

Registro de la variabilidad climática de escala milenaria en el último ciclo glaciar en los sedimentos de la cuenca Argelo-Balear

J. Frigola¹, A. Moreno², M. Canals¹, I. Cacho¹, E. Colmenero³, F. Sierro³ y J.A. Flores³

¹ GRC Geociències Marines, Departament d'Estratigrafia, P. i Geociències Marines, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Campus de Pedralbes, E-08028 Barcelona. frigola@geo.ub.es, miquel@geo.ub.es, isabel@geo.ub.es

² Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Apto. 202, E-50080 Zaragoza. amoreno@ipe.csic.es

³ Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca, E-37008 Salamanca. elecolme@usal.es, sierro@usal.es, flores@usal.es

ABSTRACT

Sediments from MD 99-2343 IMAGES core recovered in the Algero-Balearic Basin, north of the island of Menorca, have been analyzed for their bulk element composition and grain-size distribution to characterize the temporal evolution of the terrigenous input to this area throughout the last 50 ka. The high-resolution elementary profiles show high frequency oscillations, particularly of Si, Ti and K contents, associated with terrigenous input variability. These fluctuations mark significant changes in the source areas and/or in the nature of transport and sedimentation processes most likely related to abrupt changes in oceanographic and atmospheric conditions. The Menorca core records were compared with the geochemical results of a previously studied core from the Alboran Sea, from where it became obvious a similar behaviour in some of the terrigenous elements at both core locations. The obtained records vary with a clear Dansgaard-Oeschger periodicity reaching higher values during the North Atlantic's Heinrich Events. These results evidence the presence of a millennial-scale synchronous pattern in the Western Mediterranean in terms of deposition of terrigenous material. In addition, grain-size analyses of Menorca core reveal rhythmic episodes of coarser particle inputs during the Holocene likely related to shifts in the intensity of deep-water currents.

Key words: climatic variability, Dansgaard-Oeschger cycles, terrigenous inputs, inorganic geochemistry, Western Mediterranean Sea.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La variabilidad climática descrita en el Atlántico Norte y en Groenlandia durante los últimos 100 ka se ha atribuido a oscilaciones climáticas de alta frecuencia conocidas como ciclos de Dansgaard-Oeschger (D/O) (Dansgaard *et al.*, 1993). Asociados a algunas de las fases frías de los ciclos de D/O se han descrito los Eventos de Heinrich (HE), episodios de descarga masiva de icebergs en el Atlántico Norte. El patrón climático definido por los ciclos de D/O se ha observado en una amplia gama de registros paleoclimáticos distribuidos por gran parte del planeta (Leuschner y Sirocko, 2000), circunstancia que corrobora el carácter global de estas oscilaciones. A pesar de ello todavía no se conocen con certeza ni los mecanismos desencadenantes ni los transmisores de esta variabilidad climática rápida. Como principales mecanismos responsables del desencadenamiento de los D/O se ha propuesto la inestabilidad de la circulación termohalina y la variabilidad en la cantidad de calor transportado por la misma (Boyle, 2000). Tampoco se descarta que los cambios en la intensidad de la circulación atmosférica puedan haber jugado un papel altamente significativo en el origen y la transmisión de los cambios climá-

ticos abruptos. Para profundizar más en estas cuestiones son necesarios estudios detallados de registros paleoclimáticos que contengan información de los diversos compartimentos del sistema climático y que además alcancen tasas de sedimentación suficientes para conseguir indagar en los cambios producidos a escala de pocos centenares de años.

Diversos trabajos llevados a cabo en los sedimentos marinos y lacustres del área mediterránea muestran la gran sensibilidad de la misma a las oscilaciones climáticas rápidas de los ciclos de D/O y evidencian la rápida conexión climática entre las latitudes altas y el Mediterráneo (Allen *et al.*, 1999; Cacho *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2002; Rohling *et al.*, 1998; Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). Presentamos aquí los primeros resultados obtenidos del estudio del testigo MD 99-2343, recuperado dentro del Programa IMAGES al norte de la isla de Menorca (Fig. 1). El lugar donde se extrajo el testigo está próximo al Golfo de León, zona de formación de agua profunda en el Mediterráneo Occidental debido a la influencia de vientos invernales persistentes del Oeste (Westerlies). También se halla dentro del área de influencia del patrón actual de incursiones de polvo procedente del Norte de África. Dicha localización confiere al testigo MD 99-2343 un elevado interés para el estudio de

