

# Control orbital de la dinámica de la surgencia de Perú durante los últimos 800 ka evidenciado por las asociaciones de Cocolitofóridos

*Orbital control of the Peru upwelling dynamics during the last 800 Ky revealed by Coccolithophore assemblages*

M.C. Álvarez <sup>(1,2)</sup>, J.A. Flores <sup>(1)</sup>, F.J. Sierro <sup>(1)</sup> y A. Molina-Cruz <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca.

<sup>(2)</sup> Laboratorio de Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMYL), UNAM, 04510 México D.F. a2741@usal.es, flores@usal.es, sierro@usal.es

## ABSTRACT

*In order to analyze the surface water dynamics in the Peru upwelling system zone during the last 800 Ka, we studied the calcareous nannofossil content. The ODP site 1237 coccolith assemblage revealed two dominant taxa: «small» Gephyrocapsa and Florisphaera profunda. The «small» Gephyrocapsa abundance increased between 0,2 and 0,45 Ma allowing us to interpret a shallow nutricline consequent with a Trade wind intensification. Relative increases in the Florisphaera profunda abundance occurred between 0,86-0,45 Ma and 0,20-0 Ma consistent with a deeper nutricline and weaker Trade winds. Spectral analyses in the Florisphaera profunda percentages show orbital frequencies with peaks at 100, 41 and 23 Kys.*

**Key words:** Pacific ocean, upwelling, Coccolithophores, Calcareous nannofossils, paleoproductivity, paleoceanography, orbital variability.

*Geogaceta, 38 (2005), 199-202  
ISSN: 0213683X*

## Introducción y marco oceanográfico

El testigo ODP 1237 (Ocean Drilling Program Leg 202) se encuentra situado en una región de intensa surgencia oceánica (*upwelling*) en el sureste del Pacífico: la denominada surgencia de Perú (Fig. 1).

En esta región, el transporte del agua superficial discurre principalmente en dirección E-O y está controlado por el giro subtropical del Pacífico (Molina-Cruz, 1978). El agua transportada hacia el este por los vientos contraalísios (al sur de 34°S), al chocar contra las costas de Suramérica es desviada hacia el norte, impulsando la formación del giro. Al norte de los 20° S, las corrientes se mueven hacia el oeste conducidas por los vientos alísios. La surgencia costera trae a la superficie aguas frías (16-20°C) y grandes concentraciones de nutrientes en disolución, tales como nitratos y fosfatos. Esta agua enriquecida en nutrientes provoca el desarrollo y eclosión del plancton, el cual sostiene poblaciones extensivas de peces (Molina-Cruz, 1978; Molina-Cruz, 1991; Lutgens y Tarbuck, 2001).

## Material y métodos

El testigo ODP 1237 se recuperó en la posición 16°0.421'S, 76°22.685'W, a unos 140 Km de la costa de Perú y a una profundidad de 3212 m. Consta de fangos carbonatados con una fracción silíceas variable.

El modelo de edad utilizado se estableció mediante la identificación de una serie de eventos bioestratigráficos calibrados geocronológicamente a partir del estudio de las asociaciones de nanofósiles

calcareos. Los puntos de referencia aplicados son: el primer registro regular de *Emiliania huxleyi*, identificado a los 5.25 m (0.26 Ma; Thierstein *et al.*, 1977), y el último registro de *Pseudoemiliania lacunosa*, a los 13.43 m (0.46 Ma; Thierstein *et al.*, 1977) (Tabla I). Tal como se muestra en la tabla I, estos datos no difieren sustancialmente de los obtenidos a bordo por Flores y Wei (2003) con menor resolución. Este modelo permite estimar una tasa de sedimentación que oscila entre los 20 y los 40 m/Ma.

