

Variabilidad milenaria registrada por la fauna bentónica en el Golfo de León (Mediterráneo noroccidental) entre los eventos Heinrich 3 y 4

Millennial variability recorded by the benthic fauna in the Gulf of Lions (Northwestern Mediterranean) between Heinrich events 3 and 4

B. Gonzalez-Mora ⁽¹⁾, F.J. Sierro ⁽¹⁾, J.A. Flores ⁽¹⁾ y S. Berné ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca. mora@usal.es.

⁽²⁾ IFREMER, Laboratoire Environnements Sédimentaires. 29280 Plouzané. Francia.

ABSTRACT

Variations in the benthic foraminifer assemblage have been studied from a 300m-depth core in the Gulf of Lions (PRGL1-4) during the last 41-28 kyr (between Heinrich events 4 and 3). The number of benthic foraminifers per gram, the infaunal/epifaunal ratio, and most of the benthic species relative abundance show a very clear Dansgaard-Oeschger variability. The stadial species suggest a well oxygenated oligotrophic environment with low organic matter content in the sediment. By contrast, the interstadial assemblage implies a more eutrophic environment with high organic matter and low oxygen content. No relevant differences are observed in the benthic fauna between Heinrich events and the other stadials.

Key words: Benthic foraminifers, Dansgaard-Oeschger cycles, Heinrich events, Gulf of Lions, Western Mediterranean Sea.

Geogaceta, 43 (2007), 115-118
ISSN: 0213683X

Introducción

Hasta ahora se han realizado numerosos trabajos sobre foraminíferos bentónicos en el Mar Mediterráneo, pero en pocos se ha llevado a cabo un estudio de alta resolución. Además, durante los últimos años han proliferado los estudios de foraminíferos bentónicos a partir de cultivos en los que se ha llegado a comprender mejor el comportamiento de estos organismos bajo diferentes condiciones ambientales (p.e. Heinz *et al.*, 2002; Ernst y van der Zwaan, 2004). En este trabajo se pretende estudiar la variabilidad climática milenaria con diversos indicadores durante los últimos 70 ka, analizando las variaciones sufridas por la fauna bentónica.

Durante el último periodo glacial, el clima del Hemisferio Norte estuvo sujeto a rápidos enfriamientos y calentamientos, conocidos como estadiales e interstadiales Dansgaard-Oeschger (DO), respectivamente (Dansgaard *et al.*, 1993) con una periodicidad media de 1,5 a 3 ka. Además, durante los últimos 70 ka se descubrieron una serie de episodios especialmente fríos causados por oleadas

de icebergs procedentes del Atlántico Norte, llamados eventos Heinrich (HE; Heinrich, 1988; Bond *et al.*, 1993). Estos eventos que afectaron a la hidrodinámica del Atlántico Norte, también han sido reconocidos tanto en sedimentos continentales como marinos de otras partes del mundo, incluyendo el Mar Mediterráneo (Cacho *et al.*, 1999; Martrat *et al.*, 2004; Sierro *et al.*, 2005).

Diversos estudios han mostrado la influencia de los ciclos DO y de los eventos Heinrich en la hidrodinámica del Mar Mediterráneo, a partir de datos isotópicos, fauna planctónica, granulometrías y temperaturas del agua superficial (Rohling *et al.*, 1998; Cacho *et al.*, 2000; Sierro *et al.*, 2005; Frigola *et al.*, 2007), demostrando una fuerte conexión entre las variaciones climáticas del Atlántico Norte y del Mediterráneo occidental, así como una gran influencia del clima en el Atlántico Norte sobre la formación de aguas profundas en el Golfo de León. El estudio de la fauna bentónica puede aportar nuevos datos sobre las variaciones en la circulación de las aguas profundas y el estado de la cuenca durante estos ciclos milenarios.

El Golfo de León es una zona muy importante en el Mar Mediterráneo desde el punto de vista hidrodinámico, puesto que en ella se produce la formación de aguas profundas del Mediterráneo occidental, que posteriormente ocupan y discurren por la parte más profunda de la cuenca occidental (Millet, 1999). Este fenómeno está fuertemente condicionado por el sistema de presiones del Atlántico Norte, de forma que en invierno, cuando el anticiclón de las Azores se desplaza hacia el sur, varios centros de bajas presiones se sitúan en el área Mediterránea (Barry y Chorley, 1998), provocando la intensificación de los vientos del noroeste (Tramontana y Mistral). Estos fuertes vientos enfrían las aguas superficiales del Golfo de León, aumentando su densidad y provocando su hundimiento. De la misma forma, durante los periodos fríos, como los estadiales DO y los eventos Heinrich, parece ser que la dinámica predominante en el Golfo de León era la descrita anteriormente para los inviernos actuales (Cacho *et al.*, 2000; Frigola *et al.*, 2007).

