

# Variaciones de espesor y de contenido en CaCO<sub>3</sub> en los pares marga-caliza del Maastrichtiense inferior en Sopelana (Arco Vasco)

Thickness and (%) CaCO<sub>3</sub> variations in the couplets marl-limestone of the lower Maastrichtian at the Sopelana section (Basque Arc)

I. Alvarez-Llano, A. Baguer, M. Martínez López de Sabando, J. Mugica, J.R. Pérez-García, L. Unanue y J. Elorza(\*)

Departamento Mineralogía y Petrología, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080 Bilbao. nppelzaj@lg.ehu.es(\*)

## ABSTRACT

The Sopelana sea-cliff section exposes, in very good conditions, a continuous marl-limestone alternation from the Lower Maastrichtian in the deep Basque Arc domain. The 55 rhythms studied represent ~1100 ka and correspond to ~60cm/20ka. The marls are thicker than limestone layers and the Fischer diagram detects several shifts of high sedimentation and a well-marked minimum. The spectral analysis of the (%) CaCO<sub>3</sub> content of the 30 selected rhythms (179 analysis, 18.74 m), confirms the rhythm with two frequency peaks, which correspond to the precession and eccentricity periods. The high-resolution analysis of four rhythms (<2cm/sample; 117 analysis, 2.04 m) shows a lack of symmetry and a different behaviour among them. The weathering surfaces point out an (% CaCO<sub>3</sub>) enrichment tendency.

Key words: cyclostratigraphy, marl/limestone couplets, automatic calcimeter, Early Maastrichtian.

Geogaceta, 39 (2006), 131-134  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Las repeticiones litológicas en el registro estratigráfico y el análisis de sus causas está recibiendo una gran atención en estos últimos años, potenciando la Ciclostratigrafía como una importante línea de investigación (Schwarzacher, 1994; House, 1995; Shackelton *et al.*, 1999). Básicamente, se pueden diferenciar tres conceptos como ciclicidad, ritmicidad y periodicidad. Los ciclos y ritmos, detectados en sedimentos pelágicos y carbonatos marinos someros, son jerarquizados desde la laminación, estrato, afloramiento e incluso a macroescala. La determinación de las causas, predominantemente alocíclicas, bien de origen tectono-eustáticas y/o climáticas, será el objetivo final. La ritmicidad, como alternancia repetida de dos litologías (marga/caliza; lutita/evaporita; limo/arcilla), es la evidencia más común y donde se invoca la influencia climática de los «ciclos o ritmos de la banda de frecuencia de Milankovitch». Los cambios climáticos globales, generados como consecuencia de las modificaciones orbitales (precesión, oblicuidad, excentricidad), producen los ciclos entre otros de 5º orden (entre 20-100 ka), considerados de rango menor. La diferencia-

ción de ciclos de diferente rango superpuestos se puede tratar con el diagrama de Fischer (Fischer, 1964).

En la Cuenca Vasco-Cantábrica y concretamente en el «Arco Vasco», se aprecia una secuencia elemental constituida por pares marga-caliza (M-C) en materiales del Cretácico superior y Paleoceno. Han sido pioneros los trabajos de Mount y Ward (1986); Ten Kate y Sprenger, (1993), Pujalte *et al.* (1998), Dinarés-Turell *et al.* (2002) y Dinarés-Turell *et al.* (2003). Nuestro objetivo ha sido determinar las variaciones en espesor de cada ritmo M-C y las fluctuaciones en los valores de CaCO<sub>3</sub> (%), justamente en la zona más favorable para el estudio ciclostratigráfico, dado que la repetición de los ritmos es neta, sin apenas efectos tectónicos, y los pares M-C forman alternancias regulares, sin un marcado dominio de una litología sobre la otra.