EVENTO	Edad (Ma)	Flores y Wei (2003) profundidad (mcd)	Este trabajo, profundidad (mcd)	Tasa de sedimentación (m/Ma)
Techo del testigo	0		0,01	
FO <i>E. huxleyi</i>	0,26	5,39	5,25	20,15
LO <i>Ps. lacunosa</i>	0,46	12,76	13,43	40,9
Base del testigo			21,67	
LO <i>R. asanoi</i>	0,88	21,99		20,38

**Tabla I.- Modelo de edad para el testigo ODP 1237. F.O: primer registro; L.O: último registro; mcd: metros de profundidad compuesta.**

*Table. I.- Age-model for ODP Site 1237. F.O: first occurrence; L.O: last occurrence; mcd: meters of composite depth.*

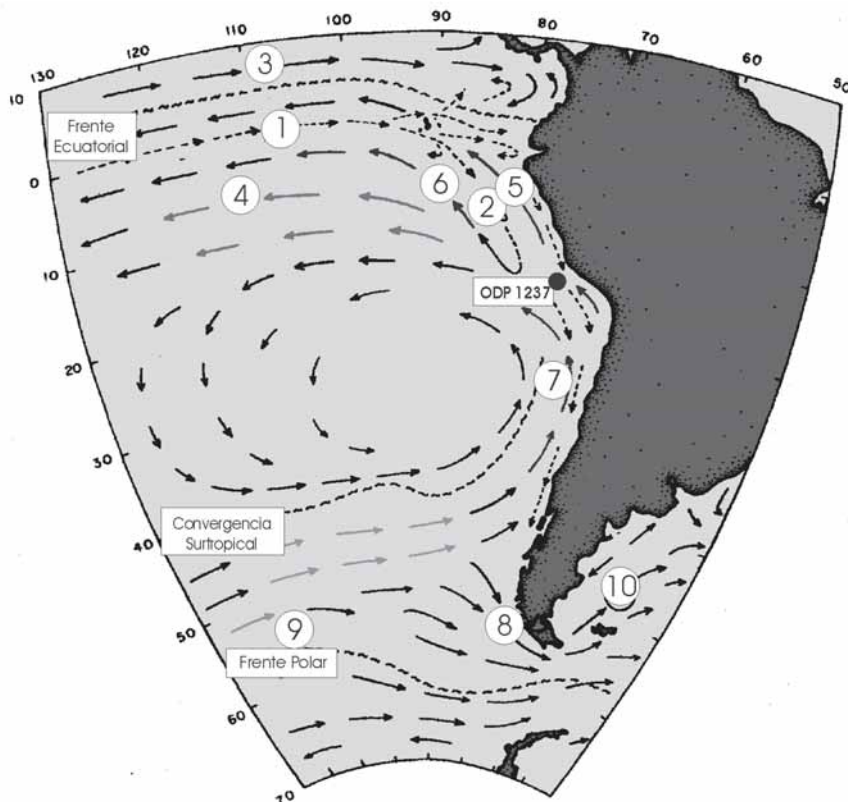


Fig. 1.- Situación del testigo ODP 1237 y representación de los principales rasgos oceanográficos superficiales en la región: Corriente Circumpolar Antártica 9, sistema de corrientes de Peru-Chile (corriente de Chile 7 y sistema de corrientes de Peru: corriente costera de Perú o corriente de Humboldt 5 y corriente oceánica de Peru 6), y corriente Surecuatorial 4. Otras corrientes superficiales, subsuperficiales y contracorrientes en el SE del Pacífico: corriente Subsuperficial Ecuatorial 1, contracorriente de Peru 2, contracorriente Norecuatorial 3, corriente del Cabo de Hornos 8 y corriente de Falkland 10. Modificado de: Molina-Cruz y Herguera (2002).

Fig. 1.- Location of ODP 1237 showing the main oceanographic features in the region. Circumpolar Current 9, Chile-Peru Current 7, Humboldt Current 5, Peru Oceanic Current 6, South Equatorial Current 4. Others less significant currents: Equatorial Undercurrent 1, Peru Countercurrent 2, Northequatorial Countercurrent 3, Cape of Hornos Current 8 and Falkland Current 10. Modified from: Molina-Cruz and Herguera (2002).

porcentajes más altos, próximos al 100%, entre los 13 y los 4 m (0,45-0,20 Ma) y *F. profunda* lo hace entre los 21 y los 13 m (0,86-0,45 Ma) y entre los 4 m y el techo del testigo (0,20-0 Ma) con valores próximos al 20-30%. Por otra parte, observamos dos intervalos entre los 0,59 y los 0,52 Ma y entre los 0,22 y los 0,16 Ma (Fig. 3), donde el registro de coccolitofóridos es muy bajo o están ausentes, como consecuencia de un proceso de intensa disolución. El resto de muestras estudiadas ofrece un grado de preservación bueno, con presencia continuada de taxones y morfotipos muy delicados.

