

Estratigrafía sísmica de la plataforma continental de Alicante (segmento norte)

Seismic stratigraphy of the Alicante continental shelf (north segment)

Juan Peral, Fernando Pérez Valera, José Enrique Tent-Manclús y Jesús Miguel Soria

Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Ap. 99, E-03080 Alicante, España.
juan.peral@ua.es, fperez@ua.es, je.tent@ua.es, jesus.soria@ua.es

ABSTRACT

Through multichannel seismic lines and boreholes, in the Alicante continental shelf three lithoseismic units have been differentiated: Tortonian-Messinian (T-M), M horizon (M) and Pliocene-Quaternary (P-Q). The T-M Unit (pre-evaporitic stage) is formed by planktonics rich sediments. In this unit the seismic reflectors exhibit evidence of a sinsedimentary tectonic activity (growth strata) that generates structural highs and individualizes perched basins. The M horizon (evaporitic stage of the Messinian) is constituted by lithological pairs of gypsum and marl deposited in the perched basins at different bathymetry. The P-Q Unit (post-evaporitic stage) forms a prograding sedimentary prism where the brinkpoints of the clinofolds are ascending over time. This unit starts in the basal Pliocene with planktonics rich sediments and reflects the reflooding and sea level rise of the Mediterranean after the Messinian Salinity Crisis.

Key-words: seismic stratigraphy, continental shelf, Alicante, upper Miocene - Pliocene, Mediterranean Sea.

RESUMEN

Con base en perfiles de sísmica multicanal y sondeos, en la plataforma continental de Alicante se han diferenciado tres unidades litosísmicas: Tortoniano-Messiniense (T-M), horizonte M (M) y Plioceno-Cuaternario (P-Q). La Unidad T-M (etapa pre-evaporítica) está formada por sedimentos ricos en organismos planctónicos. En esta unidad los reflectores sísmicos exhiben evidencias de una tectónica sinsedimentaria (secuencias de crecimiento) que genera altos estructurales e individualiza cuencas colgadas. El horizonte M (etapa evaporítica del Messiniense) está constituido por pares litológicos de yeso y margas depositados en el seno de cuencas colgadas a diferente batimetría. La Unidad P-Q (etapa post-evaporítica) forma un prisma sedimentario progradante donde los brinkpoints de las clinofórmulas son ascendentes a través del tiempo. Esta unidad se inicia en el Plioceno basal con sedimentos ricos en organismos planctónicos y refleja la reinundación y ascenso del nivel del mar del Mediterráneo tras la Crisis de Salinidad del Messiniense.

Palabras clave: estratigrafía sísmica, plataforma continental, Alicante, Mioceno superior - Plioceno, Mar Mediterráneo.

Geogaceta, 64 (2018), 167-170
 ISSN (versión impresa): 0213-683X
 ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 7 de julio de 2017
 Revisión: 16 de abril de 2018
 Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

La plataforma continental de Alicante es un dominio clave para comprender la evolución de los márgenes del Mediterráneo Occidental durante el Neógeno y Cuaternario. En este trabajo se presentan nuevos datos acerca de la organización estratigráfica del subsuelo marino, procedentes de líneas sísmicas y sondeos de exploración de hidrocarburos. Los resultados obtenidos son el punto de partida para correlacionar los registros marinos con los equivalentes que afloran en sectores actualmente emergidos, como es caso de la cuenca del Bajo Segura (Alfaro *et al.*, 2002; Peral Lozano y Soria, 2017).

