

Datación de niveles condensados: Precisiones cronoestratigráficas utilizando estratigrafía de isótopos de Sr

Sr isotope stratigraphy elucidates the age of condensed levels.

L.M. Nieto ⁽¹⁾, P.A. Ruiz-Ortiz ⁽¹⁾, J. Rey ⁽²⁾ y M.I. Benito ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Universidad de Jaén. 23071 Jaén. lnieto@ujaen.es, paruiz@ujaen.es

⁽²⁾ Departamento de Geología, E.U.P. de Linares, Universidad de Jaén. 23700 Linares. jrey@ujaen.es

⁽³⁾ Departamento de Estratigrafía, Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid. maribel@geo.ucm.es

ABSTRACT

The values of the ratio $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ in 16 belemnites samples from three sections of the upper part of the Gavilán Fm. of the Subbetic chain are analyzed. Elemental and C and O stable isotopes analysis were also made focused to test the preservation of primary marine calcite. The results of this study confirm the chronostratigraphy significance of Sr Isotope Stratigraphy from Pliensbachian belemnites. The interpretation of the results elucidates the age of the hardground or condensed level that supplies the belemnites rostra after adjusting the $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ratio to pre-existing curves.

Key words: Subbetic, Pliensbachian, condensed level, Sr isotopes, reelaboration

Geogaceta, 38 (2005), 87-90
ISSN: 0213683X

Introducción

La utilización de la Estratigrafía de Isótopos de Sr (en adelante EIS) para el estudio de hiatos y de secciones condensadas ha sido analizada en diversos trabajos entre los que se pueden citar los de McArthur (1994), McArthur *et al.* (2000) o Jenkyns *et al.* (2002). Estos autores destacan que coincidiendo con el hiato, se detectan saltos bruscos en los valores de la relación isotópica del Sr ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$), mientras que la sección condensada queda reflejada por una dispersión en los valores de dicha relación.

Las facies condensadas se caracterizan por la presencia de fauna perteneciente a diversas biozonas, resultado de la acción conjunta de una baja tasa de sedimentación y/o de procesos de resedimentación y/o reelaboración (*sensu* Fernández-López, 1984). Es frecuente que fósiles encontrados en niveles condensados hayan sufrido procesos de reelaboración (Fernández-López y Meléndez, 1994), con lo que la edad deducida de ellos, no se correspondería con la edad de formación del nivel en el que se encuentran. En este sentido, la EIS puede utilizarse como una herramienta útil que, en combinación con los datos bioestratigráficos, permite deducir la presencia de estos procesos y precisar la edad de los niveles estudiados. Trabajos como los de Compton *et al.* (1993) o

McLeod y Huber (1996) fueron pioneros en este sentido.

En este trabajo, se presenta una metodología que permite deducir la presencia de fenómenos de retrabajamiento tanto en ammonites como en belemnites a partir del estudio de la relación isotópica de Sr en estos últimos fósiles. Además, la interpretación que se hace de los resultados permite precisar la edad de los niveles condensados, a menudo a escala de la subzona de ammonites e, incluso, por debajo de ella. Los datos proceden de tres secciones estratigráficas (Fig. 1) de la Zona Subbética en las que es posible observar el contacto entre las formaciones Gavilán (Lías inferior) y Zegrí (Lías superior). Dicho contacto viene marcado por abundantes *hardgrounds* y niveles condensados. Rivas (1979) y Braga (1983) estudiaron estos niveles desde el punto de vista bio-crono-estratigráfico, obteniendo fauna del Carixiense y Domeriense.

Contexto geológico y estratigráfico

Las tres secciones estratigráficas consideradas en este trabajo (Figs. 1 y 2) pertenecen a la Zona Subbética; cada una de ellas ha sido asignada por autores previos a los dominios Subbético Externo, Medio e Interno respectivamente (véase por ejemplo García-Hernández *et al.*, 1980 o Molina, 1987). En estas secciones se ob-