**Discusión y conclusiones**

Con el objeto de realizar una aproximación acerca de la (paleo)productividad a lo largo del testigo, se optó por estimar la relación entre la abundancia de los placolitos menores de 3 micras y la de *F. profunda*, (relación N; Flores *et al.*, 2000) (Fig. 4). Esta relación es indicadora del grado de estratificación de la columna de agua, al considerar el número de organismos que se desarrollan en la zona fótica superior *versus* los que se desarrollan en la zona fótica inferior (Okada y McIntyre, 1977 y Beaufort, 2001). El índice resultante es un indicador de la posición relativa de la termoclina/nutriclina, que alcanzaría una posición somera entre los 0,2 y 0,45 Ma. Estos dos mínimos coinciden con intervalos puntuales de intensa disolución, probablemente relacionados con la situación de alta productividad, aunque este punto precisa ser confirmado con análisis de naturaleza geoquímica, actualmente en desarrollo. Los episodios de mayor

Para el análisis de las asociaciones de microfósiles se realizaron frotis siguiendo la técnica de Flores y Sierro (1997). El recuento se llevó a cabo mediante un microscopio petrográfico (1250x), con el que se observaron en torno a 500 cocolitos por lámina, de un total de 251. La toma de muestras se llevó a cabo cada 10 cm, lo que correspondió a intervalos de alrededor de 3700 años.

Con los datos obtenidos se realizó el análisis espectral (Fig. 2) sobre los valores de porcentaje de *Florisphaera profunda*, utilizando el programa informático «Analyseries» 1.1 (Paillard *et al.*, 1996).

**Resultados**

Las curvas de abundancia relativa de «small» *Gephyrocapsa* y *F. profunda* (Fig. 3) nos revelan claramente una ten-

dencia opuesta entre ellos lo que resulta muy significativo desde el punto de vista del dominio de la asociación. «Small» *Gephyrocapsa* muestra los

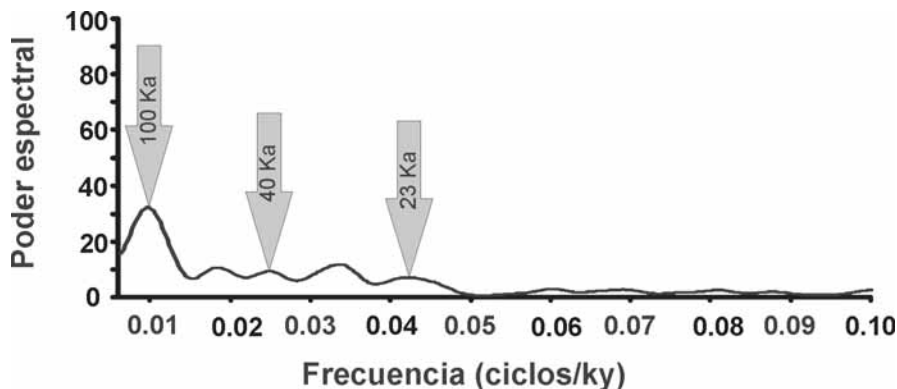


Fig. 2.- Periodograma de los porcentajes de *Florisphaera profunda* en el testigo ODP 1237 (programa empleado «Analyseries» 1.1., Paillard *et al.*, 1996).

Fig. 2.- Spectral analysis results for percentages of *Florisphaera profunda* in ODP Site 1237 (used program «Analyseries» 1.1., Paillard *et al.*, 1996).