## Contexto Geológico

El trabajo ha sido realizado en los acantilados de la playa de Sopelana (noreste de Bilbao), donde los materiales constituidos por pares de M-C bien delimitados sin episodios turbidíticos, afloran de manera continua. Plegados por la orogenia alpina, con dirección N120ºE, y

buzamiento 50-58ºSW, ocasionalmente se aprecian desplazamientos de lechos entre sí, marcados por superficies de calcita, además de presentar una pequeña falla inversa de vergencia NW (Figs. 1A-B). El fragmento de registro estratigráfico escogido pertenece al Miembro I de la Formación de Zumaya-Algorri, es parte del flanco noreste del «Sinclinorio de Bizkaia» y corresponde a su vez al Dominio del «Arco Vasco» en la Cuenca Vasco Cantábrica. El ambiente deposicional está considerado como marino profundo de cuenca; la edad es Maastrichtiense inferior (biozona de *Gansserina gansseri*), en el Cron C31R previo a la regresión finicretácea. Como microfósiles aparecen conchas completas de inocerámidos y escasos moldes de ammonites de diferentes especies. Los *Zoophycos* son las huellas fósiles predominantes, que nos permitirán determinar la polaridad de la serie y el grado de compactación diferencial entre marga y caliza. Las reconstrucciones paleogeográficas sitúan a la Cuenca entre 30-35º de latitud norte y los sedimentos del Maastrichtiense del Arco Vasco se depositaron en el Surco de Orio, conformado durante el Campaniense y limitado por la Plataforma Noribérica al Sur y la Plataforma de Aquitania al Norte (ver Gómez-Alday *et al.*, 2004)

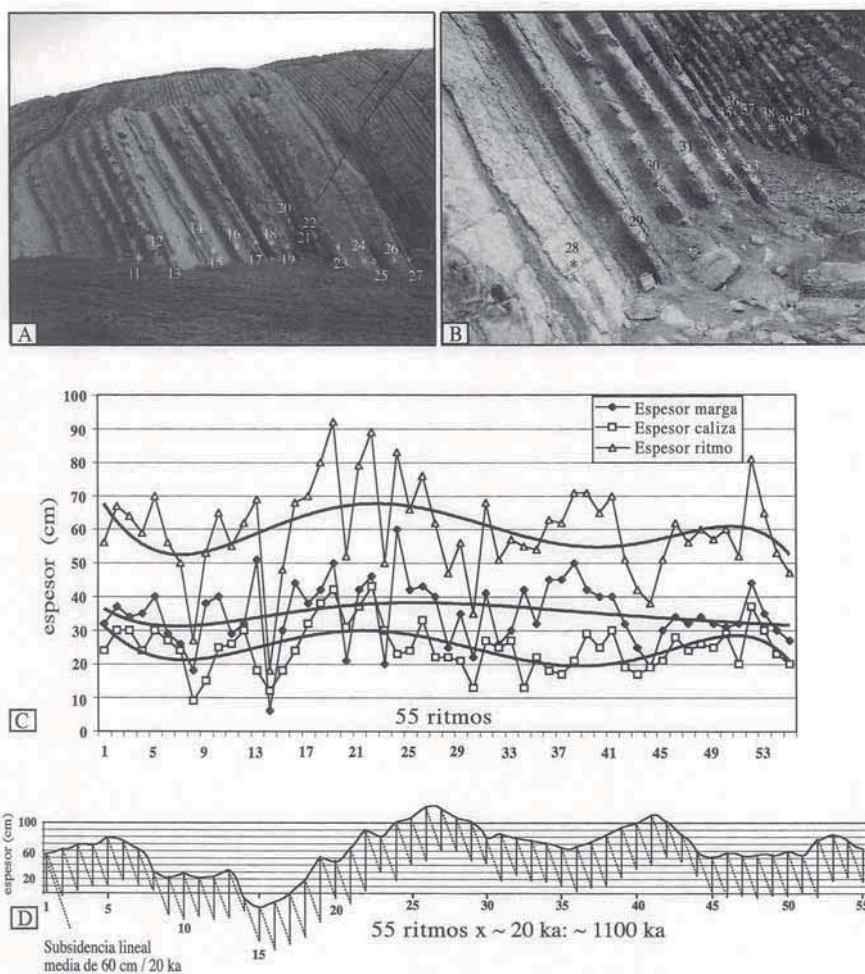


Fig. 1.- Sección de Sopedana con los ritmos estudiados. Explicaciones en el texto.

Fig. 1.- The Sopedana section with the studied rhythms. See text.

