

# Morfoestratigrafía de la plataforma continental septentrional del Estrecho de Gibraltar adyacente al Umbral de Camarinal

*Morpho-stratigraphy of the northern continental shelf of the Strait of Gibraltar adjacent to the Camarinal Sill*

María Luján<sup>1</sup>, Francisco José Lobo<sup>2</sup> y Miguel Bruno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cádiz, Campus de Puerto Real S/N, Puerto Real, 11510 Cádiz, España. maria.lujan@uca.es

<sup>2</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Av. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada, España. pacolobo@ugr.es

<sup>3</sup> Centro Andaluz de Ciencia y Tecnología Marinas (CACYTMAR), Universidad de Cádiz, Campus de Puerto Real S/N, Puerto Real, 11510 Cádiz, España. miguel.bruno@uca.es

## ABSTRACT

The northern shelf of the Gibraltar Strait adjacent to the Camarinal Sill has been investigated by analysing a set of seismic profiles and side-scan sonar records. We have identified deformed basement rocks, formed mainly by the materials of the Flysch Complex Units. These flysch-type rocks compose the Gibraltar Arc fold-and-thrust belt and are covered by Pliocene to Quaternary post-orogenic deposits. In the study shelf area, the sedimentary cover occurring over the rugged paleo-relief of the flysch-type bedrock exhibits two depocentres; the largest one is related to the complete infilling of a shelf paleovalley. In addition, the occurrence of several shelf bedform fields would suggest the influence of a cyclonic eddy of the surface Atlantic water. We interpret that the location and accumulation of the Pliocene-Quaternary sediment depocentres are led by the interplay between eustatic/tectonic events and the oceanographic patterns prevailing in the study area, which leave their imprint at different spatial and temporal scales.

**Key-words:** Gibraltar Strait, continental shelf, side-scan sonar and seismic record, sediment depocentre, bedforms.

## RESUMEN

Se presenta un estudio de los fondos marinos del área de plataforma continental al norte del Umbral de Camarinal, a través del análisis de registros sonográficos y sísmicos. Estos hacen posible identificar un basamento irregular y deformado, formado principalmente por los materiales de las unidades del Complejo de los Flysch que constituyen parte del frente deformado del sistema orogénico del Arco de Gibraltar. Este aparece recubierto en algunas zonas de la plataforma por los depósitos sedimentarios post-orogénicos del Plioceno y Cuaternario. Estos depósitos presentan dos depocentros, el mayor de los cuales corresponde al relleno de un paleovalle. También se identifican formas sedimentarias de fondo sobre los materiales no consolidados, en relación directa con el remolino ciclónico que generan las corrientes atlánticas superficiales. La localización y acumulación de esta cobertera sedimentaria está controlada por los eventos tectónicos/eustáticos acaecidos en esta área, así como por el patrón oceanográfico que prevalece en el margen continental, que condicionan su distribución espacial y temporal a distintas escalas.

**Palabras clave:** Estrecho de Gibraltar, plataforma continental, registro sonográfico y sísmico, depocentro sedimentario, formas de fondo.

*Geogaceta*, 57 (2015), 51-54.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 12 de junio de 2014  
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2014  
Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2014

## Introducción

La fachada atlántica del Estrecho de Gibraltar presenta fondos marinos irregulares con áreas elevadas y abruptas denominadas umbrales (ej., Umbral de Camarinal). Esta contribución constituye un estudio inicial de las características geomorfológicas y estratigráficas de una zona del margen continental adyacente al Umbral de Camarinal, localizada al oeste de la población de Tarifa (Fig. 1C). Esta zona presenta una plataforma con una geometría triangular cuyo vértice central la une al Umbral de Camari-

nal y con un alto batimétrico, el Bajo de los Cabezos en el centro (Figs. 1A y B).

Los datos utilizados para este trabajo proceden de la campaña oceanográfica PEG0411 realizada en 2004 por la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA). Este material ha sido tratado e interpretado, y posteriormente contrastado con la información geológica y oceanográfica existente en esta área (Sandoval *et al.*, 1995). Se presenta un estudio preliminar de la morfología y estratigrafía de estos fondos submarinos y su relación con los principa-

les factores que han controlado la generación de depocentros sedimentarios.

