

Variaciones en el registro isotópico del carbono en dos secciones de edad Aptiense inferior en la zona de transición entre el Subbético Externo y el Subbético Medio (Cordilleras Béticas, Provincia de Jaén)

Variations in the isotopic carbon record from two lower Aptian sections belonging to the External –Middle Subbetic transition (Betic Cordillera, Jaén Province)

G.A. de Gea ⁽¹⁾, R. Aguado ⁽²⁾ y J.M. Castro ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales, 23071 Jaén. gadegea@ujaen.es; jmcastro@ujaen.es

⁽²⁾ Departamento de Geología Universidad de Jaén, Escuela Politécnica Superior, 23700 Linares (Jaén). raguado@ujaen.es

ABSTRACT:

The lower Aptian pelagic and hemipelagic sediments of the Carbonero Fm were deposited in the Southern Iberian Palaeomargin, within the transition between the External to Middle Subbetic palaeogeographic domains. The concrete area of deposition was a subsiding sector bounded by faults. A stratigraphic and sedimentological study of two nearby sections from this area (Solana de Morales and La Frontera) has revealed the existence of notable differences in their stratigraphic record, which are interpreted in terms of a different sedimentary context. Both sections include a lower Aptian episode of black shales, which is interpreted to represent the local record of the Oceanic Anoxic Event 1a (OAE1a). The $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ curves from both sections can be easily correlated, and also a good correlation is observed with respect to curves from other areas, which record the global carbon cycle perturbation related with the OAE1a. The discrepancies in the isotopic $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ record between the two sections are interpreted in terms of local differences in the sedimentary environment.

Key words: Carbon isotopes, Carbonero Formation, Subbetic, Early Aptian, OAE1a.

Geogaceta, 44 (2008), 191-194

ISSN: 0213683X

Introducción y contexto geológico

Las variaciones en la relación isotópica del carbono en sedimentos marinos reflejan cambios en la composición isotópica de la reserva global de carbono cambiante en el reservorio atmosférico, terrestre y oceánico (Gröcke *et al.*, 1999; Menegatti *et al.*, 1998). Estas variaciones han sido documentadas con gran detalle en sedimentos pelágicos y hemipelágicos en diferentes lugares y periodos de tiempo. El Cretácico inferior es uno de los principales objetivos del estudio del registro isotópico del carbono ya que revela importantes excursiones dentro de la curva, correlacionables en ocasiones a escala global. Generalmente, las grandes excursiones positivas del registro isotópico del carbono $>1.5\text{‰}$ tienden a coincidir con la formación de *black shales* a escala global, como por ejemplo las ligadas al Evento Anóxico Oceánico del Aptiense inferior (OAE1a). Además, el estudio de la curva de $\delta^{13}\text{C}$ es una herramienta excepcional de correlación estratigráfica a escala re-

gional y global para el Cretácico inferior (Menegatti *et al.*, 1998; Gea *et al.*, 2003). Por tanto, el uso de la curva isotópica del carbono tiene un gran interés en la reconstrucción de cambios bióticos y paleoceanográficos y en la correlación regional y global de niveles de *black shales* en diferentes ambientes marinos.

En este trabajo presentamos las curvas isotópicas del carbono de dos secciones (Solana de Morales y La Frontera) situadas ambas en la zona de tránsito entre el Subbético Externo y el Subbético Medio de las Zonas Externas de la Cordillera Bética, al sur de Jaén (Fig. 1A). Ambas secciones están caracterizadas por contener un intervalo de *black shales* de edad Aptiense inferior, el cual se incluye dentro de la Fm. Carbonero, y se interpretan como el registro local del OAE1a. Los materiales de la Fm. Carbonero se depositaron en un sector de la cuenca subbética delimitado por fallas, afectado por una importante subsidencia (Fig. 1B), (Gea, 2004). En este estudio se relacionan las diferencias existentes entre

las curvas isotópicas del carbono de ambas secciones, con la posición paleogeográfica que dentro de la cuenca subbética ocuparon durante el Aptiense inferior.

