

# CONTROL ORBITAL DEL FLUJO DE COCOLITOFÓRIDOS DURANTE EL PLIOCENO SUPERIOR EN EL PACÍFICO ECUATORIAL (ODP LEG 138)

José Abel FLORES<sup>1</sup>, F. Javier SIERRA<sup>1</sup> y Fernando DE PABLO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca

<sup>2</sup> Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca

## ABSTRACT

From the coccolith flux estimation in two eastern equatorial Pacific sites (ODP Site 849 and 852, Leg 138), a spectral analysis was carried out in order to detect some periodicity related to the Milankovitch frequencies. The studied interval in the upper Pliocene (4 to 2 Ma) was divided into two periods: between 4 and 3.2 Ma, and between 3.2 and 2 Ma. The reentry of *Coccolithus pelagicus* at 3.2 Ma was used to define the boundary between both intervals. Site 849, located in a region of oceanographic divergence, shows lower coccolith fluxes than Site 852, located in the convergence area; however, in both sites, the coccolith flux distribution was mainly controlled by precession and obliquity. The eccentricity frequencies are weakly defined.

**Keywords:** Coccolithophorids, Pliocene, Eastern Equatorial Pacific, Paleoceanography, Milankovitch cycles.

## RESUMEN

A partir del cálculo de los flujos de los cocolitofóridos en dos localidades del Pacífico ecuatorial (ODP Leg 138) se realiza el análisis espectral, con el objeto de determinar si se define cierta periodicidad en su distribución. El intervalo de estudio considerado es entre los 4 y los 2 Ma, y a su vez ha sido subdividido en dos; de 4 a 3,2 y de 3,2 a 2 Ma, respectivamente, como consecuencia de las condiciones paleoceanográficas diferentes de uno y otro. Las localidades, Site 849 y Site 852, se sitúan en las zonas de divergencia y convergencia, respectivamente, del sistema oceánico actual. Pese a que los flujos que se registran en uno y otro punto son sensiblemente diferentes, en ambos casos se ha podido definir un esquema de distribución similar, observándose una periodicidad que se relaciona con variaciones en la oblicuidad y precesión terrestres. La excentricidad no encuentra una definición tan marcada.

**Palabras clave:** Cocolitofóridos, Plioceno, Pacífico ecuatorial oriental, Paleoceanografía, ciclos de Milankovitch.

## INTRODUCCIÓN

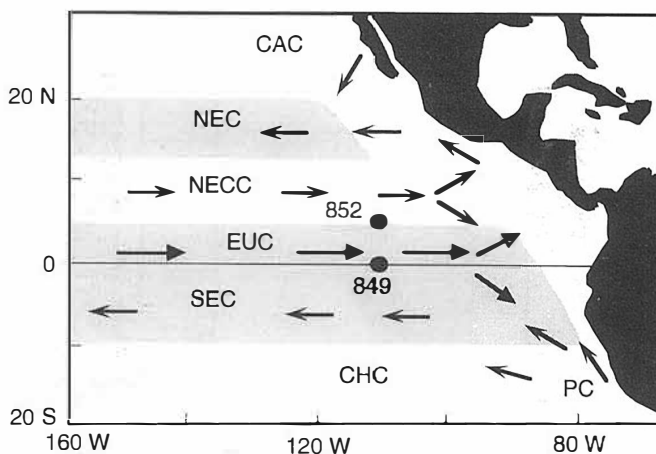
La campaña 138 del *Ocean Drilling Program* (ODP) formó parte de una serie de expediciones de perforación y recuperación de sedimentos del fondo oceánico, centradas en el estudio y evolución del clima y su repercusión en la paleoceanografía del Pacífico ecuatorial durante los últimos 16 Ma.

Desde un punto de vista oceanológico, las once estaciones de sondeo realizadas durante dicha campaña se localizan en el sector de influencia del sistema oceánico del Pacífico ecuatorial oriental. De acuerdo con las apreciaciones de Chávez y Barber (1987), en esta región se da alrededor de la mitad de la producción primaria mundial. La Fig. 1 muestra esquemáticamente el sentido de desplazamiento y límites de las principales masas de agua en el Pacífico ecuatorial. La Contracorriente Norecuatorial (North Equatorial Countercurrent - NECC) se distingue por poseer un bajo contenido en nutrientes biolimitantes, mientras que la Corriente Surecuatorial (South Equatorial Current - SEC), aporta aguas enriquecidas en nutrientes procedentes del margen suramericano. En la denominada "divergencia ecuatorial" se genera una zona de surgencia cuyo efecto es el aporte de nutrientes a la zona eufótica, procedentes de las masas de agua intermedias y profundas, enriquecidas en esos elementos como consecuencia del alto tiempo de residencia. El modelo que hoy en día se observa está esencialmente controlado por la dinámica atmosférica y la consecuente situación de la Convergencia Intertropical (ITC) (Pisias y Prell, 1985).

Los análisis preliminares llevados a cabo a bordo durante la campaña (Mayer, Pisias, Janacek, *et al.*, 1992), han puesto de manifiesto que los nanofósiles calcáreos, en particular los cocolitofóridos, son muy abundantes en todos los testigos extraídos. Asimismo han demostrado ser una excelente herra-

mienta bioestratigráfica (Raffi y Flores, en prensa), paleoclimática y paleoceanográfica (Farrell *et al.* y Flores *et al.*, en prensa).

Los cocolitofóridos (y por extensión la mayoría de los nanofósiles calcáreos) son organismos fotoautótrofos cuyos procesos vitales están ligados de forma directa a las peculiaridades que presente la capa fótica; esto es, las características oceanográficas y propiedades físico-químicas de la capa superior del océano, que al tiempo es muy sensible a los cambios climáticos asociados a la variación de la radiación solar



**Figura 1.** Situación de las localidades estudiadas y esquema sintético de la circulación oceánica del Pacífico ecuatorial oriental. Corrientes superficiales: CAC: Corriente de California; NEC: Corriente Norecuatorial; NECC: Contracorriente Norecuatorial; SEC: Corriente Surecuatorial; PC: Corriente de Perú; CHC: Corriente de Chile. Corriente subsuperficial: EUC: Corriente subsuperficial ecuatorial.

incidente en la superficie de nuestro planeta. Estos cambios deberían afectar a las asociaciones de nanoplancton. De acuerdo con la hipótesis orbital (planetaria) de Milankovitch, la radiación solar recibida por la Tierra en el pasado sería función periódica de tres parámetros básicos (dentro de los correspondientes a bandas de frecuencia relativamente altas): excentricidad ( $\approx 100$  Ka), oblicuidad ( $\approx 41$  Ka) y precesión ( $\approx 23$  y  $19$  Ka). Asumido ese control climático sobre las asociaciones en el tiempo, algunos autores han demostrado que la distribu-

ción de ciertos grupos emblemáticos de nanofósiles, como son los asterolitos (Backman y Pestiaux, 1987; Chepstow-Lusty *et al.*, 1989 y 1992), o ciertos placolitos (Beaufort y Aubry, 1990), pudo estar controlada por aquellos parámetros orbitales. Asimismo, en el Plioceno superior tuvo lugar un hecho paleogeográfico fundamental, determinante en la distribución y características de las masas de agua superficiales y profundas que se identifican en el área, cual fue el cierre del estrecho de Panamá (Coates *et al.*, 1992). A éste ha de añadirse el inicio de la ampliamente discutida glaciación del Plioceno superior en el Hemisferio Norte (Shackleton y Opdyke, 1977).