Contexto geológico y físico

La plataforma continental de Alicante presenta 25-30 km de anchura media y se extiende hasta 200 metros de profundidad (Catafau Alcántara *et al.*, 1994), donde tiene lugar el cambio de pendiente que da paso al talud. El segmento norte de plataforma, desde Alicante hasta el Cabo de la Nao, se ubica sobre unidades del dominio Prebético (Zonas Externas de la Cordillera Bética) (Yébenes *et al.*, 2002). Al sur de Alicante, la plataforma representa la prolongación de la cuenca del Bajo Segura (Alfaro *et al.*, 200), cuyo basamento corresponde mayoritariamente al complejo Alpujarride (Zonas In-

ternas de la Cordillera Bética). En la plataforma de Alicante, igual que en el Promontorio Balear y Golfo de Valencia, se encuentran representadas tanto las evaporitas relacionadas con la Crisis de Salinidad del Messiniense como los depósitos que marcan la reinundación del Plioceno (Martínez del Olmo, 1996). Este trabajo se centra en el estudio de las unidades del Mioceno superior y Plioceno que rellenan el segmento norte de plataforma, donde el basamento pre-Mioceno define un surco estructural de orientación E-O denominado como cuenca de Alicante (Catafau Alcántara *et al.*, 1994) o cuenca de Elche (Maillard y Mauffret, 2013; Driussi *et al.*, 2014).

Metodología

El registro estratigráfico ha sido reconocido mediante dos fuentes de información: la red de líneas sísmicas multicanal S81B para exploración de hidrocarburos realizada en 1981 por la compañía Exxon Exploration, y los sondeos de exploración de hidrocarburos MU1 (Muchamiel – 1) y A1 perforados en los años 1981 y 1984, respectivamente, por la compañía Esso Exploration Inc. (Fig. 1). De la amplia red de líneas sísmicas disponibles, se han seleccionado aquellas posicionadas sobre sondeos, o muy cercanas a ellos, para así caracterizar la litología de las unidades sísmicas (Figs. 1 y 2).

Estratigrafía Sísmica: resultados y discusión

Con base en la información de subsuelo marino, se han diferenciado cuatro unidades litosísmicas, que en sentido ascendente son: B (Basamento), Unidad T-M (Tortonense – Messiniense), horizonte M (Unidad Evaporí-

tica del Messiniense) y Unidad P-Q (Plioceno-Cuaternario).

El Basamento está representado por reflectores muy deformados y en ocasiones poco marcados, que litológicamente corresponden a calizas y margas del Cretácico Inferior y Superior. Está estructurado en altos y surcos que individualizan dos cuencas a diferente profundidad (denominadas como cuencas colgadas I y II) que están rellenas por la Unidad T-M y el horizonte M.

La Unidad T-M ocupa la parte inferior de las cuencas colgadas. Corresponde tanto a las secuencias deposicionales M5 y M6 del Golfo de Valencia (Martínez del Olmo, 1996, 2011a) como a la *pre-MSC Unit* (Maillard y Mauffret, 2013). En esta unidad los reflectores están mejor definidos que en el Basamento y muestran un patrón de apilamiento agradante, solapando los márgenes de las cuencas. En estos márgenes, los reflectores exhiben secuencias de crecimiento (o rellenos divergentes) en relación con fallas que limitan los altos del basamento (ver líneas S81B 46 y 54 de la figura 1). Este rasgo indica que la creación de los altos

estructurales ocurre al tiempo de la sedimentación de la Unidad T-M. El espesor de la unidad es muy variable, en gran medida condicionado por la morfología irregular del basamento. En cuanto a la litología, está mayoritariamente representada por margas, con contenidos menores de limos y arcillas. La abundante microfauna planctónica ha permitido establecer de forma precisa su edad; según el estudio bioestratigráfico realizado por Ochoa *et al.* (2015a, b) en el sondeo MU1, esta unidad abarca la parte superior del Tortonense y el Messiniense (Figs. 1 y 2). Esta datación permite su correlación con la Formación Torremendo (sintema T-MI) de la Cuenca del Bajo Segura (Peral Lozano y Soria, 2017), sin descartar que puedan estar representadas otras formaciones infrayacentes del Tortonense. La Unidad T-M es el registro de la etapa pre-evaporítica del Mediterráneo, previa al inicio de la Crisis de Salinidad del Messiniense.