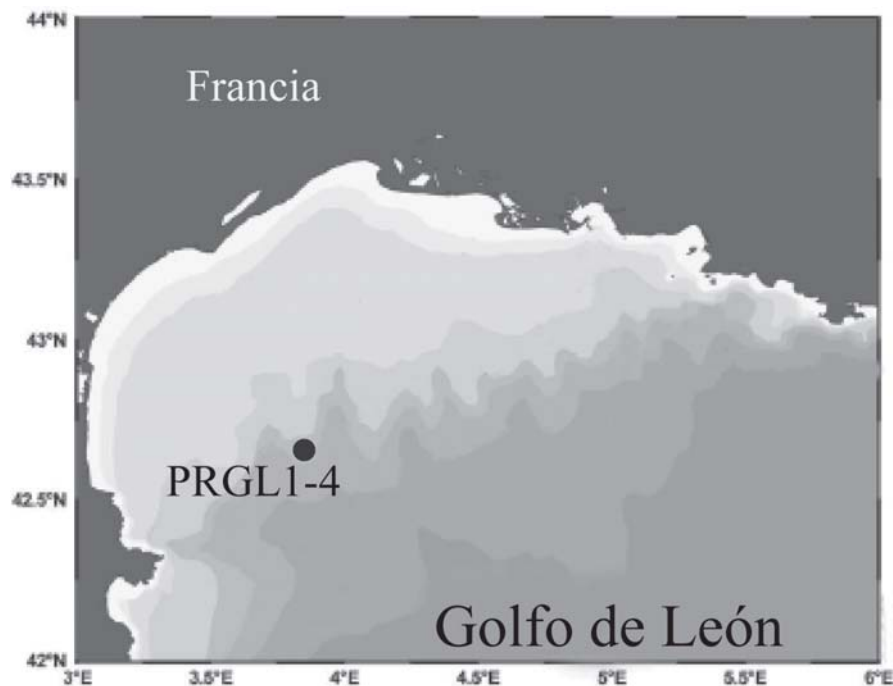


Fig. 1.- Situación del testigo PRGL1-4 en el Golfo de León (Mediterráneo Noroccidental).

Fig. 1.- Location of core PRGL1-4 in the Gulf of Lions (Northwestern Mediterranean).

Material y métodos

Se ha estudiado a alta resolución la evolución de la fauna bentónica en el Golfo de León entre 41 y 28 ka (periodo comprendido entre los eventos Heinrich 4 y 3). El testigo utilizado es el PRGL1-4, que fue recogido en 2005 durante la campaña Promess1 en el interfluvio entre los cañones Aude y Hérault, a una profundidad de 300 m, en la parte alta del talud del Golfo de León, lejos de la zona de influencia del sistema deltaico del Ródano y fuera de la zona de generación de aguas profundas (Fig. 1). En la zona del sondeo la tasa de sedimentación es muy alta durante el periodo de estudio (78 cm/ka de media).

Se han estudiado un total de 58 muestras, tomadas a intervalos irregulares teniendo en cuenta variaciones en la composición del sedimento. Se ha analizado únicamente la fracción mayor de 150 µm, con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos con otros estudios realizados sobre la misma fracción en otras zonas del Mediterráneo. Más de 200 especímenes fueron identificados en cada muestra, siguiendo las clasificaciones taxonómicas de Loeblich y Tappan, (1988), Cimerman y Langer (1991) y Sgarrella y Moncharmont Zei (1993). Se han calculado las abundancias relativas de las especies presentes, así como la proporción infaunales/epifaunales, el porcentaje de bentónicos hialinos,

aglutinados y porcelanáceos, número de foraminíferos bentónicos por gramo y el número de especies por muestra.

El modelo de edad utilizado ha sido elaborado a través de una correlación entre la curva isotópica de *Globigerina bulloides* del testigo PRGL1-4 y el registro isotópico de hielo del NorthGrip (Sierro *et al.*, enviado).

Resultados

En las muestras estudiadas se han identificado más de 140 especies de foraminíferos bentónicos. La mayoría de los parámetros utilizados presentan una marcada variabilidad milenaria en el tramo estudiado, respondiendo a los ciclos Dansgaard-Oeschger y a los eventos Heinrich.