En el presente trabajo se fija como objetivo fundamental examinar en qué medida los grupos de cocolitofóridos cuantitativamente más importantes responden ante la variabilidad de diversos parámetros paleoceanográficos, bien de naturaleza astronómico-climática, bien de índole paleogeográfica, en dos puntos, *Site 849* y *Site 852* (Fig. 1), con características oceanológicas distintas, para el intervalo comprendido entre 4 y 2 Ma.

El *Site 849* se sitúa en el área de divergencia ecuatorial ( $0^\circ$  de latitud; Fig. 1), en consecuencia en una región de alta productividad. Pese a que a lo largo del Cenozoico la posición paleogeográfica ha sido muy variable, entre los 4 y los 2 Ma, se ha mantenido próxima a la actual (van Andel *et al.*, 1975; Mayer, Pisias, Janacek, *et al.*, 1992). La profundidad de sondeo fue de 3.859 m, cercana a la lisoclina, pero por encima del Nivel de Compensación del Carbonato (CCD) en el área. Aunque el registro de cocolitofóridos es constante a lo largo del intervalo estudiado, algunos cambios de los horizontes reseñados determinaron variaciones en el grado de preservación de los mismos (Farrell, *et al.*, en prensa). El *Site 852* se sitúa en el área de convergencia oceánica, muy próxima a los límites entre la SEC (con flujo dominante al W) y la NECC (con flujo hacia el E) (Fig. 1). Los trabajos regionales realizados en las inmediaciones de esta localidad (van Andel *et al.*, 1975; Duncan and Clague, 1985) demostraron que el punto en cuestión se situó siempre en latitudes por encima del Ecuador, fuera de la zona de influencia de la divergencia ecuatorial, y por lo tanto en un área con una productividad sensiblemente inferior a la que pudo haber tenido lugar en el *Site 849*.

## MATERIAL Y TÉCNICAS

Siguiendo las descripciones realizadas a bordo (Mayer, Pisias, Janacek, *et al.*, 1992), para el presente estudio se realizó un muestreo a intervalos de entre 10 y 20 cm, variable en función de la tasa de sedimentación de cada testigo e intervalo, lo que supone una resolución próxima a los 8 Ka. En ambas localidades se emplearon para el muestreo dos testigos, a efectos de obtener un registro continuo. Para ello se siguieron las indicaciones y modelos propuestos por Hagelberg *et al.* (1992) quienes definieron las "profundidades compuestas" (*composite depths*) para la campaña que nos ocupa (Fig. 2).

El *Site 849* está esencialmente constituido por fangos de nanofósiles, con cantidades variables de diatomeas y foraminíferos. De acuerdo con Shackleton *et al.* (1992), la tasa de sedimentación entre los 4 y los 2 Ma en esta localidad se situó alrededor de los  $2,65 \text{ cm Ka}^{-1}$ , mientras que la tasa de acumulación de masa de sedimento (*mass accumulation rate*, MAR), fue de  $2 \text{ g cm}^{-2} \text{ Ka}^{-1}$ . De los dos testigos considerados se estudiaron un total de 272 muestras.

El *Site 852* está constituido por fangos de foraminíferos y nanofósiles, con intercalaciones de arcillas. Siguiendo los datos de Shackleton *et al.* (1992), la tasa de sedimentación fue de  $1,08 \text{ cm Ka}^{-1}$ , mientras que la MAR fue próxima a los  $0,7 \text{ g cm}^{-2} \text{ Ka}^{-1}$ , con ocasionales descensos hasta los  $0,5 \text{ g cm}^{-2} \text{ Ka}^{-1}$ . De esta localidad se estudiaron un total de 224 muestras.

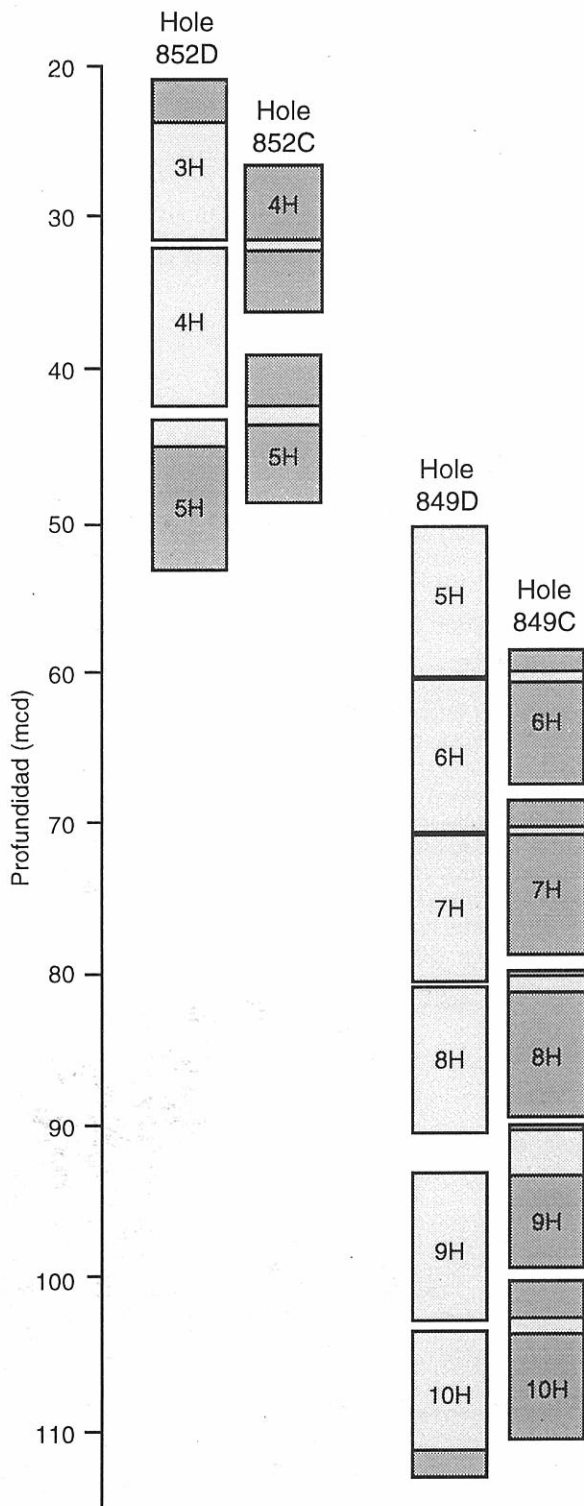


Figura 2. Testigos (Holes) y profundidad de sondeo en metros de profundidad compuesta (*mcd = composite depth*), seleccionados para el muestreo de alta resolución. Con trazo claro se representan los intervalos en los que se han extraído muestras.