Análisis estratigráfico

Se han estudiado los materiales pelágicos de edad Barremiense terminal-Aptiense inferior de dos secciones estratigráficas (Solana de Morales y La Frontera) pertenecientes a la parte alta de la Fm. Carretero y a la Fm. Carbonero (Fig. 2). En ambos afloramientos la Fm. Carretero está constituida por una alternancia de margocalizas y margas de edad Barremiense superior (Zona de *Micrantholithus hoschulzii* de nanofósiles). Sobre esta formación y precedida de una discontinuidad se dispone la Fm. Carbonero, la cual presenta una rica variedad de facies y rasgos sedimentarios que se interpretan en su conjunto como ligados a condiciones anóxicas. Esta formación, definida por Molina (1987), muestra notables diferen-

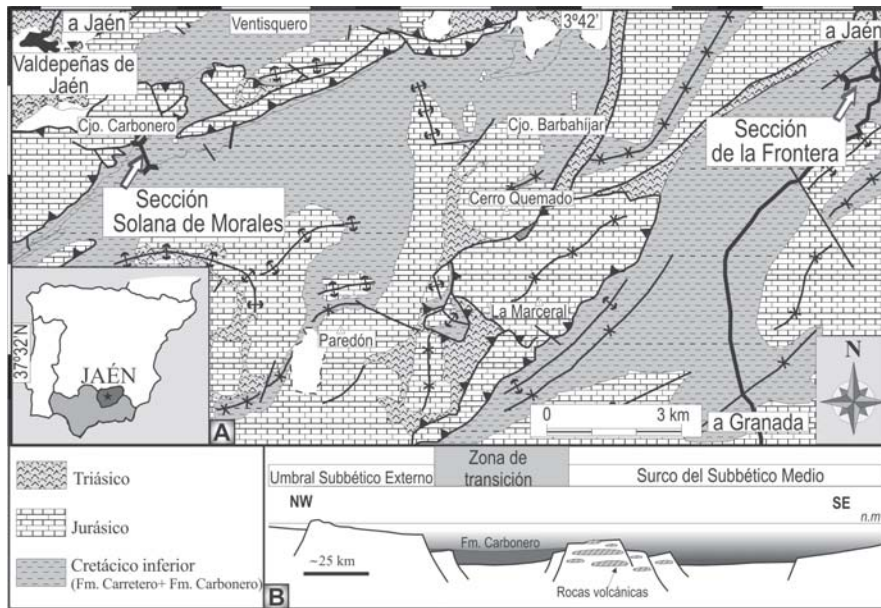


Fig. 1.- A) Localización geográfica y geológica de las secciones estudiadas. B) Sección paleogeográfica de las áreas de transición entre el umbral del Subbético Externo y el surco del Subbético Medio durante el depósito de la Fm. Carbonero.

Fig. 1.- A) Geographical and geological location of the studied sections. B) Paleogeographic section of the transition areas between External Subbetic swell and Middle Subbetic trough during the deposit of the Carbonero Fm.

cias de facies y espesores en ambas secciones. En la sección de Solana de Morales (sección tipo) la Fm. Carbonero está representada por tres miembros cuyos límites coinciden con notables cambios litológicos (Gea, 2004). El miembro inferior está compuesto por margas gris azuladas con algunas intercalaciones de niveles turbidíticos, cuya edad corresponde a la parte media del Aptiense inferior (parte media de la Zona de *Hayesites irregularis* de nanofósiles). Este miembro inferior no está representado en la sección de La Frontera. En la sección de Solana de Morales sobre este miembro inferior aflora un potente tramo de arcillas negras (*black shales*) con intercalaciones de radiolaritas, concreciones de carbonatos, cineritas y megabrechas. Este miembro medio, cuya base registra el comienzo de la «*nannoconid crisis*», ha sido atribuido a la parte alta de la Zona de *Hayesites irregularis* de nanofósiles, de edad correspondiente a la parte alta del Aptiense inferior. En la sección de La Frontera este miembro medio está constituido por un tramo de arcillas negras en el que están ausentes el resto de facies y rasgos sedimentarios identificados en la Sección de Solana de Morales. En la sección tipo de Solana de Morales, sobre el miembro medio se dispone un potente tramo de margas de color gris-verdoso con abundantes intercalaciones de turbiditas calcáreas. Este miembro superior ha sido atribuido, en su mayor parte, a la Zona de *Rhagodiscus angustus* de nanofósiles del Aptiense supe-

rior, caracterizada por la presencia de *Eprolithus floralis*. Por su parte, en la sección de la Frontera este miembro superior está representado por un tramo de margas verdes sin intercalaciones de turbiditas carbonatadas. Una caracterización estratigráfica, bioestratigráfica y sedimentológica más detallada se puede encontrar en Gea (2004).