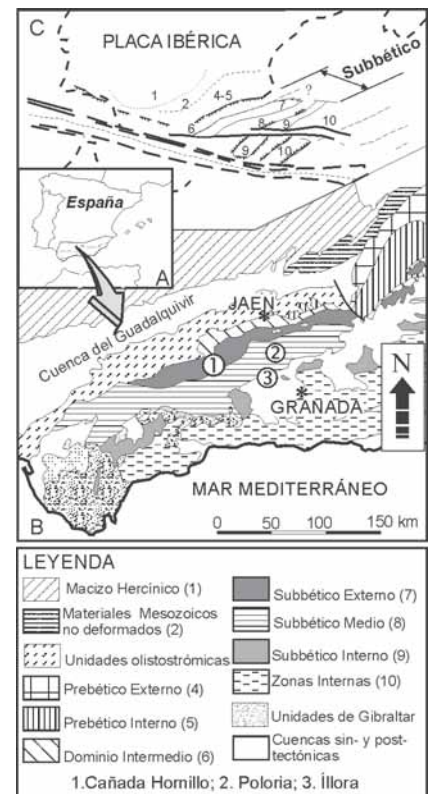


Fig. 1.- A y B: Situación geográfica y geológica de las secciones estratigráficas estudiadas. **C:** Reconstrucción del paleomargen sudibérico.

Fig. 1.- A and B: Geographic and geologic position of the studied stratigraphic sections. *C:* Reconstruction of the South-Iberian Paleomargin.

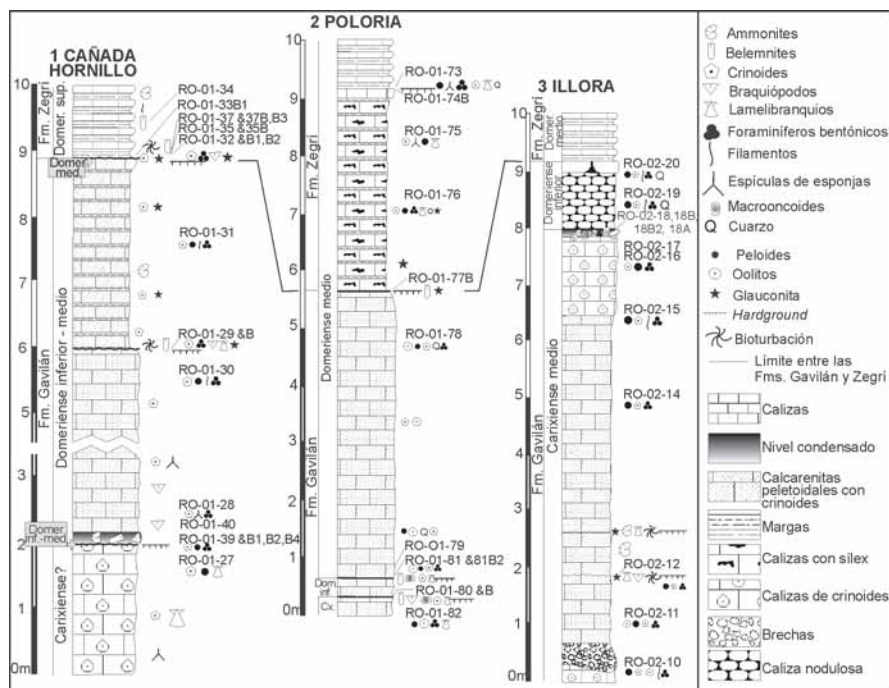


Fig. 2.- Secciones estratigráficas de detalle del contacto entre las formaciones Gavilán y Zegrí.

Fig. 2.- Detailed sections of the upper part of the Gavilán Fm and its boundary with the Zegrí Fm.

serva el contacto entre las formaciones Gavilán y Zegrí (Fig. 2), datado como Pliensbachiense, por Rivas (1979) y Braga (1983). Los materiales de la Fm Gavilán considerados, pertenecen al miembro superior de esta unidad litoestratigráfica constituido principalmente por calizas de crinoides, aunque con bastantes particularidades de una sección a otra. En la sección 1 (Cañada Hornillo, Fig. 2), las calizas de crinoides, con alguna espícula de esponja, terminan en un nivel condensado con escasos ammonites y braquiópodos. Sobre el nivel anterior se disponen unas calcarenitas peletoidales, ricas en crinoides, con un *hardground* en su techo donde se han recogido algunos belemnites. Un tercer tramo calizo sobre este *hardground* está constituido por unas calcarenitas similares a las anteriores con delgadas intercalaciones margosas. De nuevo, estas calcarenitas terminan en otro *hardground* con fauna diversa, especialmente belemnites, donde Braga (1983) dató el Domeriense medio. Sobre este último *hardground* se dispone la Fm Zegrí, representada por una ritmica caliza margosa-marga, que es característica del miembro inferior de esta unidad litoestratigráfica (Molina, 1987). Ya a partir de los primeros niveles, Braga (1983) encuentra abundantes ammonites del Domeriense superior. La atribución de las calcarenitas peletoidales al Domeriense inferior que Braga (1983) recoge en su obra es, según este mismo au-