### Metodología

La metodología utilizada ha sido: **a)** medición independiente y en conjunto del espesor de 55 pares continuos M-C (32,86 m) y su representación en el diagrama de Fischer. **b)** análisis del contenido en  $\text{CaCO}_3$  (%) de margas y calizas de 30 pares seleccionados (~3 análisis/lecho; 179 análisis y 18,74 m). **c)** análisis del  $\text{CaCO}_3$  (%) en 8 pares de las zonas superficiales de tono gris claro azulado (5G 6/1 a 5B 7/1), según la GSA Rock Colour Chart (basado en el sistema Munsell®), presumiblemente meteorizada y de la misma zona pero sin meteorizar, de tono gris oscuro azulado (5G 4/1 a 5B 5/1) (36 análisis). **d)** análisis de alta resolución (~2 cm/muestra) del  $\text{CaCO}_3$  (%) de los lechos C11, M12, C12, M13 (primer grupo) y M28, C28, M29, C29 y C30 (segundo grupo), con 117 análisis en 2,04 m. La determinación del contenido en  $\text{CaCO}_3$  (%) de un total de 314 muestras se ha realizado siguiendo los fundamentos del método de Bernard, por medio del «Calcímetro Automático», fabricado por Aquitaine Technique Innovation (Burdeos), y con una fiabilidad de 4%. También se ha

realizado el análisis de Fourier en 30 pares con 180 datos.

### Resultados y discusión

En principio, aceptamos que la «precesión de los equinoccios» tiene una influencia climática directa y es la principal causante de los ritmos M-C analizados. El valor de la precesión oscila entre un polo positivo y otro negativo (0,05 y -0,05). La permanencia en los valores de un polo favorece una menor insolación propiciando un clima húmedo-lluvioso y transferencias de fracciones detríticas arcillosas, procedentes de la plataforma y áreas continentales emergidas próximas. La permanencia en el otro polo favorece un clima más seco con dominio de la sedimentación carbonatada, generada por la fracción bentónica, pelágica y restos carbonatados.

#### Valores de los espesores y superficies de separación

De los 55 ritmos de M-C medidos, los lechos margosos presentan un mayor espesor frente a los calizos, con valores medios

de  $34,9 \text{ cm} \pm 9,6$  en las margas y  $24,9 \text{ cm} \pm 7,1$  en las calizas. El valor medio del par M-C es de  $59,7 \text{ cm} \pm 13,9$ , lo que supone, si un ritmo equivale a ~20 ka, una tasa de sedimentación ~60 cm/20 ka. A lo largo de los 33 metros de registro estudiado y ~1100 ka, se producen variaciones en los espesores, con un máximo de 92 cm (ritmo nº 19) y un mínimo de 27 cm (ritmo nº 8). La representación de las curvas polinómicas de tendencia (6) ayuda a observar su evolución covariante (Fig. 1C). Se detecta una ligera compactación diferencial mayor en la marga que en la caliza, pues una misma huella de *Zoophycos* que atraviesa ambas litologías presenta diferencias en el grado de aplastamiento. Al construir el diagrama de Fischer, mediante una línea básica patrón con una inclinación correspondiente a la subsidencia lineal media de 6m/200 ka, se aprecia que la sedimentación no fue regular y que se produjeron cambios relativos del nivel del mar de un rango próximo al ciclo de excentricidad largo (~400ka), con varios máximos en los ritmos 5, 26, 41, 53 y un marcado mínimo en el 15 (Fig. 1D).

El paso de marga a caliza parece marcado por una superficie de separación neta, si es apreciado a una cierta distancia, aunque en detalle resulta más impreciso. A simple vista, también se detectan zonas donde los pares son difusos y de más difícil separación, con el lecho calizo poco resaltado por la erosión diferencial (ver ritmos nº 8-9, nº 24-25 y nº 45-46 (Figs. 1A-B)). Esta situación, se justifica por la interacción de la precesión dominante con una mínima excentricidad (~100 ka), lo cual amortigua la producción del carbonato, haciendo el ritmo más homogéneo y bajo en carbonato (Hennebert y Dupuis, 2003). También, en algunos lechos calizos son visibles superficies netas de ruptura (ver ritmos nº 16, 17, 19), producidas por posibles eventos turbidíticos que evolucionan a una simple superficie erosiva en su parte distal.