## Contexto geológico y físico

La zona del Estrecho de Gibraltar conecta la Cordillera Bética y el Rif septentrional. Estas Cordilleras forman parte de un arco orogénico apretado, denominado Arco de Gibraltar, originado durante el Mioceno y cuyo frente orogénico dio lugar al prisma de acreción del arco (Balanyá y García-Dueñas, 1988). En este contexto geológico el Estrecho de Gibraltar es un rasgo fisiográ-

fico reciente construido a partir del Plioceno desde hace 4,9 Ma (Martín *et al.*, 2012) y que conecta el mar Mediterráneo con el

océano Atlántico. Su evolución ha supuesto la inmersión local de los relieves pertenecientes al prisma de acreción del arco y

donde afloran principalmente las unidades del Complejo de los Flyschs y recubrimientos postorogénicos. Las primeras son rocas sedimentarias de edades del Cretácico al Mioceno Inferior, constituidas por formaciones arcillosas y arenosas detríticas y/o carbonáticas de origen turbidítico, sobre las que se depositan sedimentos formados por arenas biocalcareitas y gravas del Plioceno-Cuaternario (Sandoval *et al.*, 1995).

Varios episodios marinos cuaternarios identificados durante el estadio isotópico 5 (128-95 ka) ponen de manifiesto la elevación tectónica diferencial que ocurre en la zona del Estrecho, con zonas que presentan tasas de elevación máximas (0,2 mm/año) en el centro del Estrecho, frente otras que presentan subsidencia tectónica (Goy *et al.*, 1995; Zazo *et al.*, 1999).

Por otro lado, la morfología submarina también se ve condicionada por la compleja dinámica de intercambio de masas de aguas entre el flujo entrante atlántico y el flujo saliente mediterráneo a través del Estrecho (Nelson *et al.*, 1999). Concretamente, en el área del Umbral de Camarinal las corrientes entrantes atlánticas generan sobre la zona del margen continental español un remolino ciclónico asociado a la hidrodinámica de marea que genera zonas de baja velocidad sobre dicho margen (Bruno *et al.*, 2013).

**Datos y metodología**

La metodología utilizada para la elaboración de este trabajo se basa en el análisis de: 1) perfiles sísmicos obtenidos con una fuente Uniboom (Geopulse) que alcanzan penetraciones de 75–100 m; y 2) mosaicos sonográficos elaborados a partir de los registros de un Sónar de Barrido Lateral de doble frecuencia.

Los valores de espesores de sedimentos se muestran en las líneas sísmicas en milisegundos y sus equivalentes en metros han sido calculados teniendo en cuenta una velocidad para el sedimento de 1600-1650 m/s. Los mosaicos se presentan en escala de grises, donde los niveles de gris corresponden a diferentes reflectividades. En estas imágenes los frentes reflectivos son claros y las sombras negras (representación en inverso).

También se ha utilizado los datos de batimetría del área de estudio obtenida en la campaña IFREMER-1991 y la cartografía

