

Ciclos de precesión en el Toarciense de la Cuenca VascoCantábrica

Precession-forcing cycles in the Toarcian of the Basque-Cantabrian basin

A. Berreteaga (*), S. Robles (*), I. Rosales (*) y S. Quesada (**)

(*) Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco, Apartado 644, 48080 Bilbao. gpbbeesa@lg.ehu.es
(**) Repsol-YPF. Paseo de la Castellana 280, 28046 Madrid.

ABSTRACT

High-frequency Milankovitch cycles have been identified in the Liassic hemipelagic carbonates of the Basque-Cantabrian basin. The cycles detected are attributed to precession forcing. We examined this high frequency cycling using advanced spectral analysis of the secular variation in the CaCO_3 (wt%) content of the hemipelagic rocks. However, the same spectral analyses applied to the temporal variations of the total organic carbon (TOC) and $\delta^{13}\text{C}$ of the sediment do not found the same cyclicity. This suggest that the high-frequency orbital forcing may have not been a main control on organic productivity, sea bottom anoxia and/or rate of organic matter burial, which may have been controlled by other intrinsic or extrinsic factors. The results of this study will be applied to other chemostratigraphic analyses been conducted in the middle-upper Lias hemipelagic rocks of the Basque-Cantabrian basin in order to test if the previously detected palaeoceanic temperature variations may be related to precession cycles.

Key words: Precession cycles, geochemistry, spectral analysis, hemipelagic carbonates, Toarcian, Basque-Cantabrian basin.

Geogaceta, 32 (2002), 259-262
ISSN:0213683X

Introducción

Los depósitos del Lías medio y superior (Lotharingiense-Toarciense) de la Cuenca VascoCantábrica están constituidos esencialmente por una serie rítmica de entre 65 y 280 m de espesor de calizas y margas con abundantes ammonites, belemnites y braquiópodos (Fig.1), que incluyen margas y calizas ricas en materia orgánica, así como cuatro intercalaciones de niveles de black shales (Braga et al., 1988; Robles et al., 1989; Quesada and Robles, 1995). Estos depósitos constituyen un ciclo transgresivo-regresivo de larga duración, con la máxima profundización en el Toarciense inferior y formado en un ambiente de rampa hemipelágica con marcada subsidencia diferencial y con desarrollo de condiciones subóxicas en las zonas de surco, donde se formaron rocas orgánicas generadoras de hidrocarburos en intervalos concretos del Pliensbachiense y Toarciense inferior (Quesada et al., 1997; Robles et al., in press).

Los afloramientos de estos materiales en el área de Reinosa-San Andrés (Fig.1) ofrecen unas excelentes cualidades que han permitido realizar para el intervalo Pliensbachiense-Toarciense inferior, una estratigrafía de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de alta resolución calibrada bioestratigráficamente en base al análisis

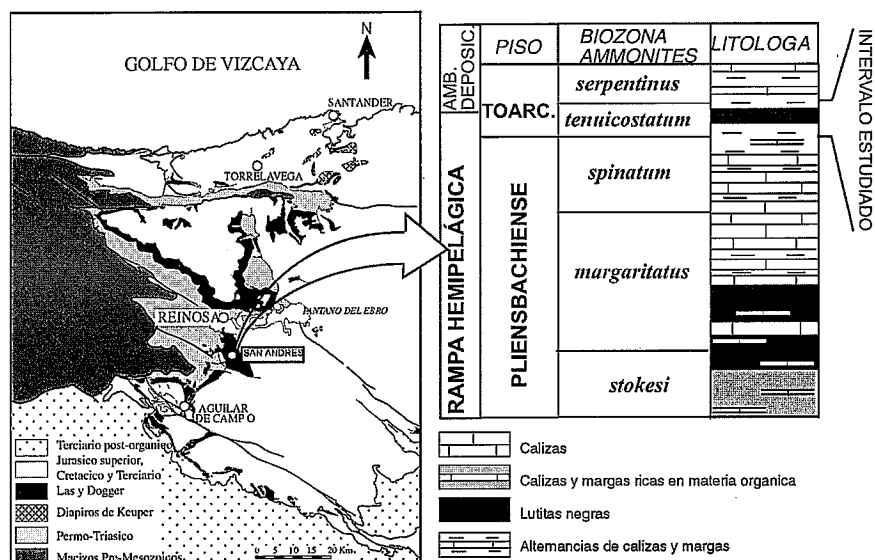


Fig. 1.- Localización geológica de la zona de estudio y situación estratigráfica del intervalo analizado.