tor (comunicación epistolar), especulativa, por lo que se ha dejado abierta la posibilidad de que también representen, en su totalidad o en parte, al Domeriense medio (Fig. 2).

En la sección 2 (Poloria, Fig. 2) los 5,5 m superiores de la Fm Gavilán están

representados por unas calcarenitas peletoidales ricas en crinoides similares a las descritas en el tramo medio de la sección 1 (Fig. 2). En la base de estas calcarenitas se han reconocido sendos *hardgrounds* donde se han recogido belemnites. En el más alto de ellos, Rivas (1979) y Braga (1983) citan algunos restos de ammonites atribuidos al Domeriense inferior. Las calcarenitas en cuestión terminan en otro *hardground* (Fig. 2) donde se tomaron muestras de belemnites. Sobre este nivel, aparecen unas calizas con abundante sílex e intercalaciones de niveles margosos, que constituyen los primeros materiales de la Fm Zegrí en esta sección antes de dar paso a la típica ritmica caliza margosa-marga.

La sección de Íllora (número 3, Fig. 2) muestra una mayor variedad de facies en los últimos 9 m superiores de la Fm Gavilán. Sobre unas calizas de crinoides aparece un lecho, de muro erosivo, constituido por una brecha en la que los cantos tienen la misma facies que los materiales infrayacentes. Sobre él, se disponen unas calcarenitas similares a las descritas en las secciones anteriores. Aproximadamente a 1,10 m y 1,90 m, respectivamente, del techo del nivel de brechas se observan sendos *hardgrounds* en donde Rivas (1979) y Braga (1983) citan ammonites del Carixiense medio. Sobre

Nº	Sigla	Corte	Edad (ammonites)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	δ ¹³ C	δ ¹⁸ O
1	RO-01-39B1	C. Hornillo	Domeriense inferior-medio	0,707102	0,73	-0,01
2	RO-01-39B2	C. Hornillo	Domeriense inferior-medio	0,707184	0,16	-0,77
3	RO-01-39B4	C. Hornillo	Domeriense inferior-medio	0,707181	0,44	-0,12
4	RO-01-29B	C. Hornillo	Domeriense-inferior medio	0,707120	0,93	0,09
5	RO-01-32B1	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707171	0,85	-0,36
6	RO-01-32B2	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707122	0,72	-0,09
7	RO-01-35B	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707145	0,93	-0,12
8	RO-01-37B	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707156	1,26	0,12
9	RO-01-37B3	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707243	1,22	-0,37
10	RO-01-33B1	C. Hornillo	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707157	0,88	-0,34
11	RO-01-80B	Poloria	Domeriense- <i>lavinianum</i>	0,707345	-0,62	-0,31
12	RO-01-81B2	Poloria	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707172	-0,32	-0,8
13	RO-01-77B	Poloria	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707307	-0,03	-0,36
14	RO-01-74B	Poloria	Domeriense- <i>algovianum</i>	0,707155	1,82	0,3
15	RO-02-18B	Íllora	Carixiense- <i>ibex</i>	0,707278	2,32	-0,53
16	RO-02-18B2	Íllora	Carixiense- <i>ibex</i>	0,707243	1,82	-0,53

Tabla I.- Valores de las relaciones isotópicas ⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr, δ¹³C y δ¹⁸O en los belemnites tomados en las secciones estratigráficas mostradas en las Figuras 1 y 2. Se indica la edad asignada (por correlación o por bioestratigrafía) al nivel del que proceden las muestras.