El número de foraminíferos bentónicos por gramo aumenta durante los periodos cálidos (interestadiales), presentando los mayores valores en los interestadiales de mayor duración, el 8 y el 7 (Fig. 2). La amplitud de estos cambios es muy grande puesto que el valor mínimo es de 7,5 y el máximo de 320 bentónicos por gramo (valor medio de 52,1). La relación infaunales/epifaunales es mayor durante los interestadiales y menor durante los estadiales (Fig. 2), siendo mínima durante los eventos Heinrich. Parece que hay una tendencia a que los máximos sean cada vez mayores desde el HE4 al 3. Además, durante los

eventos Heinrich, el número de especies presentes en la muestra (S) disminuye considerablemente (Fig. 2).

En cuanto a la abundancia relativa de los distintos grupos de foraminíferos bentónicos, la proporción de Miliolina, Textulariina y los foraminíferos bentónicos hialinos sigue los patrones de la ciclicidad Dansgaard-Oeschger. El suborden Miliolina presenta valores más altos durante los estadiales (hasta el 40%), mientras en los interestadiales está muy poco representado (valor mínimo del 4%). En cambio, las tendencias de Textulariina y los foraminíferos bentónicos hialinos son contrarias a la del suborden Miliolina, encontrándose más representados durante los interestadiales. La abundancia relativa de Textulariina varía entre el 0 y el 7%. Sin embargo, los foraminíferos hialinos son mucho más abundantes ya que varían entre el 94 y el 60%, siendo el grupo de foraminíferos bentónicos dominante en las muestras estudiadas.

Interpretación

La fauna estudiada en este trabajo refleja las condiciones ambientales en el sedimento a unos 200 m de profundidad, ya que el nivel del mar durante los últimos 41-28 ka estaría situado aproximadamente a 100 m por debajo del actual (Siddall *et al.*, 2003). Las variaciones en la fauna bentónica del punto donde se extrajo el testigo no están relacionadas directamente con la formación de aguas profundas que tiene lugar en el Golfo de León, puesto que el sondeo se realizó en el talud, fuera del área de generación de estas aguas. Se pueden distinguir dos ambientes de fondo muy diferentes asociados a los episodios cálidos y fríos de los ciclos Dansgaard-Oeschger, que han ido alternándose continuamente durante todo el tramo estudiado.

En los últimos años, numerosos estudios de la fauna bentónica llevados a cabo tanto en cultivos como en diferentes zonas del mundo han mostrado que las asociaciones de foraminíferos bentónicos están fuertemente controladas por la cantidad oxígeno y de alimento presentes en el sedimento (Jorissen *et al.*, 1995; van der Zwaan, 1999). En este estudio se observa que durante los interestadiales, la asociación bentónica está dominada por especies infaunales (Fig. 2), indicando mayor contenido en materia orgánica en el sedimento (Gooday, 1986). Dentro de las especies infaunales más abundantes se encuentran *Bulimina aculeata*, *Bulimina marginata*, *Bolivina spathulata* y

Bolivina subaenariensis que son características de ambientes eutróficos ricos en materia orgánica y poco oxigenados (p.e. Alavi, 1988; Jorissen *et al.*, 1992). Durante estos periodos, el número de foraminíferos bentónicos por gramo aumenta. Esto podría implicar un aumento en el flujo de materia orgánica hacia el fondo (Herguera and Berger, 1991) o también podría relacionarse con pequeñas variaciones del nivel que tuvieron lugar durante los interestadales 7 y 8 (Sierra *et al.*, enviado). Además, durante estos periodos más cálidos, las especies pertenecientes al suborden Textulariina también presentan máximos de abundancia (Fig. 2). Este suborden está representado en estas muestras principalmente por diferentes especies de textuláridos y *Sigmoilopsis schlumbergeri*. Este grupo de especies, en general, es sensible a las variaciones en la disponibilidad de oxígeno en el sedimento (Alavi, 1988) y suelen desarrollarse más en ambientes con poca cantidad de nutrientes (Donnici y Serandrei Barbero, 2002), lo que sugiere que probablemente dentro de los interestadales hubiera periodos más o menos prolongados de mayor ventilación del fondo.