Fig. 1.- Simplified geological map of the study area and stratigraphic setting of the analysed interval.

sis de rostros de belemnites no alterados diagenéticamente, en la que se evidencian además la coincidencia temporal de los intervalos de black shale con los valores máximos de $\delta^{13}\text{C}$ y mínimos de $\delta^{18}\text{O}$ (Rosales et al., 2001 a y b).

Igualmente en base al análisis de $\delta^{18}\text{O}$ y elementos menores y traza de dichos rostros de belemnites se han calculado las paleotemperaturas del agua oceánica para dicho intervalo, evidenciando la existencia de posibles

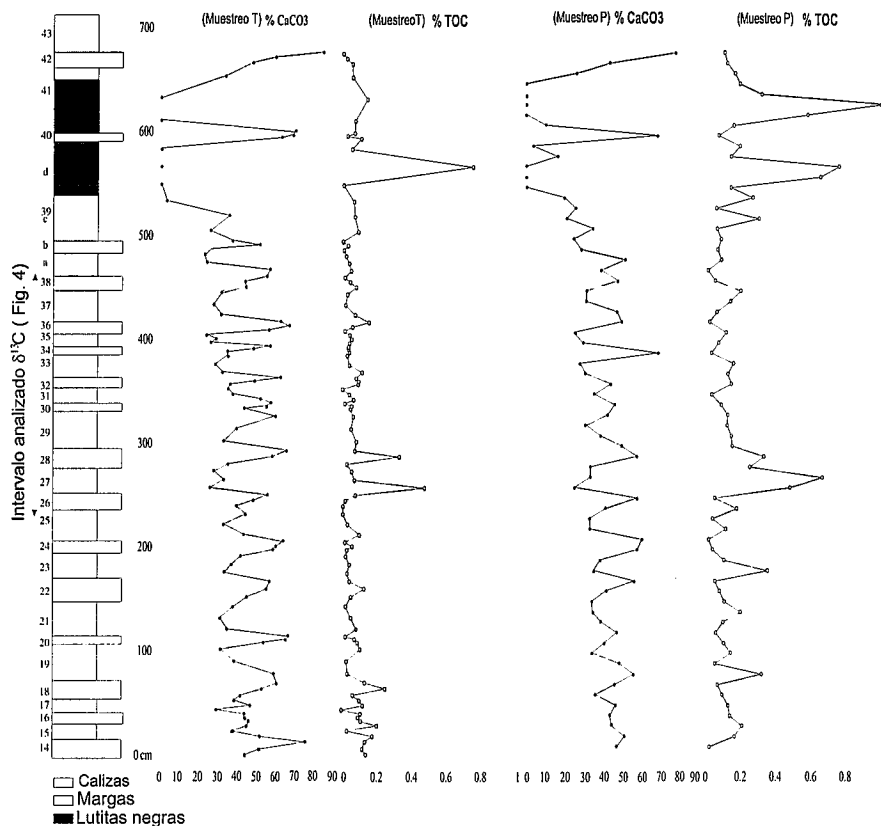


Fig. 2.- Serie de detalle y curvas de contenido en CaCO_3 y carbono orgánico (TOC) para el intervalo analizado (biozona *tenuicostatum*). Muestreo T a tiempo constante y muestreo P a potencia constante (explicación en el texto). Se muestra la numeración de las capas marcadas en el campo.

Fig. 2.- Detailed stratigraphic section and the resulted CaCO_3 and total organic-carbon (TOC) content curves for the analysed interval (*tenuicostatum* Zone). The T sampling series was taking considering a constant time duration for each bed (constant time), whereas the P sampling series was taken considering the thickness as a function of time (constant thickness) (see the text for explanation). Bed number information is included.

variaciones climáticas de diferente rango temporal (Rosales *et al.*, in press).

Con objeto de comprobar si las variaciones isotópicas y paleoclimáticas actualmente en estudio, pudieran estar controladas por ciclos de la banda de Milankovitch, se ha considerado oportuno realizar primeramente un trabajo para identificar los posibles ciclos de alta frecuencia existentes en la sucesión, planteando además una discusión sobre la metodología que ha resultado más adecuada para determinar su periodicidad.

