

# Espesores y contenido de CaCO<sub>3</sub> en los pares marga-caliza del Daniense (Sopelana, Arco Vasco)

*Thickness and (%) CaCO<sub>3</sub> contents in the marl-limestone couplets of the Danian (Sopelana, Basque Arc)*

E. Domínguez, J. Echeberria, I. Gómez-Urtasun, R. Ibisate, B. Martínez-García y J. Elorza (\*)

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

## ABSTRACT

The Sopelana sea-cliff section exposes, a continuous marl-limestone alternation from the Danes in the deep Basque Arc domain. The 95 rhythms studied represent ~1180 ka and correspond to ~20cm/20ka. The limestone layers are thicker than marls and the Fischer diagram detects several shifts of high sedimentation and some well-marked minimums. The high-resolution of the twelve limestone layers (<1cm/analysis; 317 analysis, 3.06 m) shows complex curves indicative of climatic fluctuations. The pink-white colour variations are indicative of accidental oxygenated water masses presence, without diagenesis influence.

**Key words:** cyclostratigraphy, marl/limestone couplets, automatic calcimeter, Danes

Geogaceta, 41 (2007), 67-70  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La Cicloestratigrafía que estudia las repeticiones litológicas producidas en el registro estratigráfico, tiene como primer objetivo analizar el origen de sus causas, lo que está permitiendo avanzar en la resolución de variados problemas paleoambientales (Schwarzacher, 1994; House, 1995; Shackleton *et al.*, 1999). La ritmicidad, como alternancia repetida de dos litologías (marga/caliza; lutita/evaporita; limo/arcilla), es la evidencia más común. Los ciclos y ritmos, detectados en sedimentos pelágicos y carbonatos marinos someros, son jerarquizados en rangos, desde la escala milimétrica en muestras observables al microscopio (primer rango) hasta en los gráficos de correlación entre secciones estratigráficas o perfiles sísmicos (cuarto rango). La determinación de las causas de orden mayor, predominantemente alo-cíclicas, bien de origen tectono-eustáticas y/o climáticas, será el objetivo final a alcanzar. Los cambios climáticos globales, generados como consecuencia de las modificaciones orbitales (precesión, oblicuidad, excentricidad), producen los ciclos entre otros de 5º orden (de 20-40-100 ka). La diferenciación de ciclos de diferente rango superpuestos se pueden esclarecer 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 Paleógeno (Mount y Ward, 1986; Ten Kate y Sprenger, 1993;

Pujalte *et al.*, 1998; Dinarés-Turell *et al.*, 2002; 2003). Nuestro objetivo ha sido continuar desarrollando la línea iniciada con la caracterización de los ritmos del Maastrichtense inferior (Alvarez-Llano *et al.*, 2006), pero en los materiales basales de las llamadas comúnmente «calizas rosas del Danés». En la sección escogida, los pares «couplets» se disponen agrupados de manera singular en «multiplets», para pasar a los conjuntos abiertos «open bundles». Las variaciones en espesor de cada par M-C y las fluctuaciones en los valores de CaCO<sub>3</sub> (%), justamente en una parte del registro donde el predominio de las calizas es mayoritario. Además, los cambios de color (blanco a rosa) que presentan hacen singular y de gran interés el tramo estudiado. También nos permite evidenciar las diferencias más relevantes obtenidas respecto a los ya comentados pares del Maastrichtense inferior.

## Contexto Geológico

Los materiales objeto de estudio se encuentran expuestos de forma continua en los acantilados de la playa de Sopelana (noreste de Bilbao), constituidos por pares de M-C agrupados a su vez en conjuntos de diferentes maneras (apretados, amalgamados y abiertos), sin que se produzcan intercalaciones de episodios turbidíticos ni deslizamientos que generen brechas intraformacionales. Plegados por la orogenia alpina, con dirección N120°E, y buzamiento 50-60°SW, ocasionalmente se aprecian desplazamientos de lechos entre sí, además de

presentar fallas inversas de vergencia NW, de escaso salto que permite su seguimiento.