Geoquímica isotópica

Las dos secciones estudiadas fueron muestreadas con objeto de realizar análisis isotópicos de carbono. En la sección de Solana de Morales se tomaron 45 muestras, y en la de La Frontera, un total de 42 (Fig. 2). En ambas secciones se utilizó un intervalo de muestreo variable, de acuerdo con las condiciones de afloramiento de los materiales. En ambos casos, el intervalo total muestreado es aproximadamente equivalente, y ha sido controlado mediante bioestratigrafía (ver apartado anterior). Comprende los niveles de la parte superior de la Fm Carretero, de edad Barremiense superior y la mayor parte de la Fm Carbonero (Aptiense inferior y parte baja del Aptiense superior). Los análisis han sido realizados en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad Autónoma de Madrid, donde se determinaron, sobre el total de carbonatos de cada muestra, el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{18}\text{O}$. Para ello, se han seguido los procedimientos estándar en el tratamiento de las muestras para análisis de este tipo. Los

resultados obtenidos están expresados en el estándar PDB.

En lo que respecta a la morfología general de las curvas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ obtenidas para cada una de las secciones (Fig. 2), ambas son muy similares. Muestran un tramo inferior, prácticamente recto, con valores muy constantes y con pocas oscilaciones, correspondiente a los materiales de la parte superior de la Fm. Carretero (Barremiense superior). En el siguiente tramo se observa una clara tendencia hacia la disminución de los valores del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ en ambas secciones, hasta alcanzar los valores mínimos observados dentro del intervalo de estudio, que se corresponde con la parte inferior de la Fm Carbonero (Aptiense inferior). A continuación, se produce un aumento brusco, (parte alta del Aptiense inferior) seguido por un intervalo con varias oscilaciones, pero con una tendencia general hacia la disminución de los valores del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (Aptiense superior). En ambas secciones, el inicio del depósito de facies pobres en oxígeno precede ligeramente al pico que registra los valores mínimos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, y se prolonga a lo largo del final del Aptiense inferior. Como diferencia más significativa entre ambas curvas, habría que destacar que, si bien el paralelismo de ambas curvas es claro, existe un desplazamiento general de los valores absolutos del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ hacia valores más bajos en la curva de la sección de Solana de Morales. Además existe una notable acentuación del pico correspondiente al mínimo en la curva de la sección de Solana de Morales, donde llegan a alcanzarse valores netamente negativos (en torno a -7.50‰), mientras que en la sección de La Frontera, los valores mínimos de la curva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, para niveles equivalentes, se sitúan en torno a 1.34‰. Con objeto de descartar que estas diferencias se debiesen a errores en el procesado de las muestras, todas las correspondientes a la sección de Solana de Morales fueron nuevamente analizadas en el Laboratorio de Geoquímica Isotópica de la Universidad de Lausana, utilizando procedimientos ligeramente diferentes y aparatos de medida distintos. Los resultados fueron, sin embargo, prácticamente idénticos, con diferencias que en ningún caso superaron el 0.3‰.

Discusión

De acuerdo con los datos sedimentológicos y bioestratigráficos (ver sección 2), el pico que registra los valores mínimos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ y el brusco incremento subsiguiente, corresponderían a la perturbación registrada a nivel global en relación