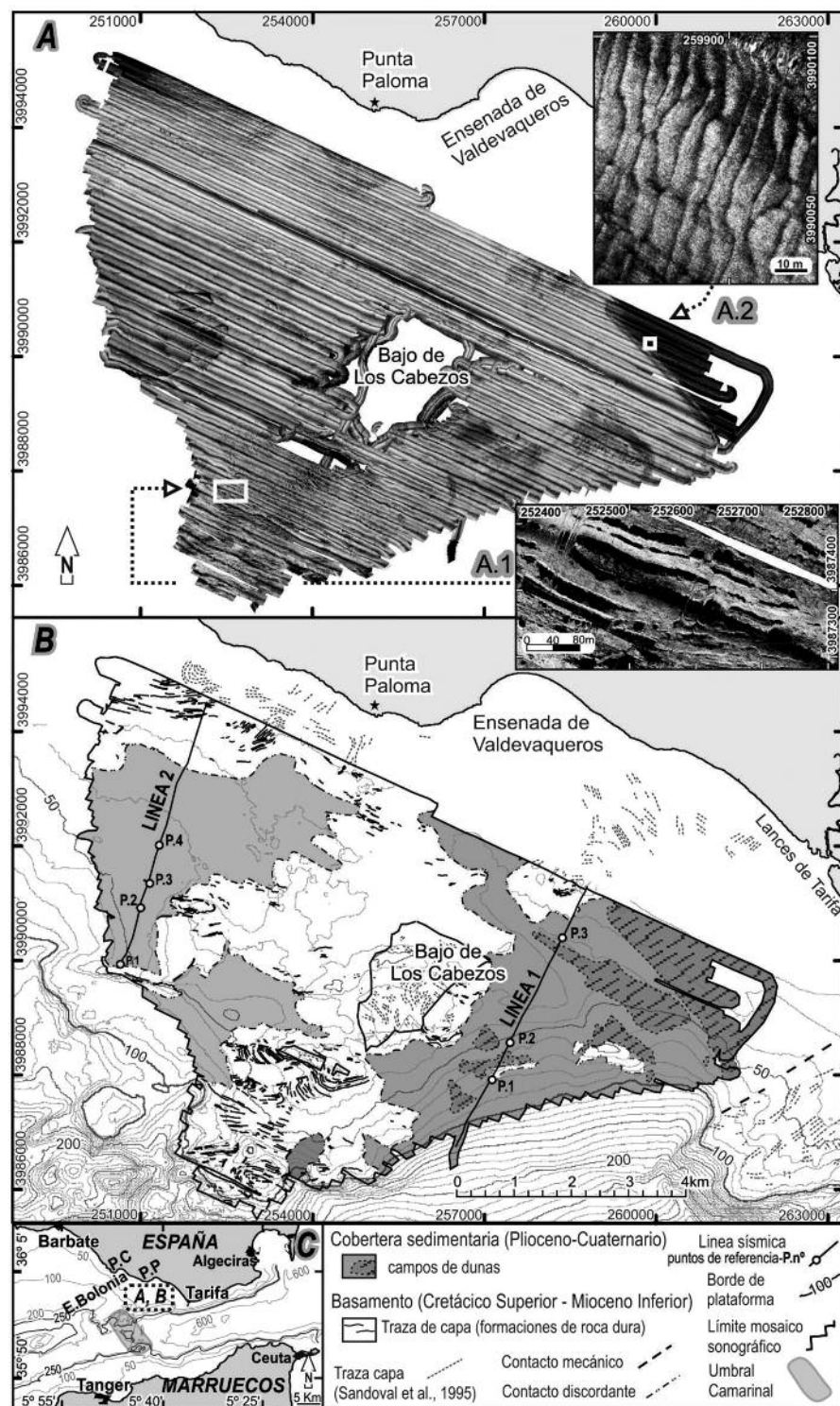


Fig 1. A) Mosaico sonográfico de la plataforma continental al norte del Umbral de Camarinal. (A.1 y A.2) Detalles donde se observan las crestas de las dunas submarinas y las trazas de capas duras, respectivamente. B) Interpretación geomorfológica del mosaico con la localización de las líneas sísmicas. C) Mapa de localización del área de estudio en el Estrecho de Gibraltar. P.C: Punta Camarinal; P.P: Punta Paloma.

Fig. 1. A) Side-scan sonar mosaic of the northern continental shelf adjacent to the Camarinal Sill; (A.1 and A.2) Details showing the crests of the sediment waves and the bedding strike of the hard rocks, respectively. B) geomorphological interpretation of the mosaic and the locations of the seismic line. C) Location map of the study area in the Gibraltar Strait. P.C: Cape Camarinal; P.P: Cape Paloma.



geológica submarina (Sandoval *et al.*, 1995) como ayuda para la interpretación de los registros sísmicos y sonográficos.

**Descripción e interpretación de los registros sonográficos y sísmicos**

Los afloramientos de sustrato rocoso se identifican en el mosaico sonográfico como frentes reflectivos muy marcados e inclinados que generan sombras negras (ver detalle "A.1" de la Fig. 1A). Corresponden a los estratos de las capas más competentes presentes en las formaciones del Complejo de los Flysch que generan fondos marinos con una geometría muy irregular y rugosa. Se localizan principalmente en el área del Bajo de los Cabezos donde se aprecian variaciones en la dirección de las capas que dejan patente la deformación de estos marcadores estratigráficos. Estos estratos son interpretados como potentes bancos areniscos-micáceos de edad Mioceno Inferior (Sandoval *et al.*, 1995). En cambio, la cobertera plio-cuaternaria genera fondos suaves distribuidos adyacentemente al Bajo de los Cabezos. Sobre los sedimentos no consolidados se identifican campos de dunas submarinas (ver detalle "A.2" en la Figs.1A y 1B). Las crestas de estas estructuras indicativas de la

acción de corrientes muestran direcciones N-S a ENE-OSO, predominando las norteadas con crestas rectilíneas paralelas. Los campos de dunas muestran reflectividades bajas y medias atribuida a variaciones granulométricas.