### Técnicas de preparación

Las preparaciones de las muestras estudiadas se realizaron siguiendo el procedimiento descrito por Flores *et al.* (en prensa), con el fin de obtener el número de cocolitos por gramo. Para ello, una masa de sedimento seco (g) se introduce en un volumen de agua (V); conseguida su total disgregación y previo agitado, se extrae un volumen (v) con ayuda de una micropipeta, al tiempo que se deposita en una cápsula de Petri (R: radio) en la que se ha añadido un volumen de agua y depositado en su fondo un cubreobjetos. Una vez han sedimentado todas las partículas en el fondo de la cápsula (cubreobjetos), se evapora lentamente el líquido. El "medio microscópico" empleado para la elaboración de las placas fue "Eukitt", y la observación se realizó con un microscopio petrográfico a 1250 aumentos (r: radio del campo visual). De los cocolitos de talla superior a las 3 µm se contaron en torno a 400 ejemplares, en campos visuales tomados al azar; en los mismos campos en que se observaron esos ejemplares, se contaron los cocolitos cuya talla era inferior a las 3 µm (n: cocolitos contados de cualquier grupo o taxon).

Según lo expuesto, el número de cocolitos por gramo (T) se obtiene de la expresión:

$$T = n R^2 V r^{-2} g^{-1} v^{-1}$$

A su vez, el flujo de cocolitos se calcula:

$$\text{cocolitos cm}^{-2} \text{ ka}^{-1} = T (\text{cocolitos g}^{-1}) \times \text{densidad en seco} (\text{g cm}^{-3}) \times \text{tasa de sedimentación} (\text{cm ka}^{-1})$$

La densidad se obtuvo de los datos registrados a bordo (Mayer, Pisias, Janacek, *et al.*, 1992), interpolando linealmente entre los valores disponibles más próximos a techo y a muro de la muestra considerada. En lo que a la tasa de sedimentación se refiere, se emplearon las estimaciones de Shackleton *et al.* (1992).

El microscopio electrónico de barrido sólo se ha empleado puntualmente para precisiones de índole preservacional y/o sistemático.

### Análisis espectral

Con el objeto de detectar en qué medida se definen las bandas de frecuencia de Milankovitch, se ha llevado a cabo un análisis espectral, para lo cual se han seguido las propuestas de Jenkins y Watts (1968), Koopmans (1974) y Priestley (1981), entre otros. Las series empleadas se han dividido en dos intervalos: entre los 4 y 3,2 Ma, y entre los 3,2 y 2 Ma. Estos intervalos muestrales han sido elegidos considerando el evento paleoceanográfico anteriormente comentado, que se produjo ca. 3,2 Ma y cuya manifestación más significativa en las asociaciones de cocolitofóridos es la reaparición de *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller en la zona (Flores *et al.*, en prensa). La resolución con que se ha trabajado en cada una de las series de flujos de los cuatro grupos y especies considerados, es de alrededor de 8 Ka, lo que supone el mínimo de resolución para períodos de unos 16 Ka (frecuencia de Nyquist =  $1/2\Delta T$ ; donde T es el intervalo muestral). En todos los análisis espectrales efectuados, la varianza muestral obtenida está dentro del 80 % del nivel de confianza seleccionado. La anchura de banda (BW) estandarizada, se representa en cada uno de los periodogramas (Figs. 3-6).

### MODELO DE EDAD Y BIOESTRATIGRAFÍA

Para el presente trabajo se ha empleado el modelo desrollado por Shackleton *et al.* (en prensa a), establecido con material de la misma campaña 138 del ODP. Este modelo se fundamenta en el calibrado de las señales magnetoestratigráficas,

ca, bioestratigráfica (de diferentes grupos de organismos) (radiolarios, diatomeas, nanofósiles y foraminíferos planctónicos) y cambios de alta frecuencia en la densidad (GRAPE; Hagelberg *et al.*, 1992), con la curva de insolación (Berger y Loutre, 1991).

La definición y calibrado de los principales eventos bioestratigráficos observados o definidos en la campaña 138 por medio de nanofósiles calcáreos, aparecen en Raffi y Flores (en prensa), Flores *et al.* (en prensa), así como en Shackleton *et al.* (en prensa b). Entre 4 y 2 Ma destacan los siguientes eventos: LAD (último registro de) *Reticulofenestra pseudumbilicus* (Gartner) Haq (3,8 Ma), LAD *Sphenolithus* spp. (3,7 Ma), LAD *Discoaster tamalis* Kamptner (2,8 Ma), y LAD *Discoaster surculus* Martini y Bramlette y LAD *Discoaster pentaradiatus* Tan (2,5 Ma). Otros eventos de fácil reconocimiento en la región, pero no incluidos en los esquemas bioestratigráficos habituales, aparecen descritos en las citas reseñadas.

### TAFONOMÍA

La disolución ejerce un control selectivo sobre los diferentes táxones de nanofósiles calcáreos (Roth y Thierstein, 1972; Flores, 1985). En el presente trabajo, la estimación del grado de alteración por disolución de las asociaciones se ha llevado a cabo siguiendo las propuestas de Rio *et al.* (1990) y Raffi y Flores (in Mayer, Pisias, Janacek *et al.*, 1992), a su vez inspiradas en los trabajos de Roth y Thierstein (1972). Esta estimación se ha basado tanto en la abundancia relativa de grupos o táxones con mayor o menor grado de alterabilidad, como en el grado de corrosión que presentan ciertos elementos estructurales de los nanofósiles. Para este último caso el análisis rutinario de microscopio óptico se completó con el llevado a cabo al microscopio electrónico de barrido, en muestras seleccionadas.

En la localidad 852, los intervalos que muestran mayor grado de disolución son entre 3,94 y 3,6 Ma, 3,35 y 3,05, y entre 2,32 y 2,21 Ma. En el caso de la localidad 849, entre 3,35 y 2,99, y alrededor de los 2,70 Ma. La alternancia de episodios de disolución diferencial se relaciona con fluctuaciones del CCD y de la lisoclina en el contexto regional, en buena medida ligadas a la producción de carbonato, esencialmente por parte de los cocolitofóridos (Flores *et al.*, en prensa); sin embargo el mecanismo ha sido ampliamente discutido, y por el momento no existe una respuesta unánime al respecto (Farrell y Prell, 1989, Farrell *et al.*, en prensa).

Otra posible causa de la alteración de la tanatocenosis original en el área de estudio serían las corrientes de fondo. En el Site 575, Pujos (1985) comentó la posible influencia de corrientes de fondo sobre los sedimentos, cuya respuesta sería el sustancial incremento de los foraminíferos planctónicos en detrimento de los nanofósiles. Idénticas observaciones han sido llevadas a cabo por Flores *et al.* (en prensa), analizando los datos preliminares obtenidos durante la campaña (Mayer, Pisias, Janacek, *et al.*, 1992). Sin embargo, el efecto producido por este mecanismo no ha podido ser evaluado con precisión hasta el momento.

El registro de formas retrabajadas es esporádico, no sobrepasando el 0,01 % en relación a las autóctonas, siendo los asterolitos provenientes de materiales del Mioceno Superior las más frecuentes.