El horizonte M deriva en su denominación de Biscaye *et al.* (1972) y Ryan (1973), autores que lo atribuyeron al techo de la Unidad Evaporítica en el centro del Mediterráneo. Interesa

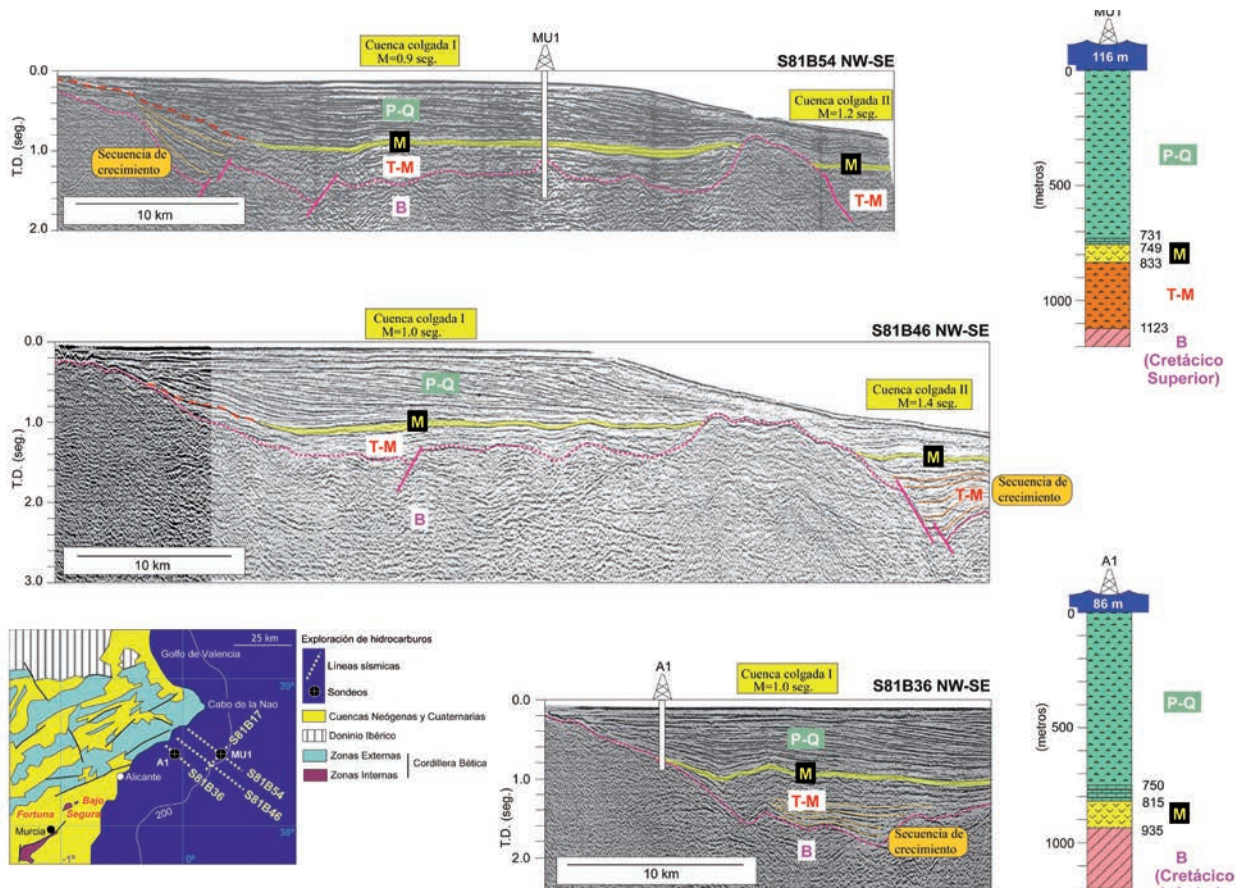


Fig. 1- Unidades litosísmicas reconocidas en la plataforma continental de Alicante a partir de líneas sísmicas (tiempo doble en segundos) y sondeos. Nótese la distribución de la Unidad T-M y el horizonte M en dos cuencas colgadas a diferente batimetría, así como la geometría progradante del prisma sedimentario P-Q. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Lithoseismic units recognized in the Alicante continental shelf from seismic lines (two-way travel time in seconds) and wells. Note the distribution of the T-M Unit and M horizon in two perched basins at different bathymetry, as well as the prograding geometry of the P-Q sedimentary prism. See color figure in the web.

