenos, y corresponde esencialmente a las turbiditas 2 y 3.

#### Asociaciones de foraminíferos bentónicos

Debido a las limitaciones del uso de la relación P/B para determinar la paleobatimetría del medio en el caso de sedimentos claramente removilizados, el área fuente de las turbiditas se ha determinado a partir de las asociaciones de foraminíferos bentónicos, agrupadas en tres categorías de géneros según rangos de profundidad (Murray, 2006): 1) muy someros (0 a 50 m): *Baculogypsina*, *Calcarina*, *Elphidium*, *Fijella*, *Neorotalia*, *Pararotalia*, *Peneroplís*, *Rugobolivinella*, *Schlumbergerella*; 2) someros (0 a 100 m): *Amphistegina*, *Ammonia*, *Asterigerinata*, *Cancris*, *Operculina*; y 3) moderadamente someros (0 a 200 m): *Hanzawaia*, *Nonion*, *Rectobolivina*, *Reussella*, *Rosalina*.

ElACP en modo Q de las tres categorías batimétricas generó cuatro asociaciones que, en conjunto, explican el 95.7% de la varianza en las muestras, representando las asociaciones CP1 y CP2 >75% de la misma. La asociación CP1 es la asociación dominante en siete de las muestras (Fig. 3) y sugiere un rango de 5 a 40 m de profundidad, debido a la presencia de *Fijella* (puntuación 8.4). La asociación CP2 está caracterizada por los géneros *Amphistegina* y *Calcarina* (puntuación 2.7 y 2.5 respectivamente) (Fig. 3), aunque la presencia de *Baculogypsina* limita su rango batimétrico hasta un máximo de 30 m. La asociación CP3 indica un rango batimétrico de 20 a 30 m, aunque no es significativa en ninguna de las muestras. La asociación CP4 es significativa en la turbidita 8, la cual presenta un

pico de abundancia de géneros moderadamente someros (*Nonion* y *Reussella*; puntuación 1.9 y 1.1 respectivamente) y podría sugerir un rango de profundidad algo mayor, de más de 100 m.

### Interpretación

#### Área fuente

El análisis cluster en modo Q sugiere que la variabilidad composicional de las

turbiditas está controlada por la abundancia de foraminíferos planctónicos y bentónicos, y granos terrígenos, siendo el resto de los componentes bioclásticos similar entre las distintas turbiditas. De este modo el área fuente de las turbiditas puede agruparse en: turbiditas con área fuente carbonatada y turbiditas con área fuente terrígena, ambas situadas en la plataforma debido a la presencia de fauna de aguas someras (Fig. 3).