### RESULTADOS

Los cocolitofóridos son los integrantes cuantitativamente más importantes de las asociaciones nanoplanctónicas calcáreas del Plioceno del Pacífico ecuatorial. En las dos localidades estudiadas se observan asociaciones similares, si bien

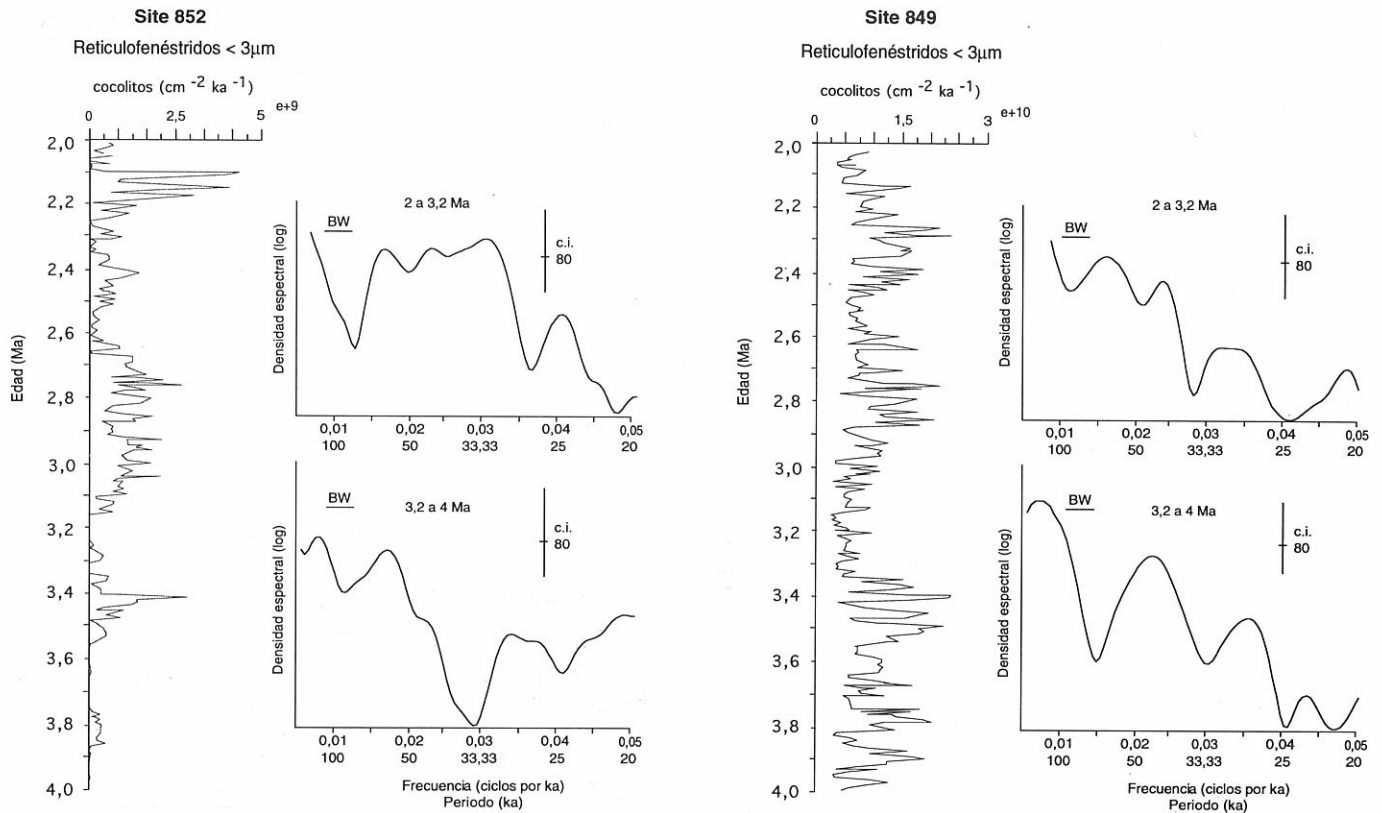


Figura 3. Flujo de cocolitos de los Reticulofenestrids inferiores a  $3 \mu\text{m}$ , y periodogramas (log de la densidad espectral vs. frecuencia), en las localidades 849 y 852 del ODP. La barra horizontal (BW) marca la anchura de banda; la línea vertical (c.i.) el intervalo de confianza al 80 %.