Para ello se ha seleccionado una porción de la sucesión estratigráfica correspondiente a toda la biozona *tenuicostatum*, perfectamente delimitada en el campo (Braga *et al.*, 1988; Quesada and Robles, 1995) de la que se conoce con precisión la duración temporal absoluta (302.000 años, de acuerdo con la escala temporal basada en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de McArthur *et al.*, 2000) y que no presenta internamente ningún criterio evidente de discontinuidad estratigráfica, comprobado además por la perfecta continuidad lateral de todas las capas que se extienden a lo largo de varias decenas de kilómetros.

Metodología

El intervalo seleccionado para este estudio (biozona *tenuicostatum*) tiene un espesor de 6,82 m y está constituido por una alternancia rítmica de capas de calizas y margas con unos espesores mínimo y máximo de capa de 10 cm y 60 cm respectivamente (Fig. 2). En la parte superior presenta un potente nivel lutítico rico en materia orgánica (black shale) (Fig. 1 y 2) correlacionable con el intervalo anóxico global del Toarciense inferior (Jenkyns & Clayton, 1986; Quesada and Robles, 1995; Quesada *et al.*, 1997; Rosales *et al.*, 2001 a y b).

El análisis espectral de la ciclicidad se ha realizado sobre el contenido en CaCO_3 y carbono orgánico total (TOC), tomados independientemente. Tanto el número de muestras sobre el que se realizarán los análisis, como la constancia temporal de su espaciado, deben ser coherentes con la magnitud temporal de los ciclos que se pretenden estudiar y con el método estadístico aplicado. Dado que se dispondrá de una serie discontinua de muestras se aplicará una discreta de la transformada de

Fourier DFT, que nos permitirá conocer las frecuencias de los diferentes ciclos superpuestos que se den en la sucesión y la intensidad relativa de cada ciclo. Hay que tener en cuenta además que para aplicar la función DFT las muestras deben situarse a intervalos temporales constantes y que el intervalo de muestreo limita el rango de las periodicidades observables (el periodo más pequeño observable es del orden del doble del intervalo de muestreo). En principio y teniendo en cuenta la corta duración del intervalo a analizar (302.000 años) tan solo podrían ser evidenciables estadísticamente los ciclos de la banda de Milankovitch de periodo más corto (entre 20.000 y 40.000 años). Ello indica que el número mínimo de muestras necesario sería de 30, para que existan al menos dos datos o muestras por cada ciclo, aunque evidentemente el muestreo debe ser más denso para aumentar el grado de confianza. En total hemos recogido 164 muestras del intervalo analizado.

Respecto a la constancia del espaciado temporal de muestreo se plantean dos opciones: a) suponer una tasa de sedimentación constante y un espesor sedimentario equivalente a tiempo, realizando el muestreo a intervalos verticales equidistantes (que es la opción generalmente adoptada en este tipo de trabajos) y b) considerar que la tasa de sedimentación es variable, dado que las parejas de capas caliza-marga muestran espesores diferentes (Fig. 2), pero que cada pareja marga-caliza ha tardado en depositarse el mismo tiempo, por tanto tomar el mismo número de muestras en cada pareja (independientemente de su espesor) y con una separación entre ellas proporcional al espesor de la capa. Se han realizado los dos métodos de forma paralela (aplicándolos al análisis del CaCO_3 y al de TOC) con objeto de comparar los resultados y comprobar cual de los dos es el más adecuado. En el primer caso (muestreo a espesor constante) se han tomado muestras cada 10 cm, con lo que todas las capas quedan muestreadas al menos una vez, con un número medio de 3 muestras por capa y de 4 por ciclo de 20.000 años (en total 68 muestras). En el segundo caso (muestreo a espesor variable y supuestamente a tiempo aproximadamente constante) se han tomado 3 muestras por capa (parte inferior media y superior de cada capa) y con un espaciado intracapa proporcional al espesor del estrato (en total 93 muestras). Los resultados analíticos de la variación del contenido de CaCO_3 y carbono orgánico (TOC) se muestran en la Fig. 2.