Durante los periodos fríos o estadales, la asociación bentónica anterior se ve reemplazada por otra dominada por especies epifaunales (Fig. 2). Los mínimos en la relación infaunales/epifaunales indican menor llegada de materia orgánica al sedimento durante estos periodos. Dentro de las especies epifaunales más abundantes están *Trifarina angulosa* y otras especies pertenecientes al suborden Miliolina (Fig. 2), entre las que destacan *Quinqueloculina padana*, *Triloculina tricarinata* y *Miliolinella subrotunda*. La presencia de este grupo de especies implica la existencia de un ambiente oligotrófico, bien oxigenado y con poco contenido en materia orgánica durante los estadales (p.e. Williamson, 1985; Alavi, 1988; de Stigter *et al.*, 1998; Donnici y Serandrei Barbero, 2002).

Durante los eventos Heinrich la asociación de bentónicos es muy similar a la de los demás estadales, lo que sugiere el mismo tipo de ambiente bien oxigenado y con poco contenido en materia orgánica durante estos eventos. Además, el número de especies presentes en las muestras (S) presenta mínimos durante los eventos Heinrich, lo que puede ser debido a una menor disponibilidad de alimento durante, al menos, gran parte de estos eventos.

Con los datos obtenidos en este trabajo, es difícil interpretar las causas de

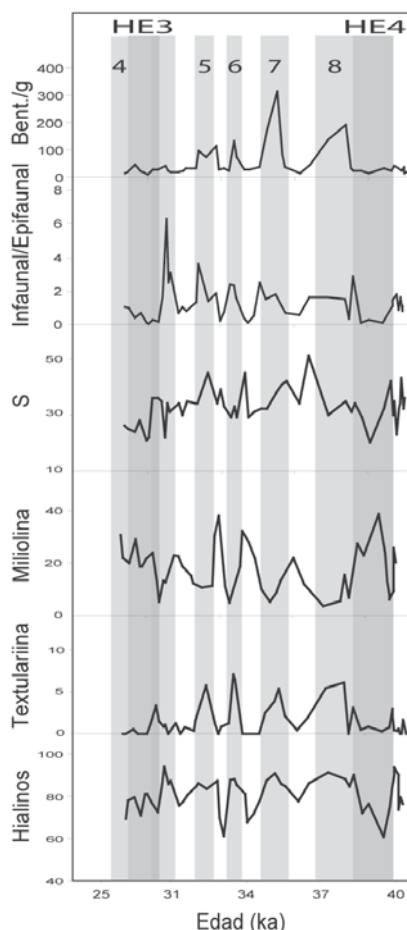


Fig. 2.- Registro de la cantidad de foraminíferos bentónicos por gramo, de la relación bentónicos infaunales/epifaunales, del número de especies por muestra (S) y de la abundancia relativa de los subórdenes Miliolina y Textulariina, y de los bentónicos hialinos, entre 41 y 28 ka. Las barras grises claras señalan los interestadales (periodos cálidos).

Fig. 2.- Record of the amount of benthic foraminifers per gram, benthic infaunal/epifaunal ratio, number of species per sample (S), and the relative abundance of suborders Miliolina and Textulariina, and hyaline benthic foraminifers, between 41 and 28 kyr. Light grey bars mark the interstadials (warm periods).

esta alternancia en las condiciones de fondo de esta zona del Golfo de León, por lo que sería recomendable realizar nuevos estudios que incluyeran análisis isotópicos, recuentos de foraminíferos planctónicos y otros análisis geoquímicos, para ampliar la información disponible. Además, sería interesante estudiar la fauna bentónica del mismo intervalo en otras zonas del Mediterráneo, con el fin de determinar si las variaciones observadas tienen lugar a escala de toda la cuenca mediterránea, o a nivel de pequeñas cuencas.

Conclusiones

La fauna bentónica de la parte interna del Golfo de León ha estado fuertemente condicionada por la variabilidad Dansgaard-Oeschger, al menos durante el periodo comprendido entre 41 y 28 ka.

Durante los interestadales, la fauna bentónica está dominada por especies infaunales y sugiere un ambiente eutrófico, con poco oxígeno y abundante materia orgánica en el sedimento.

Durante los estadales, la fauna, mayoritariamente epifaunal, indica un ambiente más oligotrófico, con una buena oxigenación del sedimento y poco contenido en materia orgánica.

Durante los eventos Heinrich, la asociación bentónica indica condiciones similares a las de los demás estadales.