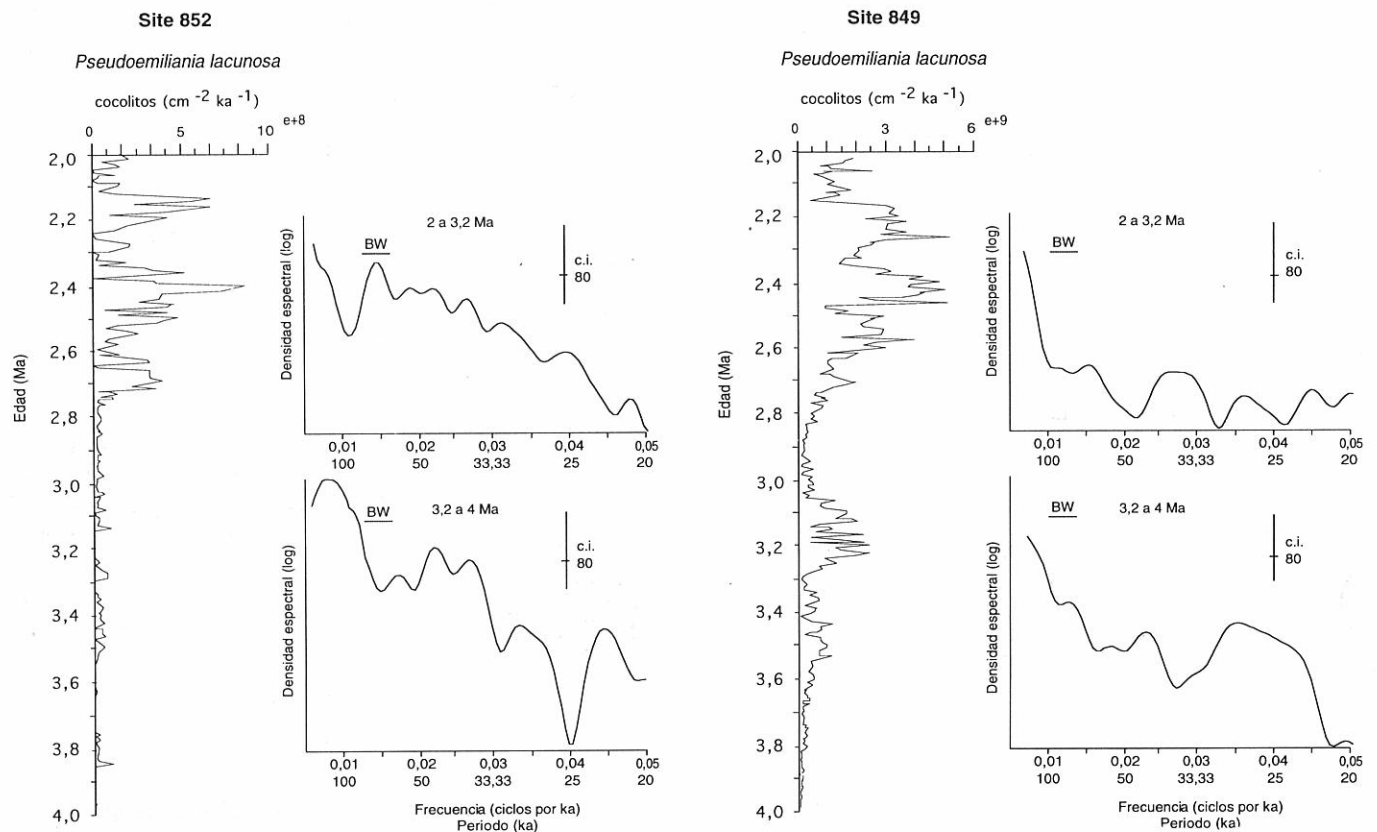


Figura 4. Flujo de cocolitos de *Pseudoemiliana lacunosa*, y periodogramas (log de la densidad espectral vs. frecuencia), en las localidades 849 y 852 del ODP. La barra horizontal (BW) marca la anchura de banda; la vertical (c.i.) el intervalo de confianza al 80 %.



cuantitativamente se muestran diferencias notables (Figs. 3 a 6). Las especies o grupos morfológicos tenidos en cuenta en el presente estudio han sido *Pseudoemiliania lacunosa* (Kamptner) Gartner, *Calcidiscus leptoporus* (Murray y Blackman) Loeblich y Tappan, *Helicosphaera carteri* (Wallich) Kamptner y el grupo de los denominados Reticulofenéstridos menores de 3  $\mu\text{m}$  (VSR = very small Reticulofenestrads), en los que se incluyen placolitos cuyo diámetro máximo es igual o inferior a las 3  $\mu\text{m}$ . La pequeña talla de estos organismos, y la consiguiente dificultad en identificar ciertas especies, han obligado a su agrupamiento. Bajo el citado término se incluyen *Reticulofenestra minuta* Roth y *Dictyococcites productus* (Kamptner) Backman, si bien la inmensa mayoría de los especímenes pertenecen a la primera de estas especies. Otras especies de cocolitoferidos, como es el caso de *C. pelagicus*, los Reticulofenéstridos mayores de 3  $\mu\text{m}$  (*Reticulofenestra haqii* Backman, *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq, *Dictyococcites antarcticus* Haq, o *Geminolithella rotula* (Kamptner) Backman, no se han tenido en consideración al registrarse de forma discontinua, o bien hacerlo en proporciones inferiores al 1%.

En términos generales, y previamente al análisis detallado de los distintos grupos o especies que sigue, las Figs. 3 a 6 ponen de manifiesto que el flujo de cocolitoferidos registrado en el *Site* 849 es muy superior al que se observó en el *Site* 853.

**Los Reticulofenéstridos menores de 3  $\mu\text{m}$  (VSR)**

Estos organismos muestran los máximos flujos y abundancia relativa en el *Site* 849. Estas pequeñas formas son además sensibles a la disolución, y en consecuencia pueden ser empleadas para estimar fluctuaciones de parámetros paleoceanográficos tales como la posición de la lisoclina y CCD. Se

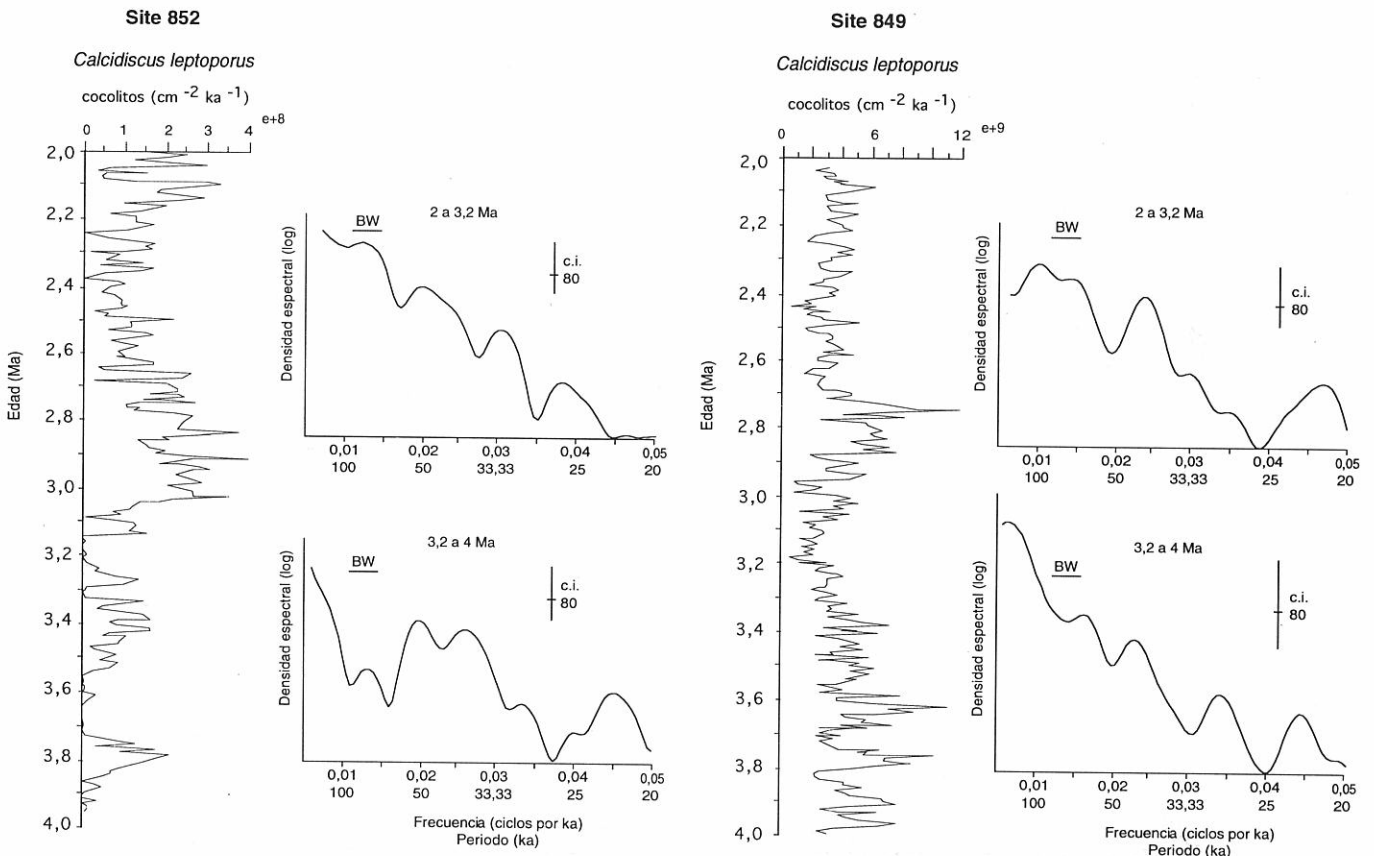
pone así de manifiesto que los episodios de disolución son más importantes e intensos en el *Site* 852 que en el 849. Ligado en cierta medida con lo anterior, hacia 3,20 y 2,50 Ma registran las menores tasas de acumulación en ambas áreas. Es de destacar que la tasa de acumulación en el *Site* 849 muestra un modelo similar antes y después de los 3,2 Ma. No sucede lo mismo en el *Site* 852, donde antes de los 3,4 Ma los valores registrados son en términos generales sensiblemente inferiores (Fig. 3).