Table I.- Values of the isotopic ratios ⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr, δ¹³C and δ¹⁸O from belemnites belonging to the stratigraphic sections showed in Figures 1 and 2. The assigned age (by correlation or biostratigraphy) to the levels supplying the samples is also shown.

el tramo calcarenítico aparecen 1,5 m de calizas de crinoides similares a las de la base de esta sección, que están coronadas por un nivel condensado, con costras de óxidos de Fe y estromatolitos pelágicos, donde se ha encontrado *Tropidoceras mediterraneum* (GEMM.), que permite caracterizar la parte alta de la biozona de *ibex* (Carixiense medio), siendo este dato congruente con los aportados por autores previos. Además, también se han recogido belemnites. El tránsito a la Fm Zegrí se realiza a través de un tramo de calizas nodulosas rojas datadas por autores previos como Domeriense inferior (Braga, 1983). Su techo se toma como el de la Fm Gavilán y sobre ellas aparece la Fm Zegrí.

Metodología

Se ha analizado la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, y las relaciones isotópicas de C y O, en rostros de belemnites tomados en las tres secciones estratigráficas consideradas en este trabajo. En total, se han estudiado 16 muestras cuyos resultados, junto con la edad asignada al nivel de donde proceden tomando en consideración los ammonites extraídos de los mismos, se presenta en la tabla I.

La extracción del material para la realización de los análisis se ha hecho sobre láminas delgadas de 200 a 500 micras de espesor mediante un torno de dentista acoplado a una lupa binocular. Previamente a su extracción, se hizo el estudio petrográfico mediante microscopía de luz transmitida y catodoluminiscencia y, a continuación, se realizó una microcartografía de cada uno de los belemnites con el fin de discriminar las zonas de alteración diagenética y extraer la muestra de áreas no alteradas (no luminiscentes). Los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ (-0.62 a 2.32 ‰) y del $\delta^{18}\text{O}$ (-0.8 a 0.3 ‰) (Tabla I) son consistentes con una buena preservación de la calcita marina.

Los análisis isotópicos de C y O se han llevado a cabo en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Michigan y los isótopos de Sr en el Laboratorio de Geoquímica Isotópica y Geocronología de la Universidad Complutense de Madrid. Los datos isotópicos de C y O se han calibrado con el estándar NBS-19 y los de Sr con el estándar NBS-987. Asimismo, sobre las mismas láminas delgadas se realizó el análisis del contenido en Ca, Mg, Sr, Na, Fe y Mn de cada uno de los belemnites, que también han sido utilizados para comprobar la ausencia de alteración