El pequeño fragmento de registro estratigráfico escogido pertenece a las calizas rosas pelágicas y margas hemipelágicas del Daniense (Paleógeno inferior), constituye una parte del flanco noreste del Sinclinorio de Bizkaia y corresponde a su vez al Dominio del Arco Vasco en la Cuenca Vasco Cantábrica (Figs. 1A-B). El ambiente deposicional está considerado como de fondo de cuenca y alcanza las biozonas de *Eoglobigerina pseudobulloides* y *Eoglobigerina trinidadensis* (Pujalte *et al.*, 1998). Como microfósiles aparecen exclusivamente caparzones aplastados pero completos de equínidos. Los *Zoophycos* y *Planolites* son los icnofósiles predominantes. Los sedimentos del Paleógeno se depositaron en ambientes de pie de talud «slope apron», fondo de cuenca «basin floor», y canal submarino profundo «deep-sea channel», limitados por las calizas someras de la Plataforma Noribérica al Sur y la Plataforma de Aquitania al Norte. Respecto a las secuencias deposicionales (DS) y cortejos sedimentarios establecidos por Pujalte *et al.* (1998), los primeros pares analizados quedan englobados en la codificada como DS-M/D (Maastrichtense/Daniense) y pertenecen a un HST (*high sea-level, Highstand*), con los pares formando «multiplets» dominados completamente por calizas blancas y separadas por unas superficies milimétricas margosas, retocadas tectónicamente. Le sigue la DS-P1 (Paleoceno), iniciada con el cambio de co-

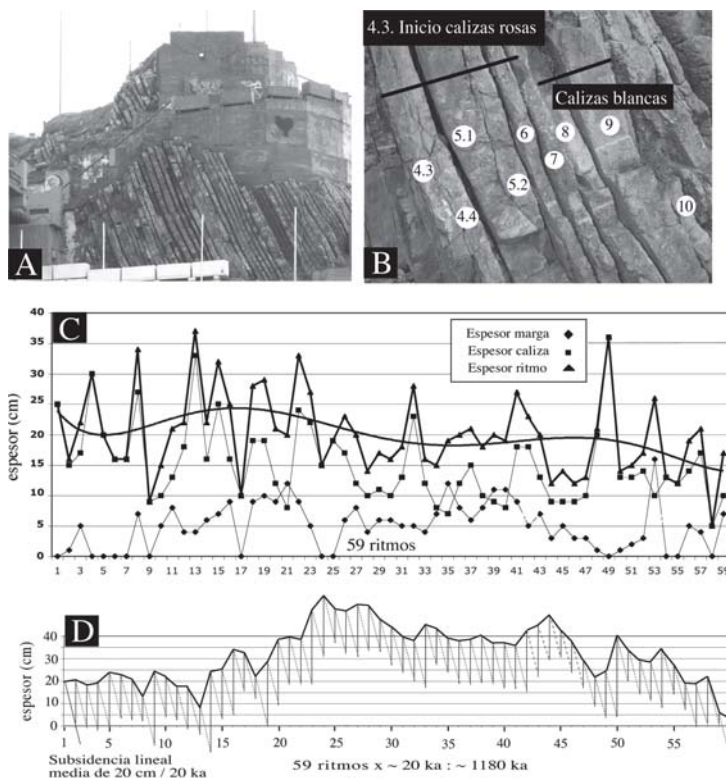


Fig. 1.- Sección de Sopolana con los ritmos estudiados. Explicaciones en el texto.

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

lor a calizas rosas, considerado como un SLF (sea-level fall, Lowstand-fan) con los ritmos abiertos, donde siguen dominando las calizas, aunque ya existen unos delgados lechos de margas. El siguiente paso, lo darán los pares amalgamados durante el au-

mento inicial del nivel del mar (initial sea-level rise), que corresponde con un «Lowstand wedge».