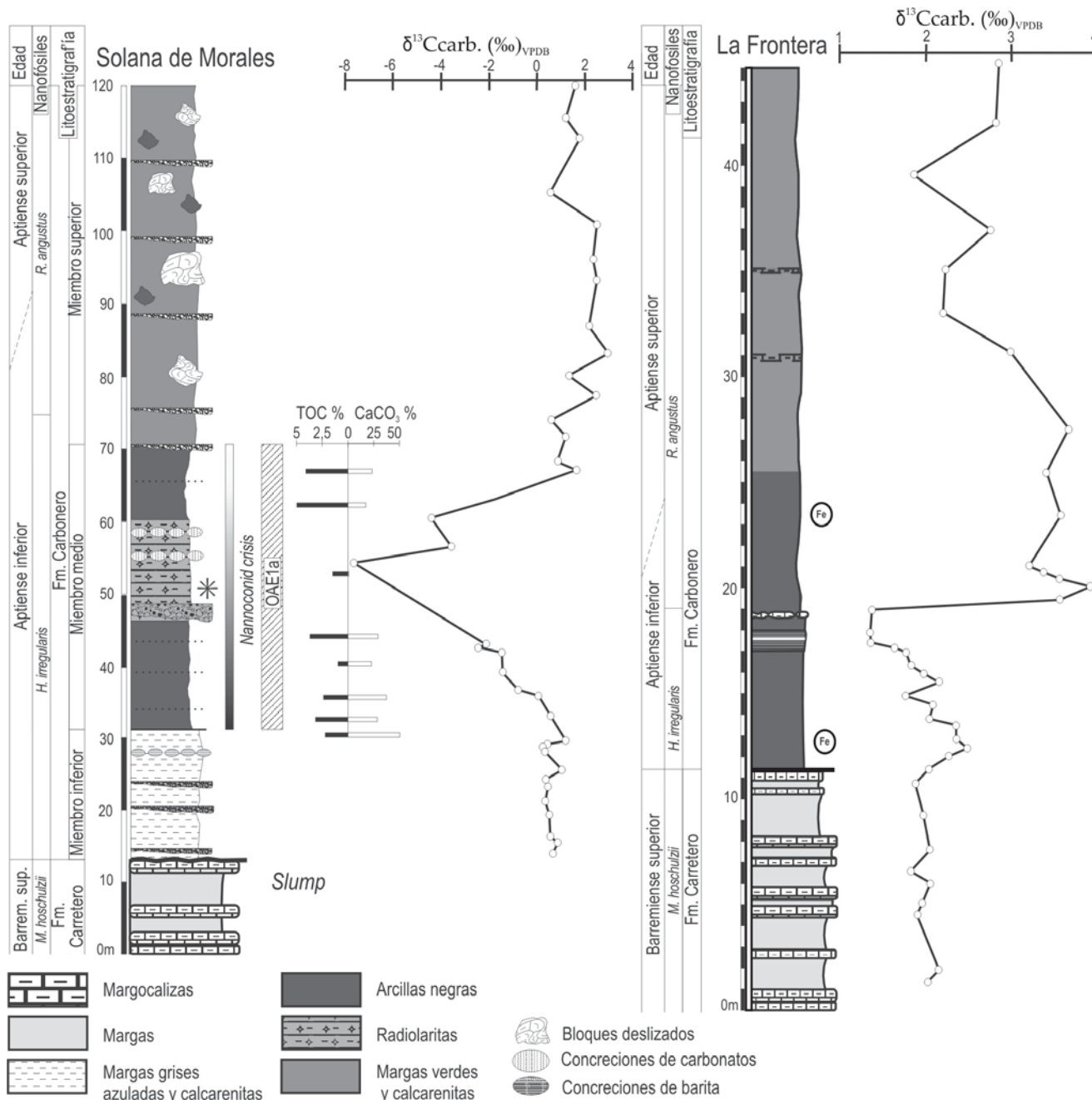


Fig. 2. Curvas isotópicas del carbono en dos secciones de la cuenca subbética en la zona de transición entre los dominios Subbético Externo y Subbético Medio de las Zonas Externas de la Cordillera Bética.

Fig. 2. Carbon isotopic curves in two section of the subbetic basin in the transition zone between External Subbetic and Middle Subbetic domains of the External Zones of the Cordillera Betic.

con el Evento Anóxico Oceánico 1a (OAE1a). Para este intervalo, el pico de la curva de $\delta^{13}C_{carb}$ correspondiente a los valores mínimos ha sido explicado como consecuencia de un incremento en la cantidad de CO₂ atmosférico resultado de un evento de superpluma del manto (Larson y Erba, 1999). Recientemente se han propuesto otras teorías que explicarían una entrada más brusca de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como son los procesos de desestabilización térmica de los hidratos de metano resultantes de la

transformación bacteriana de la materia orgánica previamente acumulada en los fondos marinos (Renard *et al.*, 2005). El brusco desplazamiento subsiguiente hacia valores más elevados de la curva del $\delta^{13}C_{carb}$ correspondería al resultado del enterramiento de cantidades notables de ¹²C (*black shales* y facies pobres en oxígeno) que quedarían retiradas del ciclo del carbono.