Discusión de resultados

Análisis espectral de la variación temporal del contenido en CaCO_3

El análisis estadístico de ambos muestreos aplicando la transformada rápida de Fourier y una ventana hanning, muestra sendos

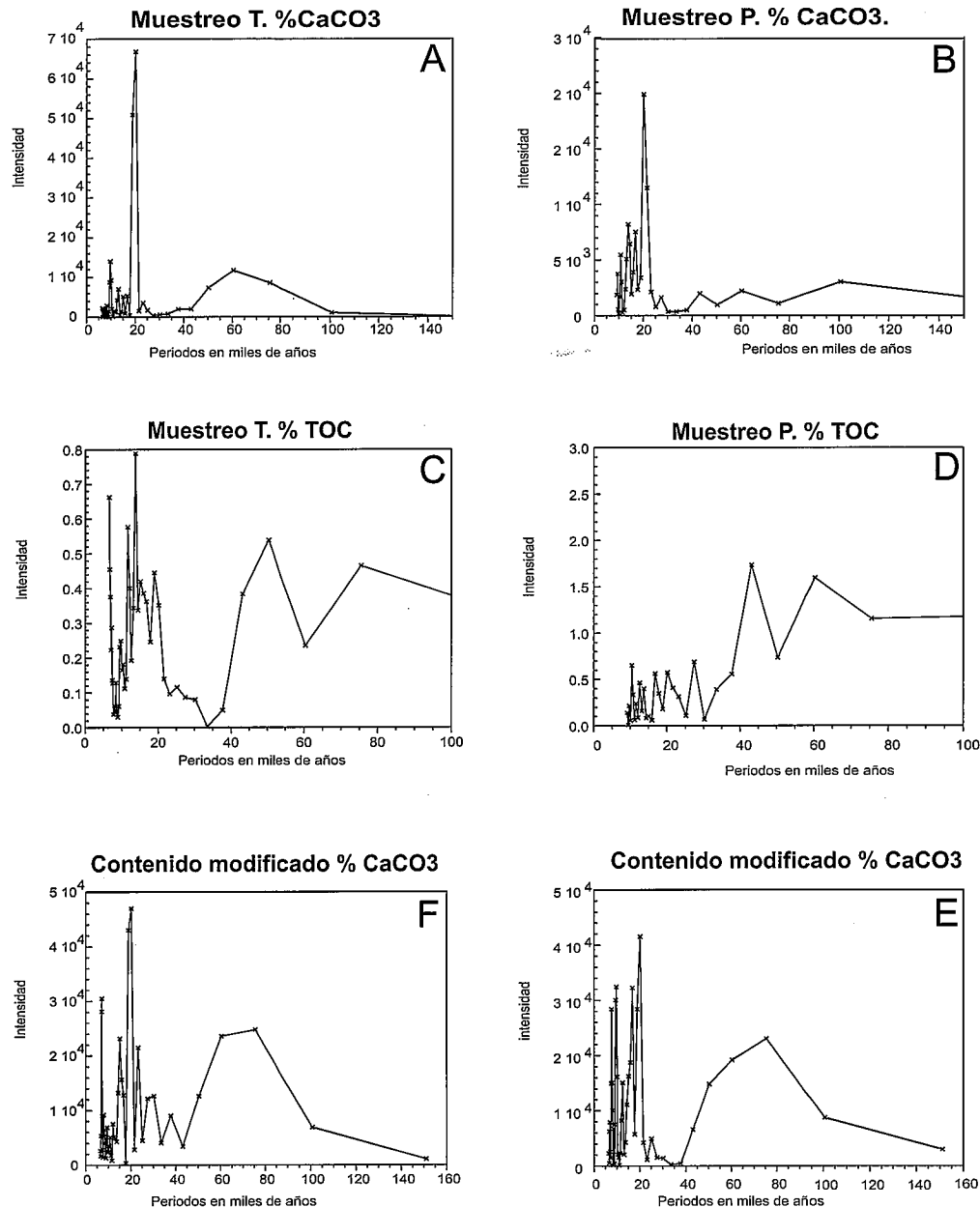


Fig. 3.- Periodogramas resultantes de la aplicación del análisis espectral DFT a las diferentes series de datos. Muestreo T a tiempo constante (A y C) y muestreo P a potencia constante (B y D). E y F ejemplos de periodogramas resultantes de aplicar al contenido en CaCO_3 un error proporcional al que puede mostrar el contenido en TOC.