**Metodología**

La metodología utilizada ha sido: a) medición independiente y en conjunto del espesor de 59 pares continuos M-C (11,85 m) y su representación en el diagrama de Fischer. b) análisis de alta resolución del CaCO<sub>3</sub> (%) en las calizas de 16 pares seleccionados (~1 análisis/cm; 317 análisis y 3,06 m). c) 11 análisis del CaCO<sub>3</sub> (%) y del contenido arcilloso en las margas, donde fue posible extraer muestra dada la extrema delgadez. Las calizas pueden diferenciarse por sus tonos rosas (10R 7/4 a 10R 6/6) y grises-blancuecinas (5GY 7/1 a N/8) según la GSA Rock Colour Chart (basado en el sistema Munsell ®). La determinación del contenido en CaCO<sub>3</sub> (%) de un total de 328 muestras se ha realizado siguiendo los fundamentos del método de Bernard, por medio del «Calcímetro Automático» con una fiabilidad de 4%, fabricado por Aquitaine Technique Innovation (Burdeos).

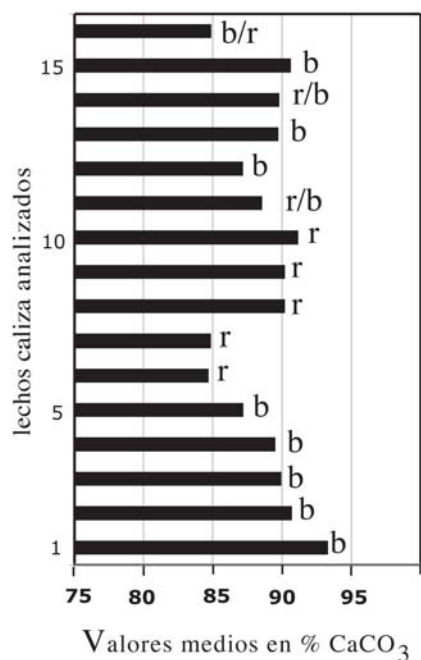


Fig. 2.- Variaciones del (%) CaCO<sub>3</sub> en los lechos calizas de los 16 ritmos.

Fig. 2.- The 16 rhythms with (%) CaCO<sub>3</sub> limestone variations.

**Resultados y discusión**

En condiciones normales podemos aceptar que la «precesión de los equinoccios» tiene una influencia climática directa y es la principal causante de los ritmos M-C. El va-

lor 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 con transferencias de fracciones detríticas arcillosas, procedentes de la plataforma y áreas continentales emergidas próximas. La permanencia en el otro polo propicia un clima más seco, con dominio de la sedimentación carbonatada. Si estas permanencias son parecidas, las potencias marga-caliza serán semejantes y mostrarán un relativo equilibrio. Cuando el dominio de las calizas resulta mayoritario, habrá que buscar la causa que justifique: a) la formación de «multiplets», con una mínima representación de las margas; b) el alto contenido en CaCO<sub>3</sub> (%) de las calizas frente al bajo de las margas.