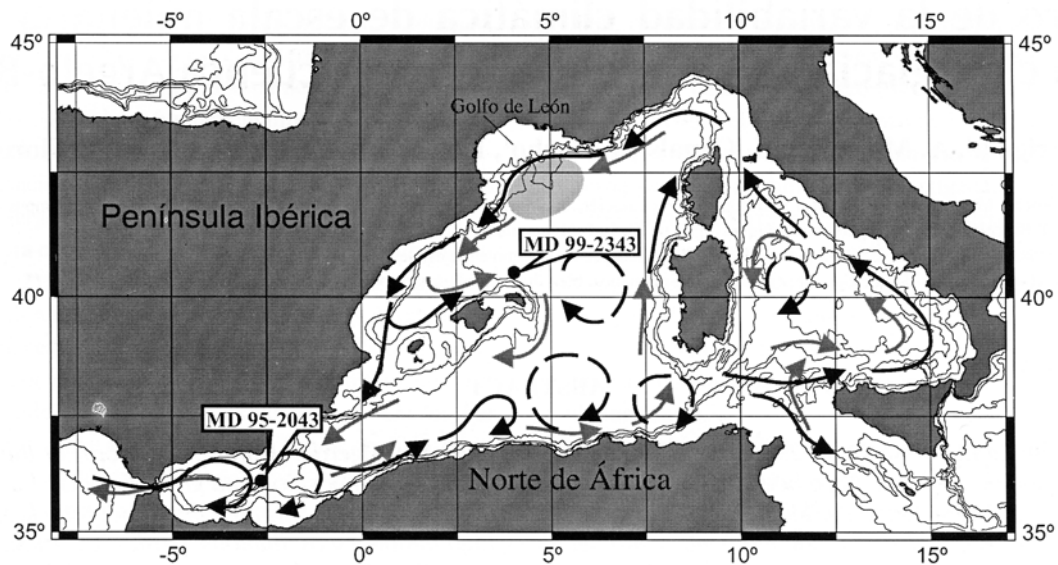


FIGURA 1. Localización del testigo MD 99-2343 al norte de la isla de Menorca, y del testigo MD 95-2043 en el Mar de Alborán. Las flechas negras representan el patrón de la circulación superficial media actual y las flechas grises la circulación profunda de la cuenca occidental del Mediterráneo. El área sombreada muestra la zona de formación del Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (WMDW) y del Agua Intermedia de Invierno (WIW).

los cambios climáticos producidos en la región mediterránea durante el último ciclo glacial y para la búsqueda de un mecanismo de transmisión de las oscilaciones climáticas entre altas y bajas latitudes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de edad preliminar del testigo MD 99-2343 se ha establecido mediante la correlación de la curva de isótopos de oxígeno de *G. bulloides* (F. Sierro, datos no publicados) con la correspondiente a un testigo del Mar de Alborán (MD 95-2043) (Cacho *et al.*, 1999, y Cacho, datos no publicados) correlacionado con el registro del testigo de hielo GISP2 de Groenlandia. Este modelo permite situar los registros obtenidos en la misma escala cronoestratográfica que los equivalentes del testigo de Alborán, permitiendo así la comparación directa de las tendencias en ambas zonas a lo largo de los últimos 50 ka.

El contenido de los elementos mayoritarios (Si, Ti, Al, K, Mn, Ca, Mg, Fe, P, Na) de los 18 m superiores del testigo se obtuvo por medio de fluorescencia de rayos X (XRF) a muy alta resolución (la tasa media de sedimentación es de 34 cm/1000 años y las muestras se tomaron cada 4 cm, es decir que la resolución temporal es de unos 100 años). Los perfiles obtenidos muestran oscilaciones de alta frecuencia a lo largo de toda la sección, en especial de los elementos asociados al material terrígeno, como el Si, el Ti y el K. La correlación entre los testigos de Menorca y de Alborán permite comparar los registros de los contenidos de elementos de origen terrígeno normalizados con el Al. Los perfiles de Si/Al, Ti/Al y de Si/(Si+K) del testigo de Menorca muestran