Cada uno de los tramos observados en las dos curvas isotópicas presentadas (Fig. 2), y descritos en el apartado anterior, pue-

den ser también identificados en curvas obtenidas, para el mismo intervalo temporal, en otras áreas como la Cordillera Bética (Gea *et al.*, 2003), Suiza (Menegatti *et al.*, 1998), SE Francia (Moullade *et al.*, 1998; Renard *et al.*, 2005), Italia (Erbacher y Thurow, 1997; Erba *et al.*, 1999) o el Pacífico Central (Jenkyns, 1995). Es pues, evidente, que las perturbaciones observadas en la curva de $\delta^{13}C_{carb}$ en el intervalo estudiado constituyen un excelente método de correlación a nivel global. Sin embargo, tal y como se ha puesto de manifiesto en el apar-

tado anterior, existen algunas diferencias muy significativas entre las curvas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ correspondientes a la sección de La Frontera junto con las publicadas para el mismo intervalo en otras áreas (Jenkyns, 1995; Menegatti *et al.*, 1998; Moullade *et al.*, 1998; Erba *et al.*, 1999; Renard *et al.*, 2005) y la de la sección de Solana de Morales. En efecto, la curva de la sección de Solana de Morales presenta un desplazamiento general hacia valores isotópicos más bajos, y valores isotópicamente muy ligeros ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ negativos) en el pico correspondiente a los valores mínimos (Fig. 2b). Este último aspecto realmente representa una singularidad en lo que respecta a las curvas isotópicas publicadas para este intervalo, y requiere una explicación.

Una vez descartada la posibilidad de errores en el procesado de las muestras (ver sección anterior), se pensó en la posibilidad de una alteración de tipo diagenético en las muestras de la sección de Solana de Morales. Sin embargo, una alteración de este tipo es poco probable, ya que, dada la variedad litológica presente en esta sección, habría alterado de forma muy desigual los valores isotópicos resultantes. Sin embargo, esto no es así porque, como ya hemos visto, la curva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ de esta sección es perfectamente correlacionable con las obtenidas en otras áreas, para la misma edad. Por otro lado, la covarianza de los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ y $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, utilizada generalmente como un índice de diagénesis (Corfield, 1995; Schmid-Röhl *et al.*, 2002; Godet *et al.*, 2006; Tremolada *et al.*, 2006; Duchamp-Alphonse *et al.*, 2007) es bastante baja ($r^2 = 0.122$), lo que, en principio apunta a que la señal isotópica preservada estaría poco alterada por los procesos diagenéticos.

El análisis de las diferentes facies observadas en la sección de Solana de Morales (ver apartado sobre análisis estratigráfico) implican su depósito en un área relativamente restringida, seguramente originada por fenómenos de tipo tectónico (Fig. 1B), (Gea, 2004). Las condiciones globales relacionadas con el OAE1a, junto con la característica local de la existencia de esta zona restringida, favorecieron la acumulación de cantidades notables de materia orgánica bajo el límite redox, en el área de Solana de Morales, hacia el final del Aptiense inferior. En el seno del agua del fondo anóxico, la degradación de la materia orgánica pudo continuar por medio de la acción de las bacterias reductoras de sulfatos, generando CO_2 isotópicamente más ligero. Eventualmente, este CO_2 rico en ^{12}C pudo ser incorporado a la precipitación de carbonatos, especialmente en ambientes restringidos, dando lugar carbonatos muy ligeros desde el

punto de vista isotópico (Röhl *et al.*, 2001). En lo referente al desplazamiento general hacia valores isotópicos más bajos observado en la sección de Solana de Morales, podría estar relacionado con su menor contenido en carbonatos. En efecto, en la sección de Solana de Morales no se han encontrado fósiles de foraminíferos planctónicos ni bentónicos, la proporción de carbonatos en los niveles margosos puede llegar a valores bajos (20%) y hay un intervalo radiolarítico. Por el contrario, en la sección de La Frontera, la proporción de carbonatos es comparativamente superior, ya que son comunes los restos fósiles de foraminíferos (planctónicos y bentónicos) en todo el intervalo y no hay depósitos radiolaríticos.