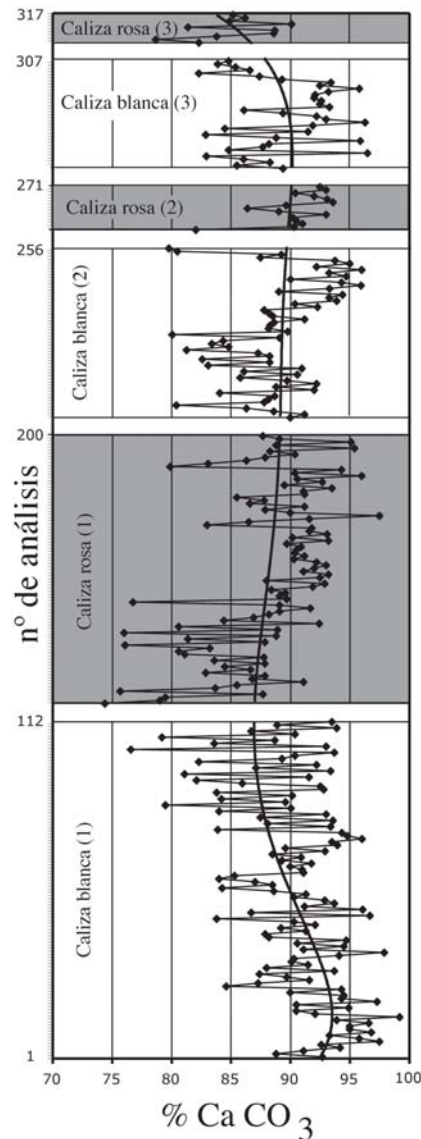


Fig. 3.- Variaciones del (%) CaCO<sub>3</sub> en los lechos de caliza blanca y rosa analizados. Explicaciones en el texto.

Fig. 3.- The white and pink limestone layers (%) CaCO<sub>3</sub> variations. See text.

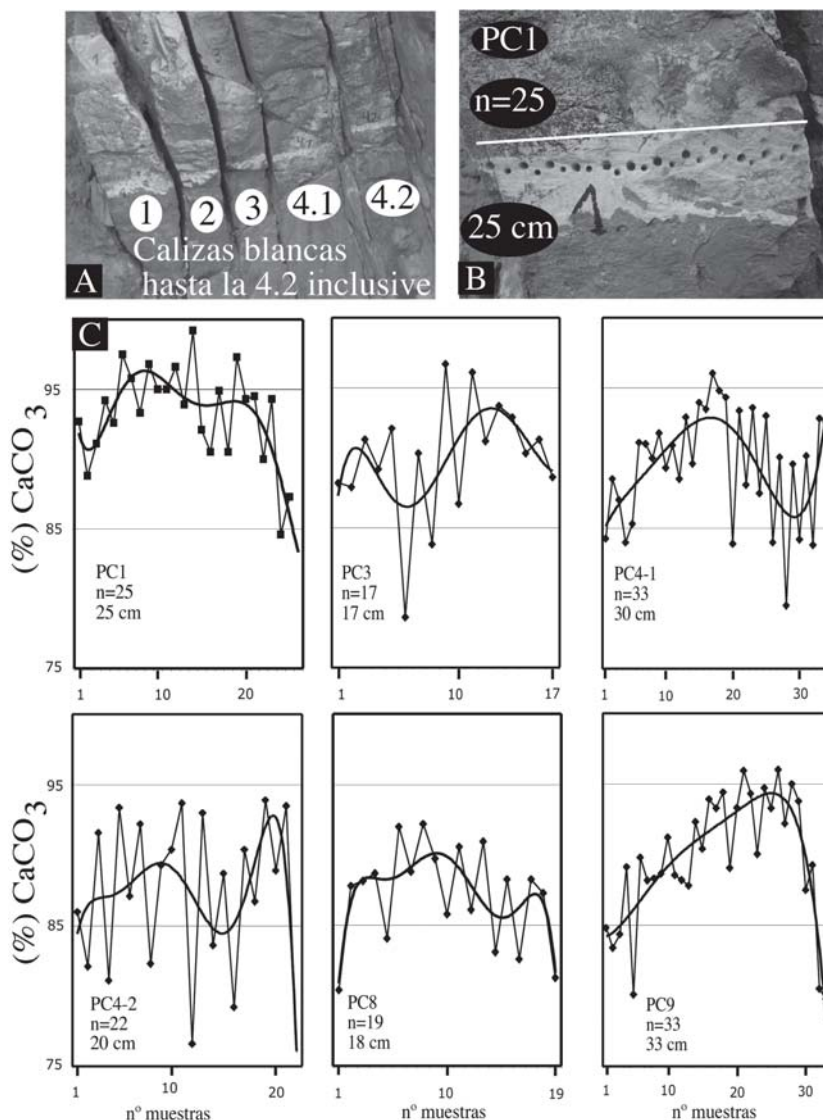


Fig. 4.- Detalle de algunos lechos analizados y variaciones del (%)  $\text{CaCO}_3$  en alta resolución. Explicaciones en el texto.