Es necesario el estudio de otros parámetros geoquímicos o de organismos superficiales para poder determinar las causas que dieron lugar a los dos ambientes profundos descritos y a la alternancia entre ellos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto Promess1 de la Comisión Europea (EVR1-CT- 2002-40024) que financió la extracción de los testigos en el Golfo de León. Además, este estudio ha podido llevarse a cabo gracias a los proyectos CGL 2005-00642/BTE y CGL2006-10593 del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y SA008C05 de la Junta de Castilla y León; así como a la beca FPU del Ministerio de Educación y Ciencia concedida a Beatriz González Mora (AP20033094).

Referencias

- Alavi, S.N. (1988). *Marine Micropaleontology*, 13, 213-237.
- Barry, R.G. y Chorley, R.J. (1998). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, New York, 464 p.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W. S., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G. y Ivy, S. (1993). *Nature*, 360, 245-249.
- Cacho, I., Grimalt, J., Pelejero, C., Canals, M., Sierra, F. J., Flores, J. A. y Shackleton, N. (1999). *Paleoceanography*, 14, 698-705.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Sierra, F. J., Shackleton, N. y Canals, M. (2000). *Earth and Planetary Science Letters*, 157, 45-58.

- Cimerman, F. y Langer, M. R. (1991). *Mediterranean foraminifera*. Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti Academia Scientiarum et Artium Slovenica, Ljubljana, 118 p.
- Dansgaard, W., Johnson, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidbjerg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdottir, A. E., Jouzel, J. y Bond, G. (1993). *Nature*, 364, 218-220.
- Donnici, S. y Serandrei Barbero, R. (2002). *Marine Micropaleontology*, 44, 93-123.
- Ernst, S. y van der Zwaan, B. (2004). *Deep-Sea Research*, 51, 1709-1739.
- Ernst, S.R., Duijnste, I.A.P. y van der Zwaan, G.J. (2002). *Marine Micropaleontology*, 46, 343-361.
- Frigola, J., Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Sierro, F. J., Flores, J. A., Grimalt, J. O., Hodell, D. A. y Curtis, J.H. (2007). *Paleoceanography*, 22. PA2209. Doi:10.1029/2006PA001307.
- Gooday, A.J. (1986). *Journal of Foraminiferal Research*, 16, 150-160.
- Heinrich, H. (1988). *Quaternary Research*, 29, 142-152.
- Heinz, P., Hemleben, C. y Kitazato, H. (2002). *Deep-Sea Research I*, 49, 517-537.
- Herguera, J.C. y Berger, W.H. (1991). *Geology*, 19, 1173-1176.
- Jorissen, F.J., Barmawidjaja, D.M., Puskaric, S y van der Zwaan, G.J. (1992). *Marine Micropaleontology*, 19, 131-146.
- Jorissen, F.J., de Stigter, H.C. y Widmark, J.G.V. (1995). *Marine Micropaleontology*, 26, 3-15.
- Loeblich, A.R. y Tappan, H. (1988). *Foraminiferal Genera and their Classification*. Van Nostrand Reinhold, New York, 970 p.
- Martrat, B., Grimalt, J. O., Lopez-Martinez, C., Cacho, I., Sierro, F. J., Flores, J. A., Zahn, R., Canals, M., Curtis, J. H. y Hodell, D. A. (2004). *Science*, 306, 1762-1765.
- Millot, C. (1999). *Journal of Marine Systems*, 20, 423-442.
- Rohling, E.J., Hayes, A., Kroon, D., De Rijk, S. y Zachariasse, W.J. (1998). *Paleoceanography*, 13, 316-322.
- Sgarrella, F. y Moncharmont Zei, M. (1993). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 32, 145-264.
- Siddall, M., Rohling, E. J., Almogi-Labin, A., Hemleben, Ch., Meischner, D., Schmelzer, I. y Smeed, D.A. (2003). *Nature*, 423, 853-858.
- Sierro, F. J., Hodell, D. A., Curtis, J. H., Flores, J. A., Reguera, I., Colmenero-Hidalgo, E., Bárcena, M. A., Grimalt, J. O., Cacho, I. y Canals, M. (2005). *Paleoceanography*, 20. PA2019, Doi:10.1029/2004PA001051.
- Stigter, H.C. de , Jorissen, F.J. y van der Zwaan, G.J. (1998). *Journal of Foraminiferal Research*, 28, 40-65.
- Williamson, M.A. (1985). *Journal of Foraminiferal Research*, 15, 43-51.
- van der Zwaan, G.J., Duijnste, I.A.P., den Dulk, M., Ernst, S.R., Jannink, N.T. y Kouwenhoven, T.J. (1999). *Earth-Science Reviews*, 46, 213-236.