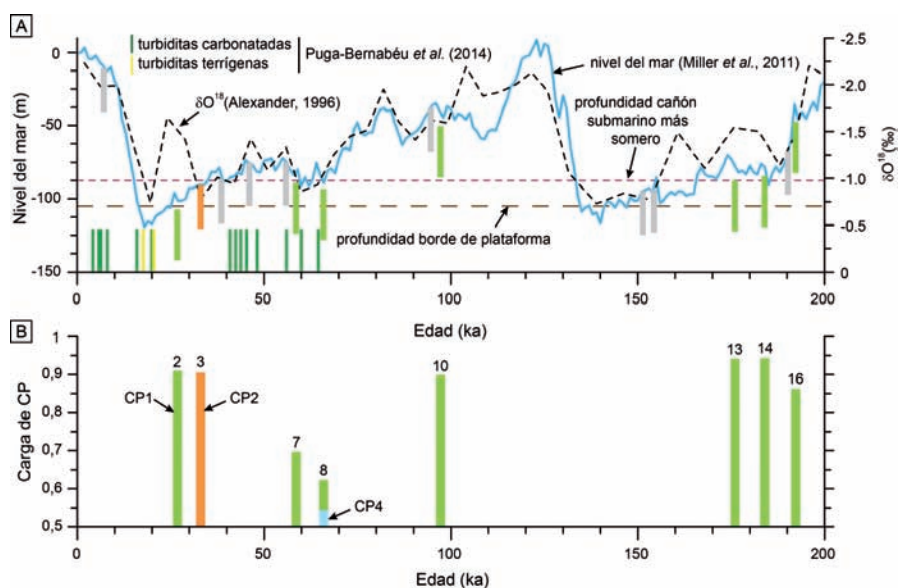


Fig. 4.- A) Relación entre el tiempo de depósito de las turbiditas (barras verticales gruesas) en el sondeo 823A y las variaciones en el nivel del mar durante los últimos 200 ka (Miller et al., 2011), acompañada de la curva de isótopos de oxígeno (*G. ruber*) de Alexander (1996). El color indica la asociación de componentes principales (CP) (ver Fig. 3), y la altura el rango batimétrico de cada una. En gris, las turbiditas no estudiadas en detalle con una altura inferida correspondiente al rango batimétrico de la asociación CP2 (0-30 m). Se indican, además, las turbiditas (sin rango batimétrico) estudiadas en trabajos previos en la región (barras verticales finas). B) Carga de componentes principales (CP) significativa (>0.5) de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en las turbiditas estudiadas. Los números corresponden a las turbiditas (ver Fig. 2). Las turbiditas 2 y 3 son terrígenas. Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- A) Relationship between depositional timing of the turbidites (thick vertical bars) in the Site 823A and sea-level variations during the last 200 ka (Miller et al., 2011), and oxygen isotopes curve (*G. ruber*) from Alexander (1996). Color indicates the principal component assemblages (CP) (see Fig. 3) and the height their corresponding bathymetric range. In gray, turbidites not studied in detail with an inferred height corresponding to the assemblage CP2 (0-30 m). Turbidites (without bathymetric range) studied previously in the region (thin vertical lines) are also indicated. B) Significant principal components (CP) loadings (>0.5) of benthic foraminifera assemblages in the studied turbidites. Numbers labels the turbidites (see Fig. 2). Turbidites 2 and 3 are terrigenous dominated. See color figure in the web.

### Relación entre eventos turbidíticos y fluctuaciones del nivel del mar

El depósito de las turbiditas registradas en el sondeo 823A durante los últimos 200 ka se produjo, de forma general, durante periodos en los que el nivel del mar estuvo por debajo de los -45 m respecto al nivel actual, y de éstos, la mayor parte por debajo de -75 m (Fig. 4A). En las turbiditas estudiadas, esta posición del nivel del mar es consistente con el rango batimétrico de la asociación CP1 (5-40 m), la dominante en las muestras por encima de la ruptura de la plataforma, y con la CP2, la más somera (0-30 m) y de naturaleza más siliciclástica (Fig. 4B). Una interpretación similar podría extrapolarse para las turbiditas no analizadas considerando el rango batimétrico mínimo de la asociación CP2 (Fig. 4A).

En situaciones de nivel del mar muy bajo (Fig. 4A), existe espacio suficiente para que se desarrolle una factoría de carbonato por encima de la ruptura de la plataforma, pero debido a la gran reducción de la anchura de la misma, se favorece la exportación hacia aguas más profundas. En situaciones de nivel del mar intermedio, la plataforma tendría una anchura mayor, pero mucho menor comparado con la actual, y quizá por ello, la exportación fue algo menor. Además, la presencia puntual de cañones encajados en la plataforma (e.g. Cañón 3; Fig. 1B) favorecería el transporte de sedimento hacia aguas más profundas dentro del rango batimétrico de la CP1 (Fig. 4A). En el caso de las turbiditas depositadas durante periodos de nivel del mar relativamente alto, la factoría de aguas someras estaría muy alejada del borde de la plataforma y por ello el número de turbiditas depositadas fue menor. En este tipo de turbiditas, como por ejemplo la correspondiente a la turbidita 10, la abundancia de géneros de foraminíferos de aguas más profundas, como *Nonion* y *Rosalina* (Fig. 3), es coherente con removilización durante condiciones de nivel del mar alto (Fig. 4A).

### Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos muestran que la sedimentación turbidítica en el sector central del margen noreste de Australia no sigue el modelo genérico, el cual establece que el aporte de material terrígeno hacia el talud es máximo durante las fases de nivel del mar bajo y, recíprocamente, la mayor

cantidad de material carbonatado es exportado durante periodos de nivel del mar alto (Droxler y Schaalger, 1985; Posamentier y Vail, 1988). Sin embargo, la mayor parte de las turbiditas estudiadas son de naturaleza carbonatada y se depositaron especialmente durante condiciones de nivel del mar bajo (Fig. 4A). La escasez de turbiditas terrígenas sugiere que las conexiones fluviales, incluso durante periodos de nivel del mar bajo, no fueron muy importantes en esta zona del margen.