Fig. 4.- Close-up of some analyzed layers and (%)  $\text{CaCO}_3$  variations. See text.

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

La potencia total de los 59 ritmos medidos comprende 11,85 metros, donde las calizas son mayoritarias (8,94 m) frente a las margas (2,91 m) (Fig. 1C). Si aceptamos que un par M-C equivale aproximadamente a 20ka, los ritmos medidos corresponden a unos 1180ka. Ello produce un valor medio aproximado en la tasa de sedimentación de 20cm/20ka. Al construir el diagrama de Fischer (Fig. 1D), mediante una línea básica patrón con una inclinación correspondiente a la subsidencia lineal media de 2m/200ka, 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 (~300ka), marcado por los mínimos en los ritmos 18, 32 y 48. Los máximos de sedimentación se producen en los ritmos 16, 24, 33, 44 y 50 y unos mínimos en 13, 18, 32,

48 y 59. Los lechos de margas en los «multiplets» apretados quedan marcados por netas superficies de separación, de unos pocos milímetros, en ocasiones retocadas tectónicamente y que aparentemente no parecen ser indicativas de constituir el lecho margoso correspondiente al ritmo M-C.

#### Valores de las calcimetrías en los 16 ritmos

Los 317 análisis calcimétricos obtenidos en las calizas y los 11 análisis en las margas han sido efectuados exclusivamente en los primeros 16 pares (PC1 a PC12), cuya potencia total es de 3,06 m (Tabla 1). Es decir, más de un análisis cada 1 cm (306 cm/317  $\approx$  1 cm) en las calizas. Destaca su alto valor medio de  $\text{CaCO}_3$  (89,1% $\pm$ 4,6) registrado, mientras que las margas tienen un valor medio de  $\text{CaCO}_3$  realmente bajo (39,4% $\pm$ 10). Estas características quedan mejor resaltadas si comparamos con el valor medio de las calizas (n=90;

67,3% $\pm$ 5,7) y de las margas del Maastrichtiense inferior (n=90; 51,7% $\pm$ 9,3), referenciadas en Alvarez-Llano *et al.* (2006). No ha sido posible establecer un análisis espectral por la falta del componente margoso, dada su deficitaria presencia en los M-C.

La proyección de los valores medios del componente calizo de los 16 pares, señala ciertas tendencias: es neta la pérdida de contenido en  $\text{CaCO}_3$ , en los siete primeros ritmos basales (1-7), independientemente del color blanco (b) o rosa (r) de las calizas, para luego aumentar en los tres siguientes pares de caliza rosa (8-10). El paso de r/b (par 11) y continuación (par 12), con calizas blancas decae con respecto a los anteriores, para luego mantenerse en valores próximos al 90% en los siguientes pares (13-15). El último par (16), presenta una caída clara en su contenido en  $\text{CaCO}_3$ , además de mostrar un cambio de coloración b/r en el mismo lecho (Fig. 2, Tabla 1).

Diferenciamos las calizas por sus colores, que se disponen de muro a techo de la serie: a) Calizas blancas (1). (PC1-1 a PC4-2.11; 107 cm; n° análisis = 112;  $\text{CaCO}_3$  = 90,3%; b) Calizas rosas (1). (PC4.3-1 a PC7-5; 87 cm; n° análisis = 88;  $\text{CaCO}_3$  = 88,0%; c) Calizas blancas (2). (PC7-6 a PC9-16; 55 cm; n° análisis = 56;  $\text{CaCO}_3$  = 88,8%; d) Calizas rosas (2). (PC10-1 a PC10-8); 14 cm; n° análisis = 15;  $\text{CaCO}_3$  = 90,5%; e) Calizas blancas (3). (PC10-9 a PC12-3; 33 cm; n° análisis = 36;  $\text{CaCO}_3$  = 89,4%; f) Calizas rosas (3). (PC12-4 a PC12-7; 10 cm; n° análisis = 10;  $\text{CaCO}_3$  = 85,0%.