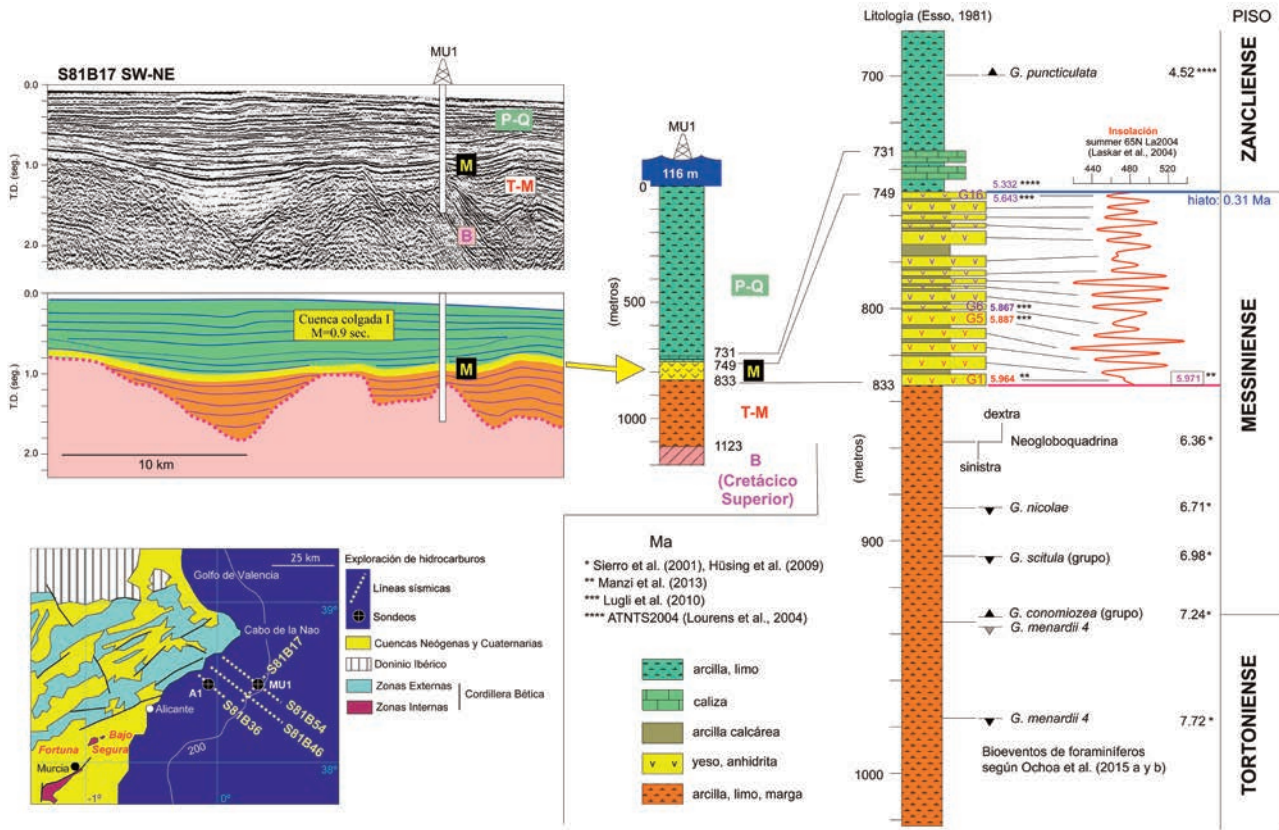


Fig. 2.- Expresión sísmica, litología y calibración temporal del horizonte M (Unidad Evaporítica del Messiniense). Ver referencias para las edades (Ma) de los bioeventos y ciclos de insolución La2004. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Seismic expression, lithology and age calibration of the M horizon (Evaporitic Unit of the Messinian). See references for ages (Ma) of bioevents and insolation cycles La2004.