Fig. 3.- Resulting periodograms after application of DFT spectral analysis to the different data series. T sampling series (A and C) is at constant time and P sampling series (B and D) is at constant thickness. E and F are examples of the resulting spectra after application to the CaCO_3 content an measurement error proportional to that exhibited for the TOC content.

periodogramas en los que destaca un pico de gran intensidad correspondiente a un periodo sobre 20.000 años (Fig. 3A y B) que se corresponde claramente con los ciclos de precesión de los equinoccios. La intensidad relativa del pico es mayor en el muestreo a tiempo constante (Fig. 3A) lo que suponemos se debe a ser más real y evitar ruidos provenientes de una peor aproximación en el muestreo a espesor constante (Fig. 3B). El siguiente pico tiene muy poca intensidad relativa y se sitúa entre

45.000 y 60.000 años (Fig. 3A y 3B), lo que se considera ya excesivamente amplio para la duración total del intervalo muestreado y puede ser responsable de su escasa entidad. Para su corroboración sería necesario ampliar el intervalo temporal analizado.

Análisis espectral de la variación temporal del contenido en materia orgánica (TOC).

El contenido actual en carbono orgánico del intervalo estudiado, incluido el black

shale, es muy bajo, manteniéndose en valores comprendidos entre 0,016% y 1% en peso (Fig. 2). En términos generales este hecho también ocurre en otras secciones del área de Reinosa-San Andrés que se sitúa en el surco paleogeográfico de Polientes-Tudanca, donde el gran acúmulo sedimentario originó la hipermaduración de la materia orgánica (Quesada and Robles, 1995; Quesada *et al.*, 1997), siendo el contenido actual un valor residual, que puede o

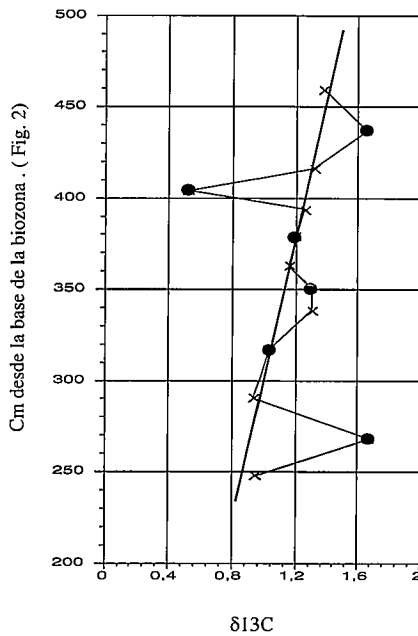


Fig. 4.- Curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ del intervalo analizado (ver situación en Fig.2). Las aspas corresponden a las capas de caliza y los puntos a las capas de margas (explicación en el texto).

Fig. 4.- $\delta^{13}\text{C}$ isotopic curve for the analysed interval (see location on Fig. 2). Cross points indicate limestones beds and dot points indicate marly beds (see the text for explanation).

no ser proporcional al contenido orgánico inicial del sedimento.

En los periodogramas correspondientes a cada tipo de muestreo se observa que ninguno de los picos destaca claramente sobre los demás, siendo numerosos y con intensidades relativamente similares y bajas (Fig. 3C y D). Este hecho podría deberse: 1) a problemas derivados del margen de error del equipo analítico comparado con el escaso contenido en TOC de las muestras, 2) a que el contenido orgánico residual actual no sea proporcional al contenido orgánico original del sedimento, por lo que no se detecta una ciclicidad en sus valores, o 3) a que la variación del contenido en carbono orgánico original (producción primaria y/o almacenamiento en el sedimento) no presenta una clara ciclicidad, equivalente a la que presenta el contenido en CaCO_3 , o de otra periodicidad.

Para comprobar los efectos que los posibles errores analíticos del contenido en TOC tendrían sobre el periodograma, se aplicaron a los valores de las calcimetrías unas modificaciones proporcionales a las que podría tener el TOC. A pesar de ello, los periodogramas correspondientes a los datos calcimétricos alterados proporcionalmente, siguen mostrando claramente un ciclo de periodicidad sobre 20.000 años (Fig. 3E y F). Por tanto consideramos que para el intervalo analizado y con los datos dis-

ponibles no hay evidencias que nos permitan determinar si los ciclos de precesión influyeron en la productividad o enterramiento de la materia orgánica.

Variación temporal $\delta^{13}\text{C}$ en roca

Con objeto de comprobar si las variaciones isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$, que están relacionadas con cambios en la tasa de almacenamiento de C^{12} (carbono orgánico) en el sedimento (cambios en la productividad biológica, enterramiento de la materia orgánica o anoxia), podrían evidenciar ciclos de alta frecuencia como los manifestados por la variación del contenido en CaCO_3 , se han analizado 13 muestras situadas en la parte central de la biozona *tenuicostatum* (7 en sucesivas capas de caliza y 6 en las margas intercaladas).