Los resultados obtenidos confirman, además, que el modelo de sedimentación turbidítica propuesto por Puga-Bernabéu *et al.* (2014) para los últimos 60 ka, puede extenderse, al menos, durante los últimos 200 ka. Se ha verificado que en el sector central no existe una sedimentación terrígena significativa, posiblemente ligada a la escasez de cañones encajados en la plataforma que pudiesen conectar con canales excavados en la misma. Además, la configuración más abierta de la plataforma, con respecto al sector norte, sin bloqueo arrecifal, y la mayor profundidad de la ruptura de la pendiente, favorecieron un mayor espacio disponible para la producción de carbonato, y su eventual exportación hacia la cuenca en forma de flujos gravitatorios de sedimento.

### Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas a partir del estudio micropaleontológico realizado son:

1. La paleobatimetría deducida de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en depósitos turbidíticos puede utilizarse para interpretar el área fuente de las turbiditas, discriminando en el depósito entre componentes autóctonos y alóctonos.
2. Las turbiditas tienen una composición predominantemente carbonatada y proceden de sedimentos depositados en aguas someras de la plataforma, entre 0 y 40 m de profundidad. De forma local, algunas turbiditas se depositaron en relación a conexiones fluviales con los cañones encajados en la plataforma.
3. La mayor parte de las turbiditas se generaron cuando la relación entre la profundidad de la ventana de producción de carbonato y la distancia al borde de la plataforma era máxima, lo cual ocurre aproximadamente a más de 75 m por debajo de la posición del nivel del mar actual.

4. El modelo de sedimentación turbidítica interpretado no se ajusta a los modelos de sedimentación tradicionales. El modelo aquí propuesto sustenta y extiende la validez del modelo turbidítico previamente establecido en la región de estudio hasta los 200 ka.

### Agradecimientos

Agradecemos a J. Aguirre y J.N. Pérez-Asensio la asistencia en la identificación y análisis batimétrico de los foraminíferos bentónicos. Este trabajo ha sido financiado por el Grupo RNM-190 de la Junta de Andalucía, la AMNF, la Universidad de Sydney, y mediante un contrato de la Queensland Government Smart Futures Fellowship a Robin Beaman. Agradecemos los comentarios de Blanca Martínez y Juan Manuel Usera.

### Referencias

- Alexander, I.T. (1996). *Late Quaternary sedimentation off the Queensland continental margin (northeast Australia) in response to sea level fluctuations*. Tesis Doctoral, Univ. de Edinburgh, 454 p.
- Covault, J.A. (2011). *Nature Education Knowledge* 3, 4.
- Droxler, A.W. y Schaalger, W. (1985). *Geology* 13, 799-802.
- Malmgren, B.A. y Haq, B.U. (1982). *Marine Micropaleontology* 7, 213-230.
- Miller, K.G., Mountain, G.S., Wright, J.D. y Browning, J.V. (2011). *Oceanography* 24, 40-53.
- Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*, Cambridge University Press, 426 p.
- Paull, C.K., Mitts, P., Ussler, W., Keaten, R. y Greene, H.G. (2005). *Geological Society of America Bulletin* 117, 1134-1145.
- Piper, D.J.W. y Normark, W.R. (2009). *Journal of Sedimentary Research* 79, 347-362.
- Posamentier, H.W. y Vail, P.R. (1988). En: *Sea Level Changes: an Integrated Approach* (C.K. Wilgus, B.S. Hastings, H. Posamentier, J. VanWagoner, C.A. Ross, y C.G.St.C. Kendall, Eds.). SEPM Special Publication 42, 125-154.
- Puga-Bernabéu, A., Webster, J.M., Beaman, R.J. y Guilbaud, V. (2013). *Geomorphology* 191, 35-50.
- Puga-Bernabéu, A., Webster, J.M., Beaman, R.J., Reimer, P.J. y Renema, W. (2014). *Marine and Petroleum Geology* 50, 40-50.