señalar que el reconocimiento de este horizonte fue uno de los principales objetivos de las perforaciones realizadas durante el Leg 13 del *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) (Ryan, 2009), cuando se obtuvieron por primera vez testigos de las evaporitas bajo las llanuras abisales del Mediterráneo. En la plataforma de Alicante, el horizonte M está expresado por un reflector de fuerte contraste (ca. 0,1 segundos de espesor en TD) y gran extensión que se superpone tanto sobre la Unidad T-MI como sobre el Basamento. Corresponde a las "thin evaporites" de la MSC Unit del Promontorio Balear (Maillard and Mauffret, 2013; Driussi et al., 2014). En el Golfo de Valencia la unidad equivalente es la secuencia deposicional M7 (evaporitas someras de margen) de Martínez del Olmo (1996, 2011a). Este horizonte nunca forma parte de las secuencias de crecimiento de la Unidad T-M, lo que indica que su génesis ocurrió una vez plenamente configurados los altos estructurales y las cuencas colgadas I y II. En la cuenca colgada I se presenta a una profundidad de 0,9 – 1,0 segundos (TD – tiempo doble), mientras que en la cuenca colgada II su profundidad es de 1,2 – 1,4 segundos (TD). En valores medios, la diferencia de profundidad

entre ambas cuencas es de 0,3 segundos. En la plataforma de Alicante, el horizonte M, que representa la Unidad Evaporítica en el subsuelo marino somero, ha sido perforado por los sondeos A1 y MU1. En el primero, donde reposa directamente sobre el Basamento, está representado por una sucesión de 120 metros de espesor en la que alternan sulfatos (yeso y anhidrita) y arcillas y margas ricas en materia orgánica. La ausencia de diagráfias y de un registro litológico detallado impide conocer el número y espesor de estos pares litológicos; aun así, su correlación con la Formación San Miguel es evidente, especialmente en lo referente al carácter sapropelítico de los tramos inter-evaporíticos. En el sondeo MU1, donde el horizonte M se superpone sobre la Unidad T-M, está constituido por una sucesión de 84 metros de espesor y de composición litológica igual a la del sondeo A1. En el sondeo MU-1, a partir del registro litológico y de las diagráfias sónica, de resistividad eléctrica y de rayos gamma incluidas en el *well completion log* de Esso (1981), se reconocen 16 bancos evaporíticos. Para Ochoa et al. (2015a) son 14 bancos; si bien nosotros mantenemos el número de 16. Esta diferencia es explicable por la complejidad

de las diagráfias hacia el techo de la unidad. Estos bancos han sido enumerados como G1 – G16 (Fig. 2) siguiendo el mismo criterio que para la Formación San Miguel (sintema MII) en la cuenca del Bajo Segura (Peral et al., 2018). La alternancia de bancos evaporíticos e inter-evaporíticos se interpreta en los mismos términos que la Formación San Miguel, por lo que se asigna a ciclos de insolución de periodicidad precesional. Asumiendo la cronología de los ciclos evaporíticos propuesta por Lugli et al. (2010) para el *Primary Lower Gypsum*, el banco G16 con el que termina la Unidad Evaporítica data 5,643 Ma. Sobre este banco reposan los sedimentos basales del Zancliense con una edad de 5,332 Ma. Esta diferencia de edad indica una laguna estratigráfica de 0,31 Ma para el límite entre el horizonte M y la Unidad P-Q, valor similar al obtenido para la discontinuidad fini-Messiniense en el sondeo de tierra LM (Peral et al., 2018). El horizonte M es el registro de la Crisis de Salinidad del Messiniense, cuyo inicio es sincrónico a una edad de 5,91 Ma (Lugli et al., 2010; Ochoa et al., 2015a) en todo el ámbito del Mediterráneo.