*Pseudoemiliania lacunosa*

Con una gama de tallas considerablemente amplia (de 3 a 6  $\mu\text{m}$ ), este taxón presenta una distribución similar en ambas localidades, con máximos flujos a partir de 2,7 Ma. El intervalo previo a los 2,8 Ma presenta tasas de acumulación relativamente bajas, con máximos entre los 3,30 y 3,05 Ma en el *Site* 849 (Fig. 4). El intervalo de 4 a 3,2 Ma en el *Site* 852 ha de tomarse con cautela, dado que la disolución podría haber afectado a la asociación de cocolitoferidos.

*Calcidiscus leptoporus*

Se trata de una especie no muy importante cuantitativamente, pero sí con registro continuo. Se observan máximos en sus flujos entre los 4,0 y 3,2 Ma, y de 3,08 a 2,7 Ma, con un mínimo a los 3,2 Ma. El número de ejemplares es muy superior en el *Site* 849 respecto del 852. La disolución parece haber afectado sólo ligeramente a su registro en el *Site* 849, mientras que en el *Site* 852, en el lapso previo a los 3,2 Ma, pudo ser más intensa. La tendencia observada en ambas localidades es similar, si bien, en el *Site* 849, los flujos son



**Figura 5.** Flujo de cocolitos de *Calcidiscus leptoporus*, y periodogramas (log de la densidad espectral vs. frecuencia), en las localidades 849 y 852 del ODP. La barra horizontal (BW) marca la anchura de banda; la vertical (c.i.) el intervalo de confianza al 80%.

más continuos y muy similares antes y después de 3,2 Ma (Fig. 5).

### *Helicosphaera carteri*

Tal como puede observarse en la Fig. 6, este helicólito, relativamente soluble, muestra un patrón de distribución muy similar al de *C. leptoporus*. La tendencia de los flujos es muy similar en ambas localidades, pero afectada por la disolución en el intervalo anterior a los 3,2 Ma en el Site 852.

### Análisis espectral

Del análisis de los periodogramas, en los que se muestra el espectro de la varianza *versus*, la frecuencia (Figs. 3 a 6) se extrae:

Intervalo de 4 a 3,2 Ma: Para la anchura de banda considerada, en este intervalo se interpreta que existe una definición patente de las bandas de frecuencias media y alta (oblicuidad y precesión) para los cuatro grupos/especies considerados, en el Site 849. Puntualmente, *H. carteri*, en las frecuencias medias, y *P. lacunosa*, en las altas, muestran valores débiles. En el Site 852 se observa un esquema similar, con cierto grado de indefinición de las frecuencias altas en los VSR. En lo que respecta a los niveles de baja frecuencia (excentricidad), para ambas localidades, no se halla una clara definición, con la excepción de *H. carteri* en el Site 852 (Figs. 3 a 6 y Tabla 1).

Intervalo de 3,2 a 2 Ma: En las frecuencias altas y medias el patrón es similar al expuesto para el lapso anterior, si bien con un mayor grado de indefinición para el Site 852, donde las frecuencias altas y medias tienen en general una débil representación. Para ambas localidades, la excentricidad se

define más claramente en la señal registrada por *C. leptoporus* y *H. carteri* (Figs. 3 a 6 y Tabla 1).

En ambos intervalos, junto a las bandas del espectro formuladas por Milankovitch, esto es, las asociadas a 100, 41 y ca. 20 Ka, se reconocen, a veces de forma intensa, otras en torno a los 60 y 30 Ka (Figs. 3 a 6).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El evento de reaparición de *C. pelagicus* en torno a los 3,2 Ma, coincide con el establecimiento del sistema de circulación meridional que hoy en día rige en la zona (Fig. 1), y la consecuente introducción de especies frías (Flores *et al.*, en prensa). Aproximadamente al mismo tiempo se acentuaría la restricción en la comunicación entre Atlántico y Pacífico, a través del entonces existente estrecho de Panamá (Coates *et al.*, 1992). El mismo evento coincidiría con un incremento en la circulación termohalina responsable del cambio en la química de las masas de agua profundas, y la consecuente caída del CCD (Flores *et al.*, en prensa), similar al registrado en el Atlántico Norte para el mismo lapso (Dowsett *et al.*, 1993). Las asociaciones de cocolitofoídos son cualitativamente similares en el intervalo entre 4 y 2 Ma.; sin embargo, cuantitativamente muestran ciertas diferencias. En general, los flujos inferiores en el intervalo entre 4 y 3,2 Ma son congruentes con una mayor disolución en ciertos niveles, así como con la probable menor producción. En el intervalo de estudio, los máximos en el flujo de carbonato podrían coincidir con intervalos de mayor productividad, dada la relación que existe entre el contenido en carbonato y el de cocolitofoídos (Berger, 1971; Flores *et al.*, en prensa). Los mínimos en productividad acaecieron entre 3,3 y 3,1 Ma y de 2,6 a 2,5 Ma. Estos lapsos coinciden con altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (Prell, 1985; Shack-