Los perfiles sísmicos disponibles en la zona de estudio muestran un basamento acústico constituido por los materiales de tipo *flyschs* sobre el que se depositan los materiales sedimentarios plio-cuaternarios. En este trabajo se presenta la interpretación de dos líneas sísmicas localizadas en la figura 1B.

La línea 1 presenta un basamento con un paleorelieve de altos y bajos estructurales cubiertos con diferentes cuerpos sedimentarios (Fig. 2). Los depósitos a mayor profundidad entre 80 – 140 m (Fig. 2A) muestran un cuerpo progradante con una configuración de los reflectores oblicua que genera una discordancia a techo, sobre el cual se ubica un depósito con reflectores paralelos. Estos dos cuerpos sedimentarios separados por esta truncación erosiva ponen de manifiesto la exposición subaérea del cuerpo progradante y su posterior recubrimiento por depósitos post-glaciares. En cambio, en la zona más someras, entre los puntos de referencia 2 y 3 (ver Figs. 2 y 1B) se observa un gran banco de arena monticular que recubre el

alto estructural del basamento. En su ladera nordeste existe un depocentro con un espesor máximo entre 40 y 50 m (24-31 ms) que fosiliza una depresión del basamento limitada por fallas con componente normal y marcada por las terminaciones en *onlap* de los reflectores sísmicos (Fig. 2B). Donde se identifican dos unidades sísmicas, una inferior con reflectores subparalelos característica del relleno de un canal y otra superior con reflectores progradantes sigmoidales.

La línea 2 presenta un importante depocentro sedimentario localizado entre p.2 y p.3 (ver Figs. 1B y 3) relacionado con la existencia de un paleovalle que fue colmatado y recubierto por completo por sedimentos. Este depocentro presenta reflectores subparalelos y buzantes hacia el sur con terminaciones en *onlap*. La disposición y relaciones geométricas de los reflectores sísmicos permiten diferenciar unidades sísmicas e identificar geometrías "cut and fill" que sugieren la existencia de pequeños canales erosivos que con posterioridad se rellenaron (Fig. 3). Así, podemos diferenciar dentro de este depocentro una zona erosiva de paleocanales (z.e) de otra que presenta depósitos lobulares (z.d). En conjunto, la acumulación de sedimentos en esta área alcanza espesores de 89-92 m (Figs. 3 y 3A).