oscilaciones que siguen claramente el patrón de los ciclos de D/O así como aumentos notables durante los HE (Fig. 2). La gran similitud con los perfiles del testigo del Mar de Alborán durante el estadio isotópico 3 (MIS3) sugiere la intervención efectiva de procesos de transporte y de sedimentación similares en toda la región mediterránea occidental. Estos resultados apuntan a un incremento del aporte de polvo del Sahara debido a una intensificación de los vientos africanos durante los D/O y otros eventos fríos, hipótesis propuesta ya para el Mar de Alborán (Moreno *et al.*, 2002) coincidiendo con períodos áridos en las masas continentales adyacentes (Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). Paralelamente, el incremento en el contenido de *E. huxleyi* (>4 μm), indicador de aguas frías (Colmenero-Hidalgo *et al.*, 2002), durante los HE y los D/O en el testigo de Menorca confirma la importante caída de las temperaturas superficiales del mar en la zona, en concordancia con el registro de una especie típica de aguas (sub)polares, *N. pachyderma* (s.), en el Golfo de León (Rohling *et al.*, 1998), y con el registro de temperaturas obtenido para el Mar de Alborán (SST) (Cacho *et al.*, 1999).

La transición del glacial al interglacial se caracteriza por una abrupta disminución del contenido de Si/Al y Ti/Al en los sedimentos del testigo de Menorca, lo cual indica un importante cambio en las áreas fuente de material terrígeno y/o en el patrón de la circulación atmosférica regional. Durante el Holoceno, la variabilidad de estos registros es menor que en el período glacial, aunque puntualmente siguen presentando cambios notables.

Los primeros resultados de los análisis granulométricos muestran incrementos notables del tamaño de grano, con una ritmicidad muy marcada, durante eventos puntuales del Holo-

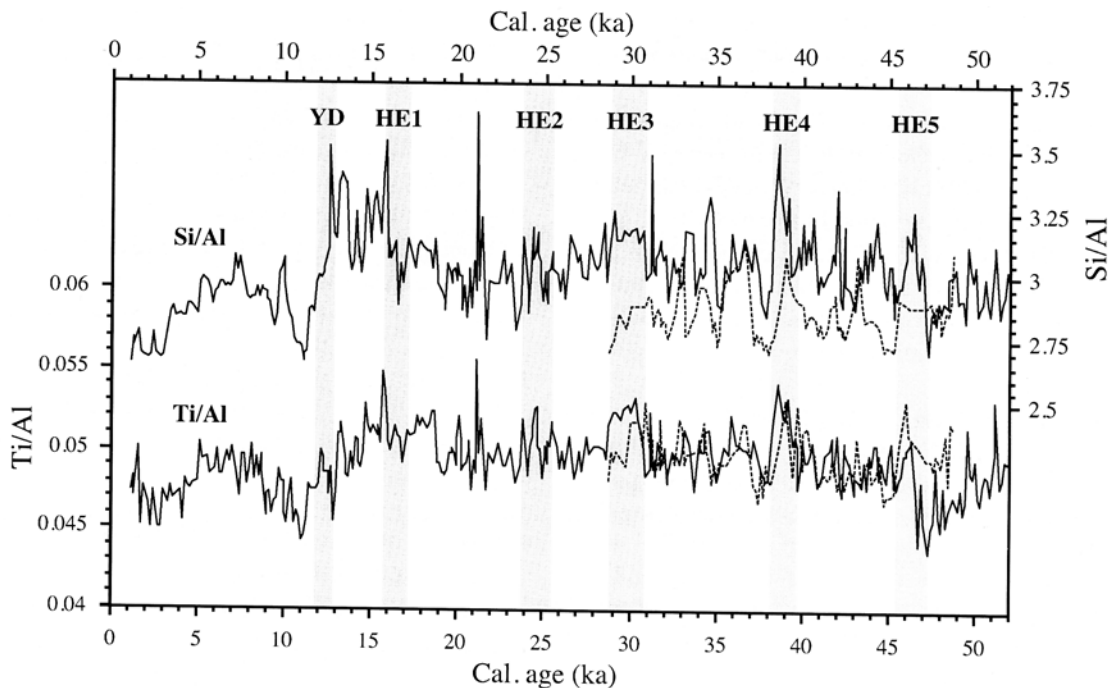


FIGURA 2. Registros geoquímicos del contenido de Si y Ti normalizados con el Al del testigo de Menorca MD 99-2343 (línea continua) para los últimos 50 ka, y del testigo del Mar de Alborán MD 95-2043 (línea discontinua), para el intervalo de 28 a 48 ka. En bandas grises se muestran los Eventos de Heinrich (HE) y el Dryas Reciente (YD).