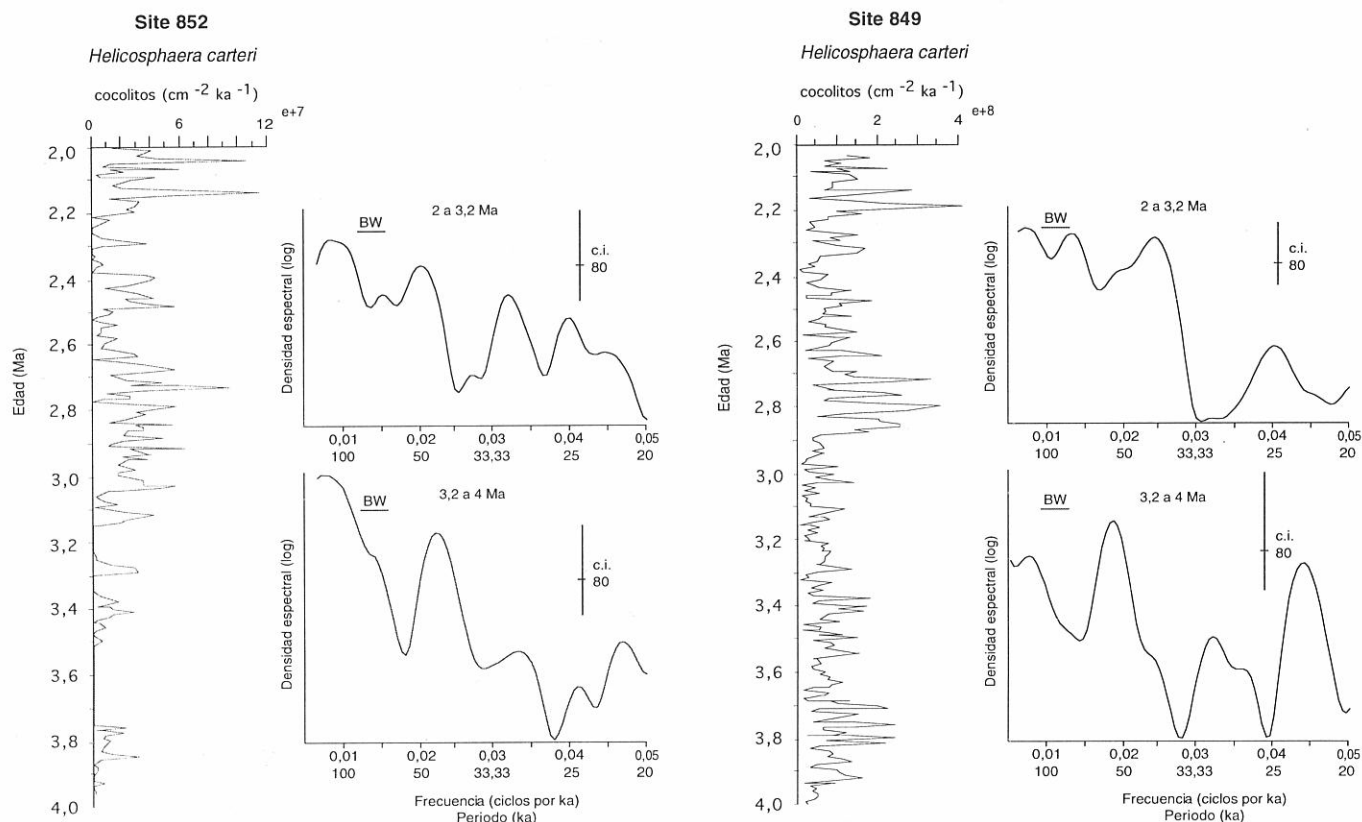


Figura 6. Flujo de cocolitos de *Helicosphaera carteri*, y periodogramas (log de la densidad espectral vs. frecuencia), en las localidades 849 y 852 del ODP. La barra horizontal (BW) marca la anchura de banda; la vertical (c.i.) el intervalo de confianza al 80%.

leton y Opdyke, 1977, Keigwin, 1982 y 1987), interpretados como episodios de menor temperatura.

Los estudios llevados a cabo con asterolitos en el Plioceno Superior del Atlántico Norte han puesto de manifiesto que su distribución parece estar controlada por cambios en la insolación, debidos a la excentricidad, oblicuidad y precesión (Backman y Pestiaux, 1987; Chepstow-Lusty, 1989), o esencialmente debidos a la oblicuidad (Backman *et al.*, 1986). De acuerdo con nuestros datos los flujos de las especies y grupos de coccolitofóridos durante el Plioceno superior en el Pacífico ecuatorial, se relacionan asimismo con cambios en la insolación registrada en las masas de agua superficiales, como efecto de cambios en la oblicuidad y precesión planetarias. Por el contrario, la excentricidad y su periodicidad en torno a los 100 Ka, característica del Pleistoceno, no presenta una clara definición en esos organismos del plancton. Asimismo es de destacar que esos efectos son los mismos en la zona de divergencia que en la de convergencia, sin relación con la mayor o menor productividad que pueda acusarse en una u otra área, anteponiéndose el proceso global al local. La disolución variable observada a lo largo de las localidades e intervalos estudiados, así como una respuesta no lineal de algunos de los organismos considerados ante los cambios en la insolación, podría explicar la indefinición o enmascaramiento de las frecuencias altas y medias.

Las bandas del espectro de la varianza que definen períodos de alrededor de 60 y 30 Ka, han sido previamente detectadas por otros autores y pueden obedecer a: 1) períodos astronómicos secundarios (Berger, 1977), o 2) una respuesta no lineal del espectro, o armónicos o perturbaciones derivadas del intervalo de muestreo, y/o cambios en la tasa de sedimentación difíciles de detectar. La concentración de la señal en frecuencias altas del espectro, coincidentes con períodos de ca. 200 Ka y superiores, pueden responder a un efecto de *aliasing* (Pisias y Mix, 1988), y en consecuencia no relacionadas directamente con parámetros astronómicos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer profundamente la ayuda prestada por el Dr. John Farrell, de la British Columbia University, como introductor a la técnica espectral, así como por las discusiones mantenidas. A dos revisores anónimos y al editor de esta revista, Dr. Marcos Lamolda, por sus sugerencias. Al ODP por la cesión de muestras para su estudio, así como a los técnicos dependientes de esta organización en College Station y científicos participantes, por el esfuerzo realizado durante el muestreo. A Jesús Roncero "Chuchi", por su valiosa ayuda en el arduo procesado de las muestras. Este trabajo ha sido subvencionado por el proyecto PB91-0097-02 de la DGICYT, a quien expresamos igualmente nuestra gratitud.

BIBLIOGRAFÍA

Backman, J., Pestiaux, P., Zimmerman, H. and Hermelin, O. 1987. Paleoclimatic and paleoceanographic development in the Pliocene North Atlantic: *Discoaster* accumulation and coarse fraction data. In: *North Atlantic Paleooceanography*. Summarhayes, C.P. and Shackleton, N.J. (Eds.). *Geological Society Special Publication*, **1**, 231-242.

Backman, J. and Pestiaux, P. 1987. Pliocene *Discoaster* abundance variations, Deep Sea Drilling Project Site 606: biochronology and paleoenvironmental implications. In: Ruddiman, W.F.; Kidd, R.B.; Thomas, E., *et al.*, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **94**, Pt. 2, 903-910.

Beaufort, L. and Aubry, M.P. 1990. Fluctuations in the composition of Late Miocene calcareous nannofossil assemblages as a response to orbital forcing. *Paleoceanography*, **5**, 845-865.

Berger, W.H. 1971. Sedimentation of planktonic foraminifera. *Marine Geology*, **11**, 325-358.

Berger, A. 1977. Support for the astronomical theory of climatic change. *Nature*, **269**, 44-45.

Berger, A., and Loutre, M.F. 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Review*, **10**, 297-317.

Chavez, F.P. and Barber, R.T. 1987. An estimate of new production in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research, Part A*, **34**, 1229-1243.

Chepstow-Lusty, A., Backman, J. and Shackleton, N.J. 1989. Comparison of Upper Pliocene *Discoaster* abundance variations from North Atlantic sites 552, 607, 658 and 662: further evidence from marine plankton responding to orbital forcing. In: Ruddiman, W., Sarnthein, M., *et al.* *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **108**, 121-141.

Site 852		4-3,2 Ma			
Especies/Grupos	Reticulof. < 3µm	<i>P. lacunosa</i>	<i>C. leptoporus</i>	<i>H. carteri</i>	
Excentricidad	?	sí?	no	sí	
Oblicuidad	?	sí	sí	sí	
Precesión	sí?	sí	sí	sí	

Site 849		4-3,2 Ma			
Especies/Grupos	Reticulof. < 3µm	<i>P. lacunosa</i>	<i>C. leptoporus</i>	<i>H. carteri</i>	
Excentricidad	no	no	?	?	
Oblicuidad	sí	sí	sí	sí?	
Precesión	sí	sí?	sí	sí	

Site 852		3,2-2 Ma			
Especies/Grupos	Reticulof. < 3µm	<i>P. lacunosa</i>	<i>C. leptoporus</i>	<i>H. carteri</i>	
Excentricidad	no	no	?	sí	
Oblicuidad	sí?	sí	?	sí?	
Precesión	sí?	sí	?	sí?	