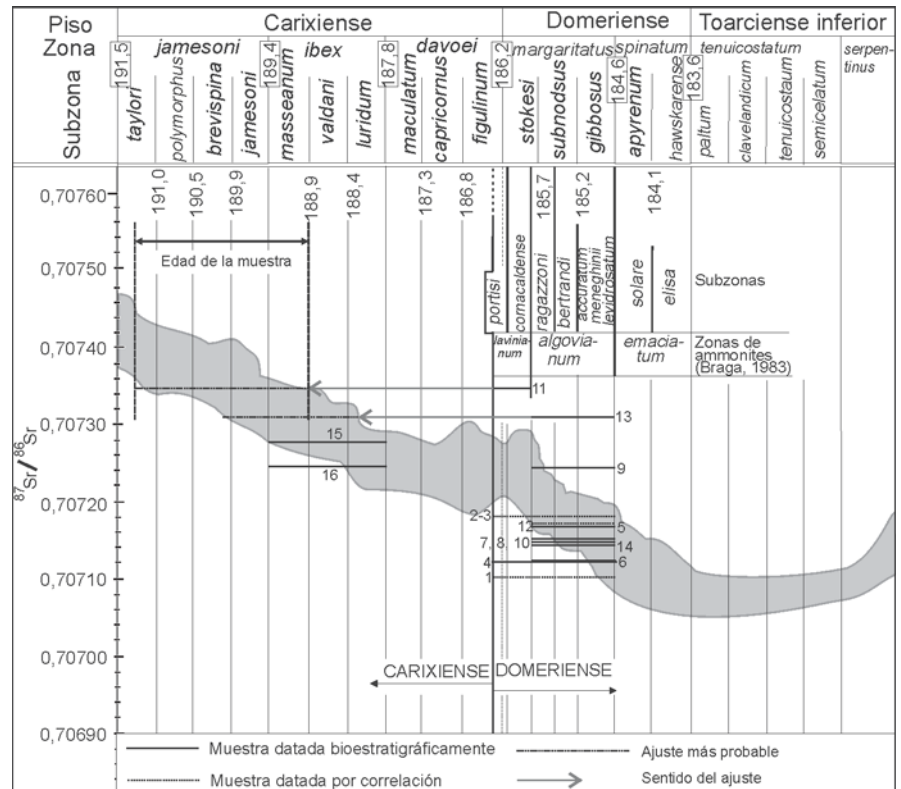


Fig. 3.- Representación de los valores de la relación isotópica de Sr (ver Tabla I) de las muestras estudiadas y su relación con la banda de valores isotópicos obtenida para el Pliensbachiano por autores previos (véase texto).

Fig. 3.- Values of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratio (see Table I) from the considered samples and their relation with the curves of isotopic values calculated by previous authors for the Pliensbachian (see text).

diagenética. Los análisis de geoquímica elemental se hicieron con el ICP-masas de la Universidad de Michigan.

Análisis de resultados y discusión

En la figura 3 se presenta un diagrama de valores de la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ realizado a partir de los datos que Jones *et al.* (1994), McArthur *et al.* (2000) y Gröcke (2001) obtienen para el intervalo comprendido entre el Carixiense y el Toarciense inferior. La anchura de la banda intenta incluir la dispersión de los datos de los autores anteriores, considerando también los errores analíticos. En este diagrama se han introducido los valores de la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtenida de las muestras consideradas en este trabajo, numeradas de 1 a 16, coincidiendo esta numeración con la mostrada en la primera columna de la tabla I.

Atendiendo a la posición de las muestras con respecto a la banda de valores isotópicos de la figura 3, pueden considerarse tres grupos: a) muestras situadas dentro de la banda de valores isotópicos, que son las más numerosas; b) muestras

ubicadas fuera de la banda de valores isotópicos, pero por encima de ella (muestras 9, 11 y 13); y c) muestras localizadas, en su mayor parte, fuera de la banda de valores isotópicos pero por debajo de ella (ej. muestras 1, 4, 6 y 16).

El primer grupo de muestras representa aquellas en las que hay coincidencia entre la datación bioestratigráfica o la establecida por correlación y la edad deducida a partir del valor de la relación isotópica de Sr. En algunos de estos casos, el valor isotópico de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ permite precisar la edad previamente conocida, a partir de datos bioestratigráficos, a la escala de la subzona de ammonites o, incluso, por debajo de ella. En otros casos, es la datación bioestratigráfica la que complementa y ajusta la edad deducida a partir de la relación isotópica. En cualquier caso, el alto porcentaje de muestras analizadas que se ajusta totalmente a las curvas utilizadas o al menos en parte, más del 80 % del total, permite confirmar la significación cronoestratigráfica de los valores de la razón de los isótopos de Sr obtenidos a partir de fósiles de belemnites en las secciones estudiadas.

Las muestras situadas totalmente fuera de la banda de valores isotópicos indican que no hay correspondencia entre la datación bioestratigráfica o la asignada por correlación y la edad deducida del valor de la relación isotópica. En este caso (muestras 11 y 13), el ajuste entre el valor de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y las curvas utilizadas se obtendría desplazando horizontalmente los datos hacia la izquierda hasta que queden comprendidos dentro de la banda de valores isotópicos tomada de autores previos. En la figura 3 se muestra este procedimiento para la muestra nº 11. En estos casos, habría que interpretar que la edad de los belemnites de los que procede la muestra es más antigua que la indicada por los ammonites contenidos en los niveles donde actualmente se encuentran aquellos; posteriormente, los belemnites habrían sido incorporados (resedimentados o reelaborados, *sensu* Fernández López, 1984) a materiales más modernos. En el caso de la muestra nº 11, el belemnites pertenece a la biozona de *jamesoni* (Carixiense inferior) y/o parte baja de *ibex* (Carixiense medio), pero fue reelaborado en relación con procesos que acaecieron durante la biozona de *lavinianum* (Domeriense inferior). Esto es congruente con el hecho de que esos belemnites proceden de niveles de acumulación relacionados con *hardgrounds*. En el caso de la muestra número 9, cuya representación cae también por encima de la banda de valores isotópicos pero entra en parte dentro de ella, habría que asumir que su edad real coincidiría con la del segmento que intersecta con la banda de valores, es decir, que su edad correspondería concretamente a la parte baja de la subzona de *ragazzoni*. En este caso la datación con Sr es compatible con la datación bioestratigráfica y permite aumentar su precisión.