ceno. Algunos de estos incrementos del tamaño de grano son coincidentes con valores elevados de Si/Al, mostrando así un probable enriquecimiento en granos de cuarzo durante ciertas fases del Holoceno. Este patrón de aporte de material rico en Si estaría controlado por una intensificación de la circulación atmosférica en la región, la cual aparentemente se tradujo en un aumento del transporte de polvo desde el Norte de África. La eventual llegada de intrusiones de material procedente de otras localidades o incluso de la plataforma continental de Menorca por transporte de fondo no puede ser descartada definitivamente. Todos estos materiales serían retrabajados por las corrientes profundas. Sin embargo, no todos los incrementos en Si/Al se corresponden con aumentos en el tamaño de grano, por lo que es necesario un estudio más detallado de los materiales del Holoceno para poder discriminar los diferentes mecanismos de los registros obtenidos.

El enfriamiento de las aguas en el Golfo de León y en el Mar de Alborán (Cacho *et al.*, 1999; Rohling *et al.*, 1998) durante los D/O y los HE apunta a una expansión hacia el sur de la masa de aire polar, incrementando así los gradientes atmosférico de temperatura y de presión durante estos períodos, lo cual explicaría los resultados obtenidos en cuanto al aporte de material terrígeno. Además, el enfriamiento de las aguas superficiales inducido por vientos fríos y persistentes también favorecería el aumento de la convección de las aguas en el Golfo de León y, por lo tanto, la intensificación de la circulación termohalina en la cuenca occidental del Mediterráneo.

La excelente correlación entre los resultados de ambos testigos y las fluctuaciones climáticas descritas en el Atlántico Norte refuerza la hipótesis de una rápida respuesta del sistema océano-atmósfera a la variabilidad de carácter abrupto, en particular en la región mediterránea. El estudio detallado de las distribuciones de tamaños de grano y futuros análisis de relaciones isotópicas como las del $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ permitirán mejorar el conocimiento de los procesos que regularon la sedimentación en el Mediterráneo Occidental, y discriminar las áreas fuente durante los últimos 50 ka.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos CLI98-1002-CO2-02, ADIOS y PROMESS1, y a la financiación del GRC Geociències Marines a través del Programa de Grupos de Excelencia de la Generalitat de Catalunya. JF ha disfrutado de una beca de colaboración en proyectos de investigación de la Universitat de Barcelona.

REFERENCIAS

- Allen, J. R. M., Brandt, U., Brauer, A., Hubberten, H. W., Huntley, B., Keller, J., Kraml, M., Mackensen, A., Mingram, J., Negendank, J. F. W., Nowaczyk, N. R., Oberhänsli, H., Watts, W. A., Wulf, S. y Zolitschka, B. (1999): Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature*, 400: 740-743.

- Boyle, E. (2000): Is ocean thermohaline circulation linked to abrupt stadial/interstadial transitions? *Quaternary Science Reviews*, 19: 255-272.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F. J., Flores, J. A. y Shackleton, N. J. (1999): Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea temperatures. *Paleoceanography*, 14 (6): 698-705.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Sierro, F. J., Shackleton, N. J. y Canals, M. (2000): Evidence for enhanced Mediterranean thermohaline circulation during rapid climatic coolings. *Earth and Planetary Science Letters*, 183: 417-429.
- Colmenero-Hidalgo, E., Flores, J. A. y Sierro, F. J. (2002): Biometry of *Emiliana huxleyi* and its biostratigraphic significance in the Eastern North Atlantic Ocean and Western Mediterranean Sea in the last 20 000 years. *Marine Micropaleontology*, 886: 1-17.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdóttir, A. E., Jouzel, J. y Bond, G. (1993): Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364: 218-220.
- Leuschner, D.C. y Sirocko, F. (2000): The low-latitude monsoon climate during Dansgaard-Oeschger cycles and Heinrich Events. *Quaternary Science Reviews*, 19: 243-254.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M. A., Sánchez-Goñi, M. F., Grimalt, J. O. y Weltje, G. J. (2002): Saharan dust transport and high latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record. *Quaternary Research*, 58: 318-328.
- Rohling, E. J., Hayes, A., Rijk, D., Kroon, D., Zachariasse, W. J. y Eisma, D. (1998): Abrupt cold spells in the northwest Mediterranean. *Paleoceanography*, 13 (4): 316-322.
- Sánchez-Goñi, M. F., Cacho, I., Turon, J. L., Guiot, J., Sierro, F. J., Peypouquet, J.-P., Grimalt, J. O. y Shackleton, N. J. (2002): Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics*, 19: 95-105.