La totalidad de las calizas blancas (n = 204) tienen un valor medio de 89,7%  $\pm$  4,5 y las calizas rosas (n = 113) un valor de 88,1% $\pm$  4,8  $\text{CaCO}_3$ . En la primera serie de calizas blancas (1), se dibuja un transecto irregular con una ligera tendencia a bajar los contenidos de carbonato a medida que ascendemos en la serie. A partir del PC4-4 se produce, el cambio brusco de coloración a calizas rosas (1) y dibuja un transecto con tendencia a ascender, para caer suavemente con los últimos análisis. La serie continúa con el relevo a calizas blancas (2) con un ascenso de los valores y caída también en los últimos análisis. Esta serie blanca es relevada por una delgada serie de calizas rosas (2), que sobrepasa los contenidos de las calizas blancas, con una fuerte recuperación llegando a sobrepasar el 90%. La caliza blanca (3) inmediatamente por encima, responde con una tendencia simétrica con ascenso suave y caída a partir de la zona central. Por último las calizas rosas (3), tienen una tendencia similar con una caída en el valor medio importante, respecto a las anteriores (Fig. 3).

Par	Calizas	Espesor	nº muestras		Margas	Espesor	nº muestras	
			Total = 317	% CaCO <sub>3</sub>			Total = 11	% CaCO <sub>3</sub>
1	PC1(b)	25	25	93,3		0		
2	PC2(b)	15	15	90,7		1		
3	PC3(b)	17	17	89,9	PM3	5	1	26,3
4	PC4-1(b)	30	34	89,5		0		
5	PC4-2(b)	20	22	87,2		0		
6	PC4-3 (r)	16	15	84,7		0		
7	PC4-4 (r)	16	16	84,8		0		
8	PC5-1 (r)	27	27	90,2	PM5-1	7	1	34,1
9	PC5-2 (r)	9	7	90,2		0		
10	PC6 (r)	10	11	91,1	PM6	5	1	46,2
11	PC7(r/b)	13	15	88,5	PM7	8	1	33,5
12	PC8(b)	18	19	87,2	PM8	4	1	38,9
13	PC9(b)	33	33	89,7	PM9	4	1	37
14	PC10(r/b)	16	19	89,8	PM10	6	1	49,6
15	PC11(b)	25	27	90,6	PM11	7	1	29,8
16	PC12(b/r)	16	15	84,9	PM12	9	1	33,3
					PM13	9	2	52,2

Tabla I.- Valores obtenidos en espesores, nº de análisis y valores medios (%) CaCO<sub>3</sub> en los 16 pares.

Table I.- Values in thickness, nº of analysis and (%) CaCO<sub>3</sub> mean values from the 16 couples.

La ligera diferencia en contenidos entre la totalidad de las calizas blancas (89,7% ±4,5) y rosas (88,1%±4,8), junto con los valores medios entre calizas blancas (1, 2 y 3) y calizas rosas (1, 2 y 3), no parecen ser suficientemente relevantes para invocar un origen diferente entre ellas. Así, podemos descartar la hipótesis de aportes continentales bien diferenciados por causas climáticas, que deberían señalar fuertes fluctuaciones en el contenido de carbonato y una coloración diferente. Bien parece que el depósito de estos sedimentos con un alto contenido en carbonato, y la tendencia a una caída regular en los pares (1-7) se produce independientemente de su coloración. Realizado el análisis por DRX del residuo insoluble de las calizas, se constata la presencia de hematites además de cuarzo, illita y smectita en las calizas rosas, mientras que las blancas emiten el mismo espectro, pero sin la fase de hematites. Entendemos que el aporte fue el mismo, sin notables modificaciones en el contenido (% CaCO<sub>3</sub>), pero durante el «tránsito» del sedimento hasta el fondo de cuenca, pudo atravesar masas de aguas frías, no siempre presentes, con un mayor grado de oxigenación. La oxidación quedó reflejada en la coloración rosa, que se detecta tanto en el paso de un ritmo a otro, como incluso, en el interior del lecho calizo o margoso. En este caso, el cambio queda marcado por una línea, que en detalle se hace gradual, como puede apreciarse en el lecho de caliza (PC12). Eso mismo se evidencia en el lecho de marga PM13, que pasa de marga gris a marga rosada hacia techo. Es decir, la precipitación de hematites se produce a partir del hierro liberado por los materiales detríticos fundamentalmente arcillosos, aportados por el continente. Las masas de aguas frías y oxidantes pudieron estar intermitentemente en una posición intermedia, pues las señales de bioturbación registradas en el sedimento como *Planolites*, *Zoophycos* y *Chondrites*, son