#### Valores de las calcimetrías en 30 ritmos y análisis espectral

El valor medio de  $\text{CaCO}_3$  (%) en las margas es de  $51,7\% \pm 9,3$  con términos extremos de 25 y 69,8%, mientras que para las calizas el valor medio es de  $67,3\% \pm 5,7$  con valores extremos de 55,6 y 83,7%, siendo el valor medio del registro muestreado de  $59,6\% \pm 11$ . La figura 2A, refleja la evolución de los contenidos a lo largo de los 30 pares analizados, donde se aprecian las variaciones composicionales de cada ritmo, según nos desplazamos a lo largo del registro. Se aprecia la tendencia de ocupar los valores más bajos las zonas centrales de los lechos de margas y los más

altos las partes centrales de las calizas. Esta tendencia general, queda en algunos ritmos modificada al presentar los mínimos de  $\text{CaCO}_3$  (%) a techo de las margas (M16, M17, M18, M19, M24, M26) y los máximos a techo de las calizas (C1, C3, C5, C14, C15, C24, C27). El análisis de Fourier con 180 datos, nos ha permitido detectar dos picos de frecuencias en 7 y 30 (Fig. 2B). La frecuencia 30 equivale a una ciclicidad cada 6 medidas ( $180/30=6$ ) que corresponde a un ritmo ( $\sim 20$  ka). La frecuencia 7 equivale a una ciclicidad cada 25,7 medidas ( $180/7=25,7$ ), es decir cada 25,7 análisis se produce un factor de repetición que equivale a unos  $\sim 85,6$  ka.

#### Valores de las calcimetrías en superficies alteradas y no alteradas

En un intento de conocer la influencia del lavado por las aguas meteóricas sobre M-C hemos realizado 36 análisis en ocho pares (ritmos n° 27 a 35). Así, en un mismo lecho es comparado la parte superficial potencialmente alterada, con la zona más interna (no alterada), caracterizadas por el cambio de color gris claro (5G 6/1 a 5B 7/1) a gris oscuro (5G 4/1 a 5B 5/1). Se detecta composiciones semejantes en 6 lechos, sin apenas diferencias ( $<1\%$ ), y 8 lechos con valores más altos en  $\text{CaCO}_3$  (%) en las zonas superficiales, frente a las partes no alteradas del mismo lecho. Las diferencias varían desde un 14,7% a 0,9% en margas y 11% a 0,4% en calizas. También se produce el efecto contrario, con zonas superficiales (3 análisis) de contenido menor, con diferencias de 3,7% a 2,8% (Fig. 2C). La primera anomalía, puede justificarse debido a que durante el lavado se pierde una parte del componente arcilloso y quedan resaltados una notable cantidad de bioclastos (foraminíferos, prismas de inocerámidos), lo cual incrementa el contenido en  $\text{CaCO}_3$  (%) frente a la roca no lavada, con un mayor componente arcilloso.

#### Análisis de alta resolución

Los lechos C11, M12, C12, M13 (primer grupo) y M28, C28, M29, C29 (segundo grupo) han sido analizados con detalle (Figs. 3A-F). La alta resolución destaca cómo el  $\text{CaCO}_3$  (%) de cada lecho, no se corresponde con la idea inicial de una onda simétrica, pues queda desplazada hacia techo. Así en el primer grupo (Figs. 3A-C), se aprecia una suave crecimiento desde 60,1% (C11-1) hasta llegar a un máximo de 69,8% (C11-15) y disminuir rápidamente a 53,0% (C11-20). En el lecho M12, se inicia con valores semejantes 53,7% (M12-1), continúa disminuyendo gradualmente hasta llegar a 40% (M12-15). En los seis centímetros siguientes se recupera