Site 849		3,2-2 Ma			
Especies/Grupos	Reticulof. < 3µm	<i>P. lacunosa</i>	<i>C. leptoporus</i>	<i>H. carteri</i>	
Excentricidad	no	no	sí	no?	
Oblicuidad	sí	sí	sí	sí	
Precesión	sí	sí	sí	sí	

Tabla 1. Interpretación de la periodicidad de la excentricidad (≈100 Ka), oblicuidad (≈41 Ka) y precesión (≈23 y 19 Ka), en el flujo de distintas especies y grupos de coccolitofóridos, en las localidades 852 y 849 del ODP, en los intervalos consignados.

- Chepstow-Lusty, A., Shackleton, N.J. and Backman, J. 1992. Upper Pliocene *Discoaster* abundance from the Atlantic, Pacific, and Indian oceans: the significance of productivity pressure at low latitudes. *Memorie di Scienze Geologiche*, 44, 357-373.
- Coates, A.G., Jackson, J.B., Collins, L.S., Cronin, T.M., Dowsett, H.J., Bybell, L.M., Jung, P. and Obando, J.A. 1992. Closure of the Isthmus of Panama: The near-shore marine record of Costa Rica and Western Panama. *Geological Society of America Bulletin*, 104, 814-828.
- Dowsett, H.J., Cronin, T.M., Poore, R.Z., Thompson, R.S., Whatley, R.C. and Wood, A.M. 1993. Micropaleontological evidence for increase meridional heat transport in the North Atlantic during the Pliocene. *Science*, 258, 1133-1135.
- Duncan, R.A. and Clague, D.A. 1985. Pacific plate motion recorded by linear volcanic chains. In: *The Ocean Basins and Margins* (Eds. Nairn, A.E.M., Stehli, F.G., and Uyeda, S.). Plenum, New York, 7A, 89-21.
- Farrell, J.W. and Prell, W.L. 1989. Pacific Ca CO<sub>3</sub> preservation and  $\delta^{18}O$  since 4 Ma: paleoceanic and paleoclimatic implications. *Paleoceanography*, 6, 485-498.
- Farrell, J., Raffi, I., Janecek, T., Murray, D., Levitan, M., Dadey, K., Emeis, K.C., Lyle, M., Flores, J.A. and Hovan, S. (en prensa). Late Neogene sedimentation patterns in the Eastern equatorial Pacific ocean (Leg 138). In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 138.
- Flores, J.A. 1985. *Nanoplancton calcáreo en el Neógeno del borde noroccidental de la Cuenca del Guadalquivir (SW de España)*. Tesis Doctoral (Resumen). Universidad de Salamanca, 1-36.
- Flores, J.A., Sierro, F.J. and Raffi, I. (en prensa). Evolution of the calcareous nannofossil assemblage as a response to the paleoceanographic changes in the Eastern equatorial Pacific from 4 to 2 Ma (Leg 138, Sites 849 and 852). In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 138.
- Hagelberg, T., Shackleton, N.J., Pisias, N. and the Shipboard Scientific Party. 1992. Development of composite depth sections for sites 844 through 854. In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 138, 79-85.
- Jenkins, G.M. and Watts, D.G. 1968. *Spectral analysis and its applications*. Holden Day, San Francisco, 1-525.
- Keigwin, L.D. 1982. Basis for the assignments at Deep Sea Drilling Project Sites 502-503. In: Prell, W.L., Gardner, J.V., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 68, 493-495.
- Keigwin, L.D. 1987. Pliocene stable-isotope record of Deep Sea Drilling Project Site 606: sequential events of  $^{18}O$  enrichment beginning at 3.1 Ma. In: Ruddiman, W.F., Kidd, R.B., Thomas, E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 94, 911-924.
- Koopmans, L.H. 1974. *The spectral analysis of time series*. Academic Press, New York, 1-366.
- Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., 1992. Eastern Equatorial Pacific. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 138, 1-1462.
- Pisias, N.G. and Mix, A. 1988. Aliasing of the geological record and the search for long-period Milankovitch cycles. *Paleoceanography*, 3, 613-619.
- Pisias, N.G. and Prell, W.L. 1985. Changes in calcium carbonate accumulation in the equatorial Pacific during the late Cenozoic: evidence for HPC Site 572. In: *The Carbon Cycle and Atmospheric CO<sub>2</sub> Natural Variations Archean to Present*. (Eds. Sundquist, E.T. and Broecker, W.S). American Geophysical Union, 443-454.
- Prell, W.L. 1985. Pliocene stable isotope and carbonate stratigraphy (Holes 572C and 573A): Paleoceanographic data bearing on the question of Pliocene glaciation. In: Mayer, L., Theyer, F., Thomas, E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 85, 723-734.
- Priestley, M.B. 1981. *Spectral analysis and time series*. Vol. I. Academic Press, London, 1-653.
- Pujos, A. 1985. Cenozoic nannofossils, Central Equatorial Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 85. In: Mayer, L., Theyer, F., Thomas, E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 85, 581-607.
- Raffi, I. and Flores, J.A. (en prensa). Pleistocene through Miocene calcareous nannofossils from Eastern equatorial Pacific ocean (ODP Leg 138). In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 138.
- Rio, D., Fornaciari, E. and Raffi, I. 1990. Late Oligocene through Early Pleistocene calcareous nannofossils from Western Equatorial Indian Ocean (Leg 115). In: Duncan, R.A., Backman, J., Peterson, L.C., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 115, 175-235.
- Roth, P.H. and Thierstein, H.R. 1972. Calcareous nannoplankton, Leg 14 of the Deep Sea Drilling Project. In: Hayes et al. (Eds.). *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 14, 421-494.
- Shackleton, N.J., Baldauf, J., Flores, J.A., Iwai, M., Moore, T., Raffi, I. and Vincent, E. (en prensa b). Biostratigraphic summary, ODP Leg 138. In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 138.
- Shackleton, N.J., Crowhurst, T., Hagelberg, T., Pisias, N.G. and Schneider, D.A., (en prensa a). A new Late Neogene Time scale: Application to Leg 138 sites. In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 138.
- Shackleton, N.J. and Opdyke, N.D. 1977. Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early Northern Hemisphere glaciation. *Nature*, 270, 216-219.
- Shackleton, N.J. and the Shipboard Scientific Party, 1992. Sedimentation rates: toward a GRAPE density stratigraphy for Leg 138 carbonate sections. In: Mayer, L., Pisias, N., Janecek, T., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports*, 138, 87-91.
- van Andel, T.H., Heath, G.R. and Moore, T.C., Jr. 1975. Cenozoic tectonics, sedimentation, and paleoceanography of the central equatorial Pacific. *The Geological Society of America*, Mem. 143, 1-134.

Manuscrito recibido: 11 de noviembre, 1994  
Manuscrito aceptado: 14 de febrero, 1995