En el caso de las muestras dispuestas fuera de la banda de valores isotópicos, pero por debajo de ella (Fig. 3), el segmento representado en función de su datación bioestratigráfica intersecta en parte la banda de valores isotópicos. En todos los casos habría que asumir que la

verdadera edad de la muestra corresponde a la del segmento que queda comprendido dentro de la banda de valores isotópicos de autores previos (Fig. 3), por lo que la EIS permitiría en todos estos casos precisar de forma más detallada la edad obtenida mediante ammonites.

Por último, en el caso de niveles de los que se han analizado varias muestras de belemnites, caso del *hardground* de edad Domeriense medio de Cañada Hornillo (Fig. 2) del que se han analizado seis muestras en total (muestras 5 a 10, Tabla I; Fig. 3) se obtienen también interesantes conclusiones del análisis de los resultados. Comparando el segmento de cada muestra que queda comprendido dentro de la banda de valores isotópicos de la figura 3, se deduce que la edad de este *hardground* corresponde, probablemente, a la parte alta del Domeriense medio (subzonas de *meneghinii* y *levidorsatum*) único intervalo común a las muestras 5, 6, 7, 8 y 10 comprendido dentro de dicha banda de valores isotópicos. La muestra 9, podría representar un belemnites de la parte baja del Domeriense medio (subzona de *ragazzoni*) incorporado a este nivel.

Conclusiones

La Estratigrafía de Isótopos de Sr aparece como un método muy interesante desde un punto de vista cronoestratigráfico en materiales del Pliensbachense, debido a la pronunciada variación de los valores de la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en este intervalo de tiempo. Permite precisar la edad obtenida mediante ammonites así como determinar la presencia de elementos más antiguos sin significación biocronoestratigráfica a priori (belemnites), por lo que puede ser utilizada, además, como una útil herramienta en la caracterización de niveles condensados y de procesos de condensación tafonómica.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación BTE-2000

(D.G.I.) y del Grupo de Investigación RNM-200 (Junta de Andalucía). Especial mención se debe hacer a los comentarios y aportaciones, muy provechosas, del Dr. J.C. Braga en relación con las dataciones mediante ammonites. Hacemos constar nuestro agradecimiento.

Referencias

- Braga, J.C. (1983). *Ammonites del Domeriense de la Zona Subbética (Cordilleras Béticas, S de España)*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 410 p.
- Compton, J.S., Hodell, D.A., Garrido, J.R. y Mallinson, D.J. (1993). *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 57, 131-146.
- Fernández-López, S. (1984). *Acta Geológica Hispánica*, 19, 105-116.
- Fernández-López, S. y Meléndez, G. (1994). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 110, 29-42.
- García-Hernández, M., López-Garrido, A.C., Rivas, P., Sanz de Galdeano, C. y Vera, J.A. (1980). *Geologie Mijnbouw*, 59, 155-168.
- Gröcke, D. (2001). *Isotope stratigraphy and ocean-atmosphere interactions in the Jurassic and Early Cretaceous*. Tesis Doctoral, Univ. Oxford.
- Jenkyns, H.C., Jones, C.E., Gröcke, D.R., Hesselbo, S.P. y Parkinson, D.N. (2002). *Journal of Geological Society (London)*, 159, 351-378.
- Jones, Ch.E., Jenkyns, H.C. y Hesselbo, S.P. (1994). *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 58, 1285-1301.
- McArthur, J.M. (1994). *Terra Nova*, 6, 331-358.
- McArthur, J.M., Donovan, D.T., Thirlwall, M.F., Fouke, B.W. y Matthey, D. (2000). *Earth and Planetary Science Letters*, 179, 269-285.
- McLeod, K.G. y Huber, B.T. (1996). *Geology*, 24, 463-466.
- Molina, J.M. (1987). *Análisis de facies del Mesozoico en el Subbético Externo*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 518 p.
- Rivas, P. (1979). *Cuadernos de Geología, Univ. Granada*, 10, 383-388.