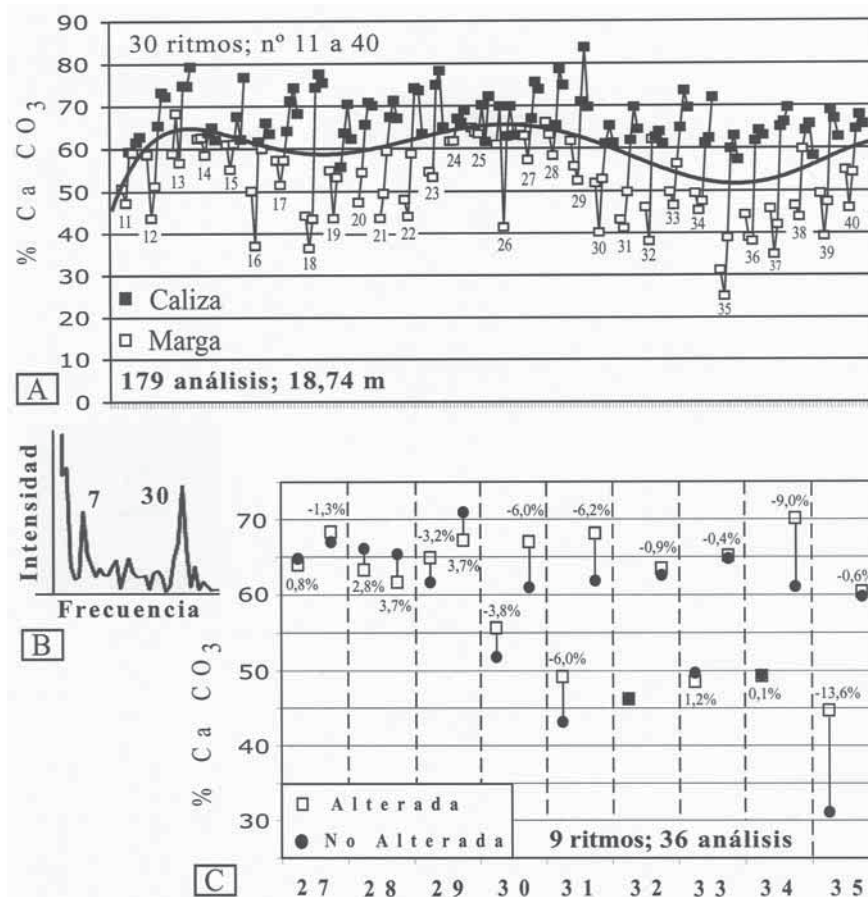


Fig. 2.- A). Variaciones del (%)  $\text{CaCO}_3$  en 30 ritmos. B). Análisis espectral obtenido. C). Variaciones en roca alterada y no alterada.

Fig. 2.- A). The 30 rhythms with (%)  $\text{CaCO}_3$  variations. B). Spectral analysis. C). Variations in weathering and fresh rock.

hasta el 56% (M12-18). El lecho C12 arranca con un 61,1%, semejante al inicio de C11 y crece gradualmente hasta un máximo de 74,6% (C12-13), para caer suavemente a 56,4% (C12-22). Los valores de M13, al principio con 47,5%, alcanzan un mínimo en M13-7 (38%) y suben bruscamente al 47,8% en M13-9. Esta disposición nos indica que el mayor espesor de las margas frente a las calizas, tiene también su respuesta en la distribución del  $\text{CaCO}_3$  (%), con trazado de las curvas asimétricas y pendientes diferentes.

Los lechos M28, C28, M29, C29, M30 (segundo grupo, Figs. 3D-F) han sido escogidos por el diferente comportamiento, ya evidenciado en los análisis globales (Fig. 2A), donde se detecta una continuada caída del  $\text{CaCO}_3$  (%) hasta el techo de las margas (Fig. 3F). En detalle, el lecho M-28, arranca con un 55%, superado en los dos análisis siguientes (61 y 62,5%). A partir de este último, se produce una caída gradual con dos puntos de caída mayor (M28-4 y M28-10). En nuestra opinión, estas dos caídas pudieran marcar una variación climática, mientras que el resto sigue una caída gradual