La Unidad P-Q se superpone tanto sobre el horizonte M como sobre los altos estructurales

del Basamento. Está representada por un cuerpo de reflectores muy bien definidos que exhiben una geometría de clinoformas sigmoidales progradantes en la mayor parte del mismo. El *brink-point* de las sucesivas clinoformas muestra una clara tendencia ascendente con el tiempo, registrando una progresiva subida del nivel del mar. Esta unidad es correlacionable con la secuencia deposicional M8-P1 del Golfo de Valencia (Martínez del Olmo, 1996, 2011a), con las secuencias deposicionales M8-P1 y P-C del sondeo Torre Vieja Marino C1 (Martínez del Olmo, 2011b), así como con los prismas sedimentarios progradantes de edad Plioceno y Cuaternario documentados en el Golfo de León (Duvail *et al.*, 2005; Lofi *et al.*, 2005). Para el caso de la plataforma de Alicante, y según los datos de los sondeos A1 y MU1, en la cuenca colgada I el espesor máximo de la Unidad P-Q varía entre 749 y 815 metros, respectivamente, si bien alcanza valores algo superiores en otros puntos de esta cuenca. Desde el punto de vista litológico, las columnas de los sondeos indican que la parte inferior de esta unidad está representada por un tramo de 20–60 metros de espesor compuesto de calizas y margas con abundante microfauna planctónica. El resto de la sucesión está dominada por margas, arcillas y limos, también ricos en fauna planctónica. La edad de la Unidad P-Q ha sido determinada únicamente en su parte inferior; según la bioestratigrafía de foraminíferos planctónicos realizada por Ochoa *et al.* (2015a, b) en el sondeo MU1 (Fig. 2), los primeros 330 metros de esta unidad corresponden al Zancienense (entre 5,33 y 3,58 Ma). Aún sin disponer de criterios bioestratigráficos precisos, el tramo basal es correlacionable con los primeros ciclos de carbonatos y margas que marcan el inicio del Zancienense (5,332 Ma) en otras secciones del dominio Mediterráneo donde el límite Messiniense/Zancienense está bien caracterizado (Pierre *et al.*, 2006). Esta unidad es equivalente en parte con el sintema P de la Cuenca del Bajo Segura, en el cual está registrada la base del Plioceno (Corbí *et al.*, 2016). En síntesis, la Unidad P-Q constituye la última fase de relleno sedimentario de las cuencas colgadas tras la sedimentación de la Unidad Evaporítica, y registra la construcción de las plataformas del Mediterráneo Occidental con su actual morfología. El inicio de la sedimentación de la Unidad P-Q marca el evento de reinundación del Mediterráneo tras la Crisis de Salinidad del Messiniense.

Conclusiones

El segmento norte de la plataforma continental de Alicante contiene tres unidades lito-

sísmicas: T-M, M y P-Q, correlacionables con los sintemas T-MI, MII y P de la Cuenca del Bajo Segura. Tanto las unidades litosísmicas del subsuelo marino como los sintemas aflorantes son la expresión de las tres estapas mayores de la Crisis de Salinidad del Mediterráneo: pre-evaporítica (o pre-Crisis), evaporítica (Crisis) y post-evaporítica (post-Crisis). El horizonte M corresponde al *Primary Lower Gypsum*, depositado en cuencas colgadas a diferente batimetría que previamente quedaron configuradas por la actividad tectónica sinsedimentaria registrada durante la acumulación de la Unidad T-M.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco del grupo de Investigación "Cambios Paleambientales" de la Universidad de Alicante. Agradecemos al Servicio Nacional de Hidrocarburos, a la Dirección General de la Energía, del Ministerio de Industria y Energía de España, el acceso al *Spanish Seismic Records* y a los informes de los sondeos A1 y MU1. Agradecemos también la revisión efectuada por la Dra. María Luján y por el Dr. Luis Somoza.