consideradas como indicativas de baja oxigenación (Clase B, Poletti *et al.*, 2004). En conclusión, consideramos que cuando el barro calcáreo se depositó en el fondo de cuenca ya había adquirido la coloración blanca o rosa que presenta actualmente, sin que la diagénesis posterior participara.

La alta frecuencia de análisis (% CaCO<sub>3</sub>) para cada lecho de caliza (~1 análisis/cm), nos permite asegurar que muchos transectos dibujando una curva compleja (curva polinómica de tendencia 6) con varios máximos y mínimos (Figs. 4A-C). A pesar de la aparente homogeneidad litológica, las variaciones composicionales de CaCO<sub>3</sub> detectadas, pueden representar ligeras fluctuaciones climáticas, dentro de un periodo de clima más seco con dominio de la sedimentación carbonatada, y que son independientes de la coloración blanca o rosada. Este comportamiento, resulta diferente al observado en los pares del Maastrichtiense, donde, en general, se marca un trazado simple aunque no simétrico, con un máximo en la zona central o desplazado hacia el techo de la caliza (ver Fig. 3; Alvarez-Llano *et al.*, 2006). En el PC9 parece que inicia la recuperación regular del trazado, con un único máximo (Fig. 4C), semejante a los pares del Maastrichtiense.

### Conclusiones

Los 59 ritmos M-C estudiados suman 11,85 m y representan ~1180 ka. de registro geológico. El espesor medio de cada ritmo es de 20,08 cm que corresponde a ~20cm/20ka. El espesor total de los lechos margosos (2,91 m) es minoritario respecto a las calizas (8,94 m). El diagrama de Fischer, detecta varios picos de máxima sedimentación y mínimos marcados, que pudieran corresponder a cambios relativos del nivel del mar con dos rangos próximos al ciclo largo (~300 ka) de excentricidad. El análisis de alta resolución en los 16 lechos de calizas estudiados (<1cm/ análisis, 317 análisis), destaca el alto valor

medio de CaCO<sub>3</sub> en las calizas (89,1%±4,6) frente las margas (39,4%±10). La mayor complejidad de las curvas, sugiere ligeras fluctuaciones climáticas, dentro de un periodo de clima más seco. El color rosa de las calizas frente al blanco, parece haber sido adquirido por precipitación de hematites durante el «tránsito» a través de ocasionales masas de aguas más oxigenadas, antes de su depósito en el fondo de cuenca.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó por los cinco primeros firmantes como ejercicio práctico en la asignatura «Trabajos de Campo en Petrología Sedimentaria» impartida por J. Elorza durante el curso 2005-06 en la UPV/EHU. Agradecemos al Dr. M. Rivas (Dpto. Física Teórica, UPV/EHU) su asesoramiento en el análisis matemático.

### Referencias

- Alvarez-Llano, I., Baguer, A., Martínez López de Sabando, M., Mugica, J., Pérez-García, J.R., Unanue, L. y Elorza, J. (2006). *Geogaceta*, 32, 131-134.
- 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.
- 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.
- Mount, J. y Ward, P. (1986). *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 228-236.
- Poletti, L., Premoli Silva, I., Masetti, D., Pipan, M. y Clips, M. (2004). *Sedimentary Geology*, 164, 35-54.
- 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.
- Shackelton, N.J., Crowhurst, S., Weedon, G.P. y Laskar, J. (1999). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A357, 1907-1929.