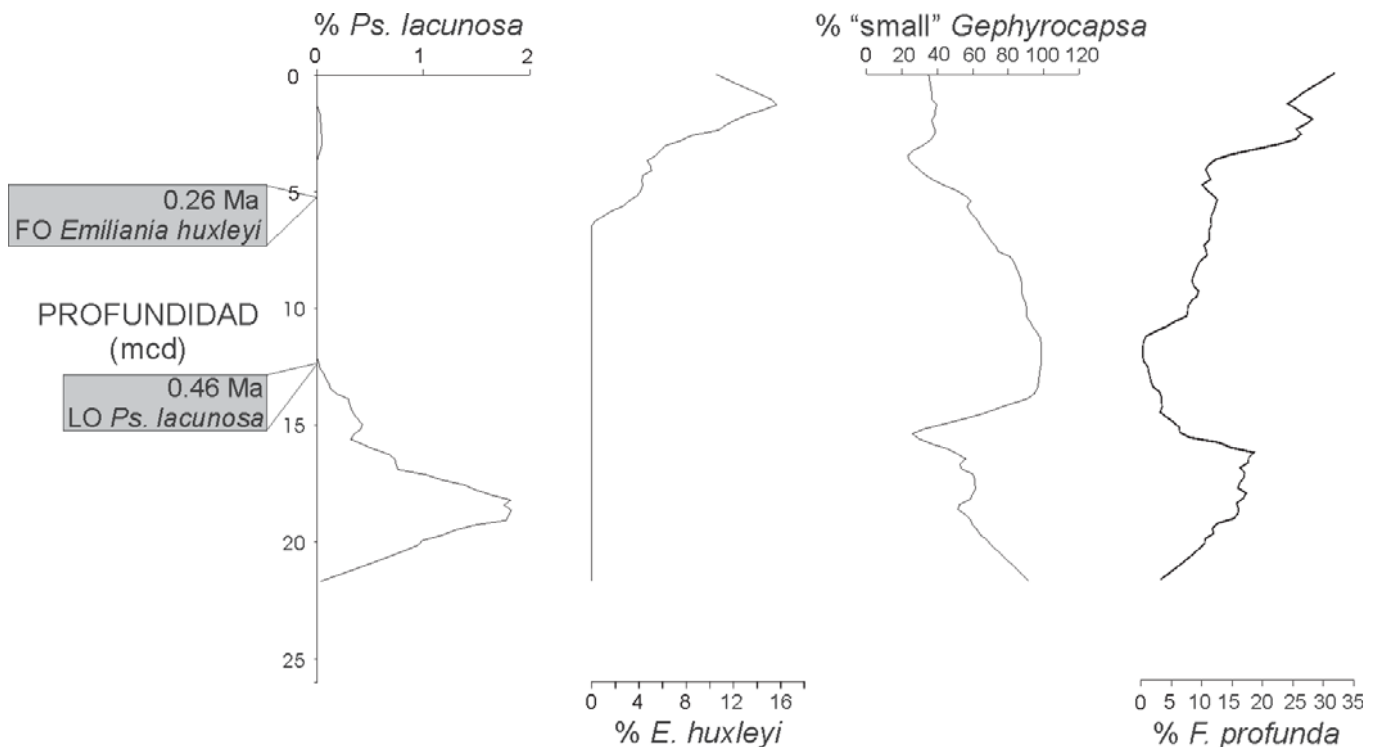


Fig. 3.- Abundancia relativa de varias especies de Cocolitofóridos identificadas en el testigo ODP 1237. Se indica la profundidad de los eventos bioestratigráficos empleados para la elaboración del modelo de edad. FO: primer registro; L.O: último registro; mcd: metros de profundidad compuesta.

Fig. 3.- Relative abundance of selected species of Coccolithophores identified in ODP Site 1237 and location of some characteristic biostratigraphic events. FO: first occurrence; L.O: last occurrence; mcd: meters of composite depth.

productividad superficial coincidirían con una surgencia intensa como consecuencia de una mayor activación de los alisios, causantes de este fenómeno en la región en la que nos encontramos (Molina-Cruz, 1978). Por el contrario, en el intervalo en que los valores de  $N$  son bajos (0,86-0,45 Ma y 0,20-0 Ma), se produce una estratificación de la columna de agua y el consiguiente hundimiento de la nutriclina. Esta situación es producto de un debilitamiento de la surgencia al reducirse la acción de los alisios, acompañada de un ascenso relativo de la temperatura de las masas de agua superficiales.