Si bien el intervalo y la densidad de muestras analizadas son menores que las efectuadas para el contenido en CaCO_3 y TOC, en principio los resultados obtenidos no muestran una ciclicidad evidente y relacionable con los ciclos de precesión marcados por las alternancias de caliza y marga (Fig.4). Se observa que los valores isotópicos en las calizas aumentan suave y progresivamente (situándose en una recta de regresión), mientras que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son muy variables entre las capas de margas, lo que podría indicar que los episodios margosos tienen una tasa de almacenamiento de C^{12} en el sedimento mucho más variable, de forma que los valores menores de $\delta^{13}\text{C}$ de la roca podrían corresponder con episodios de mayor almacenamiento de materia orgánica en el sedimento, lo que a partir de la figura 4 no parece estar relacionado con ciclicidad de parejas de capa.

Conclusiones

El análisis espectral de la variación temporal del contenido en CaCO_3 de las facies hemipelágicas del Toarciense inferior de la CVC ha permitido identificar ciclos con periodicidad sobre 20.000 años, correspondientes a los ciclos de precesión de los equinoccios. La confirmación de otros ciclos de mayor periodo (45.000-60.000 años) exigiría aumentar el intervalo analizado que abarca 302.000 años.

Se han realizado dos tipos de muestreos uno primero considerando la tasa de sedimentación constante y que el espesor sedimentario es proporcional al tiempo, y otro segundo considerando la tasa de sedimentación variable y que cada pareja marga-caliza se depositó en un tiempo similar. La comparación de los periodogramas resultantes de los dos tipos de muestreo corroboran que es más adecuado el segundo, indicando cambios en la tasa de sedimentación entre las distintas capas.

De los análisis efectuados podría deducirse que los ciclos de precesión aparentemente no influyeron en la productividad biológica y la tasa de almacenamiento de C^{12} en el sedimento, dado que no se ha podido constatar unas variaciones cíclicas del TOC y $\delta^{13}\text{C}$ evidentes y de periodicidad equivalente a 20.000 años, si bien la confirmación de estos hechos exigiría ampliar el intervalo temporal estudiado.

Estos resultados se aplicarán al análisis de las posibles relaciones de los ciclos de precesión de los equinoccios con las variaciones de la paleotemperatura del agua oceánica.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto de investigación UE-1999/8, cofinanciado por el Gobierno Vasco y la Sociedad de Hidrocarburos de Euskadi S.A. (SHESA- EVE). Agradecemos a Mikel Peñagarikano el apoyo recibido durante la realización del análisis espectral y demás operaciones estadísticas.

Referencias

- Braga, J.C.; Comas-Rengifo, M.J.; Goy, A.; Rivas, P. y Yébenes, A., (1988): Libro guía de las excursiones, *III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España*. Logroño. 17-45.
- Jenkyns, H.C. and Clayton, C.J., (1986): *Sedimentology*, 33, 87-106.
- McArthur, J.M.; Donovan, D.T.; Thirlwall, M.F.; Fouke, B.W. and Matthey, D., (2000): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 179, 269- 285.
- Quesada, S. and Robles, S., (1995): *17th International Meeting on Organic Geochemistry, Donostia-San Sebastian*, A.I.G.O.A. (ed.) Field Trip Guidebook, 36 pp.
- Quesada, S.; Dorransoro, C.; Robles, S.; Chaler, R. and Grimalt J.O., (1997): *Org. Geochem.*, 27, 25-40.
- Robles, S.; Quesada, S.; Rosales, I.; Aurell, M.; Meléndez, G. and Bádenas, B., (in press): In: W. Gibbons & T. Moreno (eds.). *Geology of Spain. Geol. Soc. London Spec. Publ.*
- Robles, S.; Pujalte, V. y Vallés, J.C., (1989): *Cuadernos de Geología Ibérica*, 13, 185-198.
- Rosales, I.; Quesada, S. and Robles, S. (2001a): *Sedimentology*, 48, 1149-1170.
- Rosales, I.; Robles, S. y Quesada, S., (2001b): *Geotemas*, 3(2), 61-64.
- Rosales, I.; Robles, S. and Quesada, S. (in press): *Geology*.