hasta alcanzar el 54,5% (M28-11). El lecho C28, evidencia un crecimiento continuo hasta llegar a los máximos de 75,6 y 73,5% (C28-9 y C28-10). Ello nos indica, que no se produce la caída esperada, desde la zona central hasta el techo, sino que en el techo se dan los valores más altos. En el lecho M29, la primera muestra tiene un valor de 55,3%, y decae hasta un mínimo de 42,5% (M29-5), para seguidamente dar un salto brusco (51,6%) y decaer gradualmente hasta 43,6% (M29-10). A partir de este punto crece hasta el 55% (M29-15). El lecho C29, tiene un comportamiento semejante a C28, con valores iniciales muy bajos (55,6%) semejantes a M29-15 y crece gradualmente hasta el techo (67,3%) C29-10. El último análisis corresponde al siguiente lecho de marga (M30-1) con un 58,3%. Se puede concluir que el comportamiento de este segundo grupo es diferente al primero, con valores máximos de  $\text{CaCO}_3$  (%) justo en el techo de las calizas y con señales diferentes en las margas, donde no queda marcada con nitidez el comportamiento de recuperación hacia techo (M28) y sí en el M29. Se produce una diferencia significativa y brusca

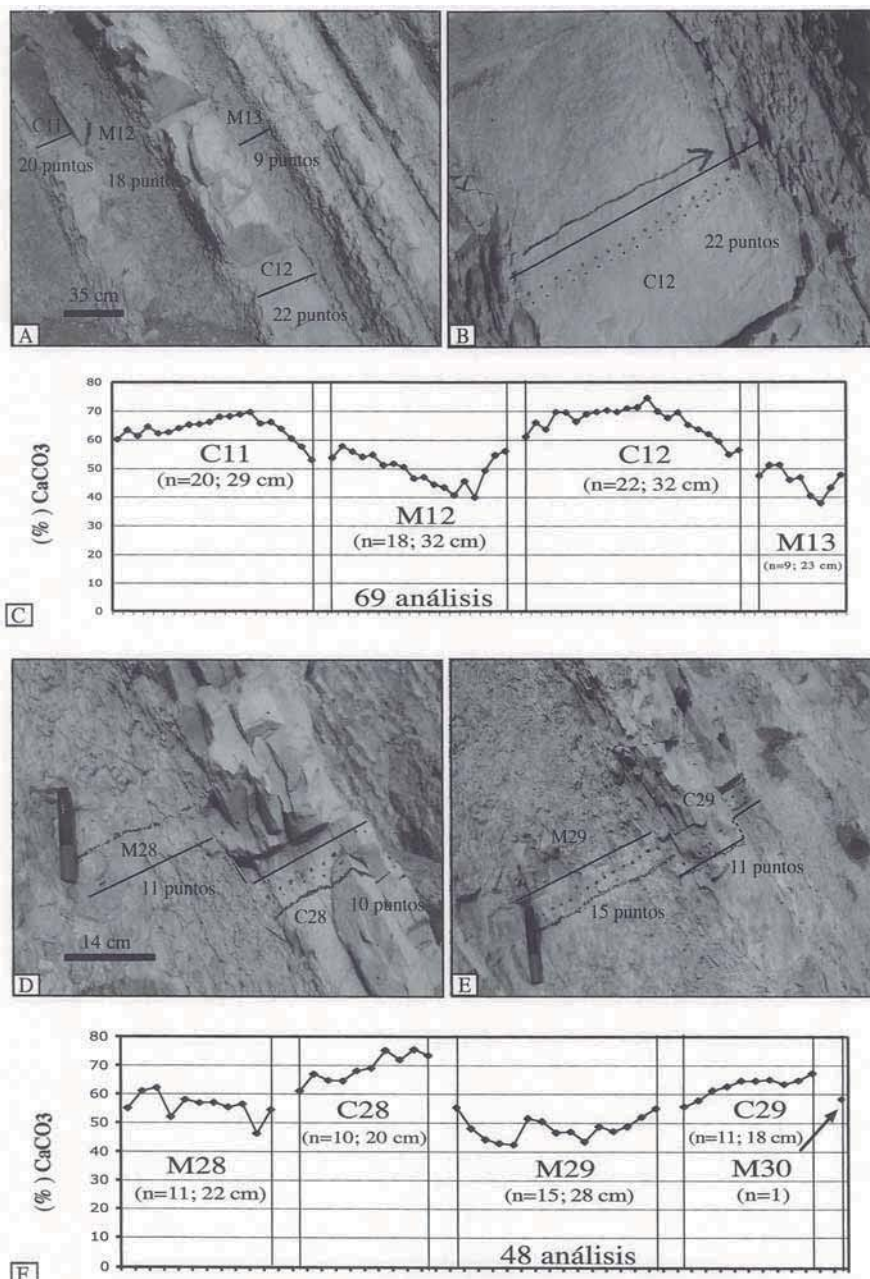


Fig. 3.-Detalle de los lechos analizados y variaciones del (%)  $\text{CaCO}_3$  en alta resolución. Explicaciones en el texto.