El análisis espectral realizado sobre los porcentajes de *F. profunda* (Fig. 2), revela una periodicidad relacionada con parámetros orbitales convencionales: excentricidad de la órbita terrestre (100 Ka), oblicuidad del eje (41 Ka) y precesión de los equinoccios (23 Ka). De estos tres parámetros, el predominio de la frecuencia de 100 Ka en la dinámica de la surgencia parece indicar que ésta estuvo regulada por cambios en la intensidad de los vientos alisios inducidos a su vez por los avances y retrocesos de los grandes mantos de hielo en el hemisferio norte que experimentaron fuertes oscilaciones con esa frecuencia durante el intervalo estudiado (Fig. 2).

#### Agradecimientos

Los autores de este estudio desean expresar su agradecimiento al ODP por la cesión de muestras para el estudio de los nanofósiles calcáreos, así como a la tripulación científica y técnica del Leg 202. Este trabajo ha sido financiado por el Convenio existente entre la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Salamanca para estudiantes de postgrado, mediante la adjudicación de una beca a M. Carmen Álvarez y por los proyectos BTE2002-04670, REN2003-08642-C02/CLI del Ministerio de Educación y Ciencia y SA088/04 de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León.

#### Referencias

- Beaufort, L., de Garidel-Thoron, T., Mix, A. y Pisias, N.G. (2001). *Science*, 293, 2440-2444.
- Flores, J.A. y Sierro, F.J. (1997). *Micro paleontology*, 43, 321-324.
- Flores, J.A., Bárcena, M.A. y Sierro, F.J. (2000). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161, 459-478.
- Flores, J.A. y Wei, W. (2003). En: *Proceedings of the Ocean Drilling*

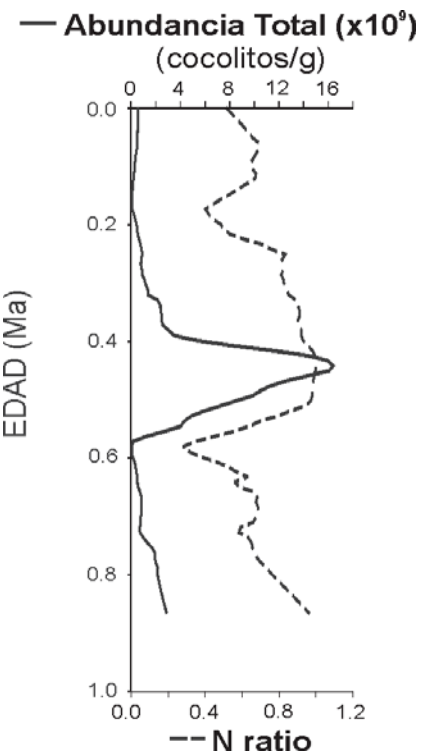


Fig. 4.- Abundancia total de cocolitos y variaciones del índice  $N$  vs. edad en el testigo ODP 1237 (ver texto para su definición e interpretación).

Fig. 4.- Total abundance of coccoliths and  $N$  ratio vs. age in ODP Site 1237 (see text for definition and interpretation).

- Program, Initial Reports, 202.* (Mix, A.C., Tiedemann, R. y Blum, P., Eds). College Station TX (Ocean Drilling Program), 1-145.
- Lutgens, F.K. y Tarbuck, E.J. (2001). *The atmosphere. An introduction to meteorology.* 8<sup>a</sup> ed. Prentice Hall. 484 p.
- Molina-Cruz, A. (1978). *Late Quaternary oceanic circulation along the Pacific coast of South America.* Tesis Doctoral, Univ. de Oregon State, Corvallis, Oregon, USA, 246 p.
- Molina-Cruz, A. (1991). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 18, 59-75.
- Molina-Cruz, A. y Herguera, J.C. (2002). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19, 1-8.
- Okada, H. y McIntyre, A. (1977). *Micropaleontology*, 23, 1-55.
- Paillard, D.L., Labeyrie, L. y Yiou, P. (1996). Macintosh program performs time-series analyses. EOS, Transactions, *American Geophysical Union*, 77, 379 p.
- Thierstein, H.R., Geitzenauer, B., Molfino, B. y Shackleton, N.J. (1977). *Geology*, 5, 400-404.