Conclusiones

Se presentan dos curvas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ para el intervalo Barremiense superior-parte baja del Aptiense superior, correspondientes a dos secciones próximas, situadas en la transición Subbético Externo-Subbético Medio. Ambas curvas registran la perturbación relacionada con el OAE1a, y son perfectamente correlacionables entre sí y con respecto a las publicadas para la misma edad en otros lugares como SE Francia, Italia, Suiza, Pacífico Central, etc. Esto demuestra la utilidad del estudio de las variaciones en el registro isotópico del carbono como una excepcional herramienta de correlación estratigráfica regional y global para el Cretácico inferior. Las particularidades y diferencias que presenta la curva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ de la sección de Solana de Morales pueden ser interpretadas como una consecuencia de su posición paleogeográfica dentro de la Cuenca Subbética, durante el Aptiense, en la parte central de un pequeño surco subsidente ligado a la tectónica extensiva que afectaba a la cuenca en esta época. Su mayor aislamiento, puesto de manifiesto a través del estudio sedimentológico y la reconstrucción paleogeográfica, posiblemente favoreció la acumulación de materia orgánica durante el OAE1a, su degradación anaeróbica, y la incorporación del CO_2 resultante, enriquecido en ^{12}C , a la producción de carbonatos isotópicamente ligeros.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2005-06636-c02-01/BTE y CGL2005-02500, y el Grupo de Investigación RNM-200 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Corfield, R.M. (1995). En: *Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils*. (D.W.J Boscence y P.A Allison, Eds.). Geological Society Special Publication, 83, 27-42.
- Duchamp-Alphonse, S., Gardin, S., Fiet, N., Bartolini, A., Blamart, D. y Pagel, M. (2007). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243, 132-151.
- Erba, E., Channell, J.E.T., Claps, M., Jones, C., Larson, R., Opdyke, B., Silva, I.P., Riva, A., Salvini, G. y Torricelli, S. (1999). *Journal of Foraminiferal Research*, 29, 371-391.
- Ebacher J. y Thurow J. (1997). *Marine Micropaleontology*, 30, 139-158.
- Gea, G.A. de (2004). *Bioestratigrafía y eventos del Cretácico Inferior en las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Servicio de Publicaciones de la Univ. de Jaén, Jaén, 658 p.
- Gea, G.A. de., Castro, J.M., Aguado, R., Ruiz Ortiz, P.A. y Company, M. (2003). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 200, 207-219.
- Godet, A., Bodin, S., Föllmi, K.B., Vermeulen, J., Gardin, S., Fiet, N., Adatte, T., Zsolt, B., Stüben, D. y van de Schootbrugge, B. (2006). *Earth and Planetary Science Letters*, 242, 254-271.
- Gröcke, D.R., Hesselbo, S.P. y Jenkyns, H.C. (1999). *Geology*, 27, 155-158
- Jenkyns, H.C. (1995). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 143, 99-104
- Larson, R. L. y Erba, E. (1999). *Paleoceanography*, 14, 663-678
- Menegatti, A.P., Weissert, H., Brown, R.S., Tyson, R.V., Farrimond, P., Strasser, A. y Caron, M. (1998). *Paleoceanography*, 13, 530-545.
- Molina, J.M. (1987). *Análisis de facies del Mesozoico en el Subbético Externo (Prov. de Córdoba y sur de Jaén)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada. 512 p
- Moullade, M., Kuhnt, W., Bergen, J.A., Masse, J.P. y Tronchetti, G. (1998). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, IIA*, 327, 693-698.
- Renard, M., de Raféls, M., Emmanuel, L., Moullade, M., Masse, J.P., Kuhnt, W., Bergen, J. y Tronchetti, G. (2005). *Carnets de Géologie*, 2005/04, 1-18.
- Röhl, H.J., Schmid-Röhl, A., Oschmann, W., Frimmel, A. y Schwark, L. (2001). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 165, 27-52.
- Schmid-Röhl, A., Röhl, H.J., Oschmann, W., Frimmel, A. y Schwark, L. (2002). *Gebios*, 35, 13-20.
- Tremolada, F., Erba, E., Van de Schootbrugge, B. y Mattioli, E. (2006). *Marine Micropaleontology*, 59, 197-209.