Referencias

- Alfaro, P., Delgado, J., Estévez, A., Soria, J.M. y Yébenes, A. (2002). *Marine Geology* 186, 337-349.
- Biscaye, P.E., Ryan, W.B.F. y Wezel, F.C. (1972). En: *The Mediterranean Sea* (D.J. Stanley, Ed.). Dowden, Hutchinson & Ross, Inc, Stroudsburg, PA, 83–90.
- Catafau Alcántara, E., Gaytán de Ayala y Bolín, M., Pereda Alonso, I., Vázquez Garrido, J.T. y Wandossell Santamaría, J. (1994). *Mapa geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas adyacentes. Escala 1:200 000. Hoja nº 72-73 (Elche-Alicante)*. ITGE, Madrid, 73 p.
- Corbí, H., Soria, J.M., Lancis, C., Giannetti, A., Tent-Manclús, J.E. y Dinarès-Turell, J. (2016). *Marine Geology* 379, 246-266.
- Driussi, O., Maillard, A., Ochoa, D., Lofi, J., Chancier, F., Gaullier, V., Briaies, A., Sage, F., Sierro, F. y García, M. (2014). *Marine and Petroleum Geology* 66, 41-54.
- Duvail, C., Gorini, C., Lofi, J., Le Strat, P., Clauzon, G. y dos Reis, A.T. (2005). *Marine and Petroleum Geology* 22, 747-756.
- Hüsing, S.K., Kuiper, K., Link, W., Hilgen, F. y Krijgsman, W. (2009). *Earth and Planetary Science Letters* 282, 140-157.

- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A.C.M. y Levrard, B. (2004). *Astrophysics & Astrophysics* 428, 261-285.
- Lofi, J., Gorini, C., Berné, S., Clauzon, G., dos Reis, A.T., Ryan, W.B.F. y Steckler, M.S. (2005). *Marine Geology* 217 (1-2), 1-30.
- Lourens, L., Hilgen, F., Shackleton, N.J., Laskar, J. y Wilson, D. (2004). En: *A Geologic Time Scale* (F.M. Gradstein, J.G. Ogg y A.G. Smith, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 409-440.
- Lugli, S., Manzi, V., Roveri, M. y Schreiber, B.C. (2010). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 83-99.
- Maillard, A. y Mauffret, A. (2013). *Tectonophysics* 591, 116-130.
- Manzi, V., Gennari, R., Hilgen, F., Krijgsman, W., Lugli, S., Roveri, M. y Sierro, F.J. (2013). *Terra Nova* 25, 315-322.
- Martínez del Olmo, W. (1996). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 9, 67-116.
- Martínez del Olmo, W. (2011a). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 24, 237-257.
- Martínez del Olmo, W. (2011b). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 24, 73-185.
- Ochoa, D., Sierro, F.J., Lofi, J., Maillard, A., Flores, J.A. y Suárez, M. (2015a). *Earth and Planetary Science Letters* 427, 112-124.
- Ochoa, D., Sierro, F.J., Lofi, J. y Flores, J.A. (2015b). En: *Mediterranean - Atlantic Gateways (Neogene to Present)*. RCNMS Interim Colloquium, Rabat, Marruecos.
- Peral, J.J., Corbí, H., Pérez Valera, F., Soria, J.M. y Tent-Manclús, J.E. (2018). *Geogaceta* 63, 3-6.
- Peral Lozano, J. y Soria, J.M. (2017). *Geogaceta* 62, 39-42.
- Pierre, C., Caruso, A., Blanc-Valleron, M.M., Rouchy, J.M. y Orszag-Sperber, F. (2006). *Sedimentary Geology* 188-189, 319-340.
- Ryan, W.B.F. (1973). En: *Messinian Events in the Mediterranean* (C.W. Drooger, Ed.). North-Holland Publ. Co., Amsterdam, Netherlands, 26-38.
- Ryan, W.B.F. (2009). *Sedimentology* 56, 95-136.
- Sierro, F., Hilgen, F., Krijgsman, W. y Flores, J. (2001). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 168, 141-169.
- Yébenes, A., Alfaro, P., Delgado, J., Estévez, A. y Soria, J.M. (2002). *Geomorphology* 42, 197-211.