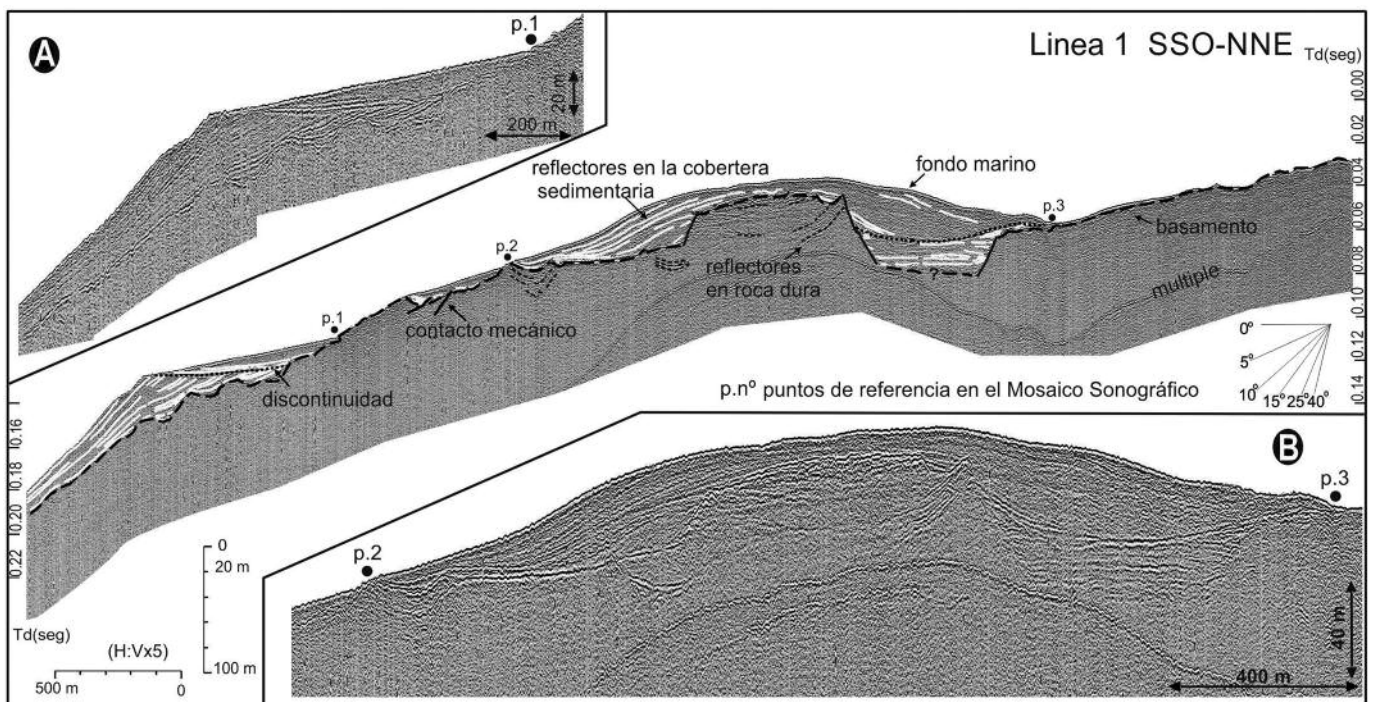


Fig. 2.- Perfil sísmico interpretado de la Línea 1 (ver localización en Fig. 1B); (A y B) detalles de partes del perfil sísmico sin interpretar.  
 Fig. 2.- Interpretation of the seismic profile Line 1 (see location in Fig. 1B); (A and B) parts of uninterpreted seismic profile.

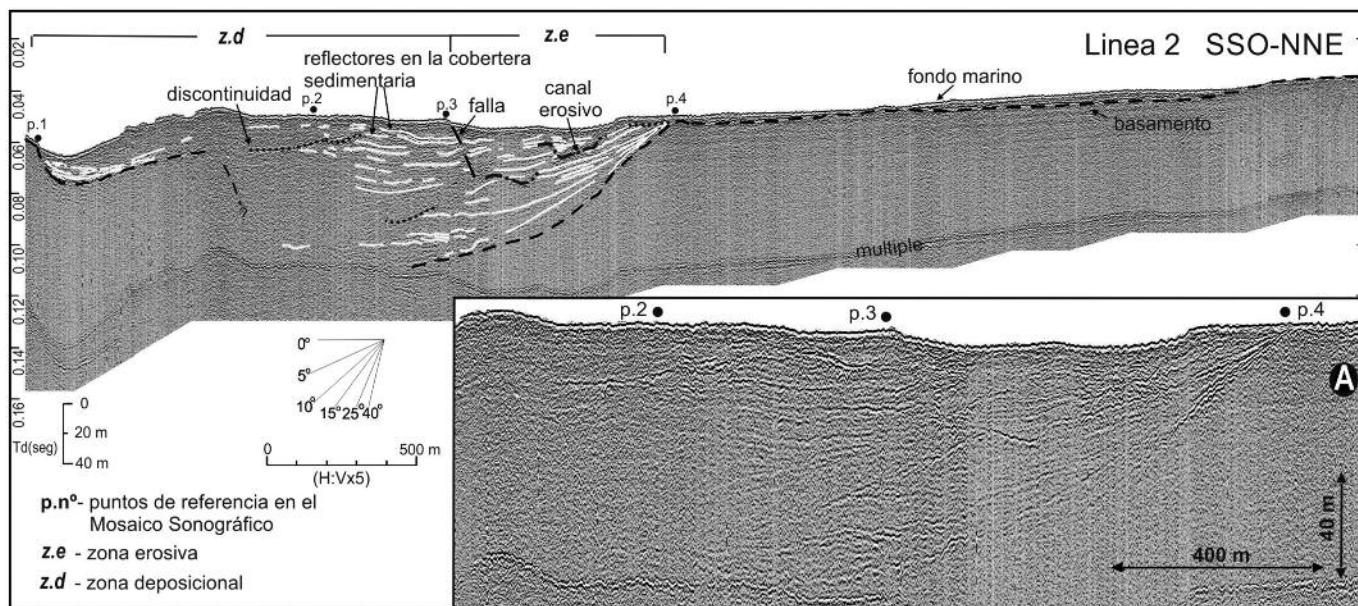


Fig. 3.- Perfil sísmico interpretado de la Línea 2 (ver localización en Fig. 1B); (A) detalle del perfil sin interpretar.  
 Fig. 3.- Interpretation of the seismic profile Line 2 (see location in Fig. 1B); (A) part of uninterpreted seismic profile.