Fig. 3.- Close-up of the analyzed layers and high resolution (%)  $\text{CaCO}_3$  variations. See text.

(18,2%) en el paso de C28-10 a M29-1. Contrariamente, el salto de M29-15 a C29-1 es inapreciable (0,6%).

### Conclusiones

Los 55 ritmos M-C estudiados suman 33 m y representan ~1100 ka. de registro geológico. El espesor medio es 59,7 cm. que corresponde ~60cm/20ka. Los espesores de los lechos margosos (34,9 cm) son siempre superiores a los calizos (24,9 cm). El diagrama de Fischer, detecta varios picos de máxima sedimentación y un mínimo muy marcado, que pudiera corresponder a cambios relativos del nivel del mar con un

rango próximo al ciclo largo (~400 ka) de excentricidad. La ritmicidad reconocida a simple vista, queda confirmada con los  $\text{CaCO}_3$  (%) obtenidos en 30 ritmos escogidos y 179 análisis realizados. Las curvas dibujadas no llegan a ser simétricas, con una tendencia a desplazar los mínimos de carbonato hacia el muro de las calizas. El análisis de alta resolución en varios ritmos (<2cm/muestra, 117 análisis), destaca la falta de simetría de las curvas y un comportamiento diferente, que apunta a una caída gradual desde el muro de la marga a mínimos en su techo y máximos en el techo de la caliza. Se produce una respuesta desigual ante el lavado por aguas meteóricas, aun-

que la tendencia es de aumentar el  $\text{CaCO}_3$  (%) en las superficies lavadas. Por análisis espectral, se detectan dos frecuencias, una cada 6 análisis que corresponden al ritmo M-C; producido por la precesión cada ~20 ka; y otra frecuencia cada 25,7 análisis, es decir cada 4,28 ritmos, que se corresponde con los ~85,6 ka, producido por la excentricidad de la rotación de la Tierra.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó por los seis primeros firmantes como ejercicio práctico en la asignatura «Trabajos de Campo en Petrología Sedimentaria» impartida por J. Elorza durante el curso 2004-05 en la UPV/EHU. Agradecemos al Dr. M. Rivas (Dpto. Física Teórica, UPV/EHU) su asesoramiento en el análisis espectral y al revisor anónimo.

### Referencias

- Dinarés-Turell, J., Baceta, J.I., Pujalte, V., Orue-Etxebarria, X. y Bernaola, G. (2002). *Terra Nova*, 14, 371-378.
- Dinarés-Turell, J., Baceta, J.I., Pujalte, V., Orue-Etxebarria, X., Bernaola, G. y Lorigo, S. (2003). *Earth and Planetary Science Letters*, 216, 483-500.
- Fischer, A.G. (1964). *Geological Survey of Kansas Bulletin*, 169, 107-149.
- Gómez-Alday, J.J., Lopez, G. y Elorza, J. (2004). *Cretaceous Research*, 25, 649-668.
- House, M.R. (1995). En: *Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy*. (M.R. House y A.S. Gale, Eds). Geological Society, London, Special Publication, 85, 1-18.
- Hennebert, M. y Dupuis, C. (2003). *Geobios*, 36, 707-718.
- Mount, J. y Ward, P. (1986). *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 228-236.
- Pujalte, V., Baceta, J.I., Orue-Etxebarria, X. y Payros, A. (1998). En: *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. (P-Ch. De Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin y P. Vail, Eds). Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Special Publication 60, 311-325.
- Ten Kate, W.G. y Sprenger, A. (1993). *Sedimentary Geology*, 87, 69-101.
- Schwarzacher, W. (1994). En: *Orbital forcing and cyclic sequences*. (P.L. De Boer y D.G. Smith, Eds). Special Publication of the International Association of Sedimentologists, 19, 87-97.
- Shackleton, N.J., Crowhurst, S., Weedon, G.P. y Laskar, J. (1999). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A357, 1907-1929.