**Discusión y conclusiones**

Los depocentros observados se atribuyen a diferencias en el comportamiento tectónico de este margen continental originado después de la apertura del Estrecho de Gibraltar. La cobertera sedimentaria post-orogénica fosiliza un basamento fallado constituido principalmente por materiales del Complejo de los Flysch en la línea sísmica 1. Estas fallas se relacionan con las estructuras de estiramiento paralelas al Arco observadas en los relieves residuales del prisma de acreción del Arco de Gibraltar de edad Mioceno Superior-Plioceno (Balanyá *et al.*, 2012). El paleovalle y su potente relleno observado en la línea sísmica 2 estarían condicionados por el carácter subsidente de la Ensenada de Bolonia (Zazo *et al.*, 1999), localizada justo al oeste de este depocentro. Esta ensenada presenta tasas de movimiento verticales casi nulas en los últimos 128 ka (Zazo *et al.*, 1999). Las fluctuaciones del nivel del mar quedan reflejadas en estos depósitos post-orogénicos por superficies erosivas, la más significativa de las cuales sería el resultado de la exposición subaérea que sufre la plataforma continental y que marca el último máximo glaciar hace 20 ka.

Desde el punto de vista hidrodinámico, las condiciones existentes en este intervalo plio-cuaternario fueron muy parecidas a las actuales (Nelson *et al.*, 1999). Al este del

Bajo de los Cabezos, sobre el margen continental las masas de aguas superficiales atlánticas se ven afectadas por un remolino que las retrasa (Bruno *et al.*, 2013), favoreciendo un ambiente sedimentario de depósito para los materiales que transportan. Este control oceanográfico favorece el desarrollo de campos de dunas submarinas principalmente norteadas, probablemente influenciadas por la trayectoria que siguen las corrientes superficiales atlánticas hacia el Estrecho.

Podemos concluir que la localización y acumulación de los depósitos plio-cuaternarios está controlada por los eventos tectónicos/eustáticos ocurridos en el área del Estrecho de Gibraltar. Asimismo, la sedimentación reciente está claramente influenciada por el régimen hidrodinámico que prevalece en esta área. Estos factores de control muestran una variabilidad espacial y temporal a lo largo del margen septentrional del Estrecho de Gibraltar.

**Agradecimientos**

Este estudio se realizó gracias a los datos cedidos por S.E.C.S.A. y es una contribución al proyecto de investigación CGL2011-30302 y al grupo de la Junta de Andalucía RNM-373. La información de corrientes ha sido proporcionada en el marco del proyecto de investigación CTM2008-06124-MAR. Por último agradecer a los re-

visores Drs. J.C. Balanyá y J.A. Morales sus sugerencias y comentarios para la mejora del manuscrito.

**Referencias**

Balanyá, J.C. y García Dueñas, V. (1988). En: *II Congreso Geológico de España. Simposium Cinturones Orogénicos*, 35-44.

Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I., Torcal, F., Pérez-Peña, V. y Booth-Rea, G. (2012). *Geologica Acta* 10, 249-263.

Bruno, M., Chioua, J., Romero, J., Vázquez, A., Macías, D., Dastis, C., Ramírez-Romero, E., Echevarria, F., Reyes, J. y García, C.M. (2013). *Progress in Oceanography* 116, 66-79.

Goy, J.L., Zazo, C., Silva, P.G., Lario, J., Bardají, T. y Somoza, L. (1995). En: *IV Coloquio Internacional sobre el enlace fijo del Estrecho de Gibraltar*, Sevilla, 51-69.

Martín, J.M., Braga, J.C., Sánchez-Almazo, I.M. y Aguirre, J. (2012). En: *Carbonate Systems during the Oligocene-Miocene Climatic Transition* (M. Mutti, W. Piller y C. Betzler, Eds.). International Association of Sedimentologists Special Publication, Blackwell, Oxford, 49-89.

Nelson, C.H., Baraza, J., Maldonado, A., Rodero, J., Escutia, C. y Barber, Jr. J.H. (1999). *Marine Geology* 155, 99-129.

Sandoval, N.G., Izquierdo, F.J. y Sanz, J.L. (1995). En: *IV Coloquio Internacional sobre el enlace fijo del Estrecho de Gibraltar*, Sevilla, 9-18.

Zazo, C., Silva, P.G., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Lario, J., Bardají, T. y González, A. (1999). *Tectonophysics* 301, 95-109.