

Factores que controlan la calcificación de la concha en *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa)

Controls of shell calcification in Neogloboquadrina pachyderma (right coiling)

B. Gonzalez-Mora y F. J. Sierro

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

ABSTRACT

Samples from core ODP site 977, retrieved in the Alboran Sea (Western Mediterranean Sea), have been studied in order to better constrain the factors controlling the calcification rate in the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling). For this purpose, changes in shell weight have been analysed between 245-190 kyr (Marine Isotope Stage 7) and show a clear millennial variability not related with the marine isotope substages. The results obtained suggest that *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling) calcification rate is directly related to optimum growth conditions, since heavier shell weights coincide with more relative abundance of this species due to optimum temperature conditions. However, it cannot be ruled out a secondary control exerted by surface water [CO_3^{2-}], resulting from the opposite effects of atmospheric CO_2 and water temperature. Therefore, this study questions the use of foraminifer shell weight as a proxy of carbonate saturation and atmospheric CO_2 in surface waters and suggests that further studies are needed to better understand the processes behind shell calcification in planktonic foraminifers.

Key words: Shell weight, calcification rate, *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling), Alboran Sea, Marine Isotope Stage 7.

Geogaceta, 44 (2008), 123-126

ISSN: 0213683X

Introducción

Los organismos carbonatados juegan un papel muy importante dentro del ciclo global del carbono ya que transfieren y depositan grandes cantidades de CaCO_3 en el fondo de los océanos y mares. Durante la última década, se han llevado a cabo estudios enfocados a cuantificar la relación existente entre la calcificación de los organismos productores de carbonato marino y el nivel de saturación en carbonato del agua del mar, con el fin de evaluar un posible efecto negativo del creciente nivel de CO_2 atmosférico sobre dichos organismos (p.e., Barker y Elderfield, 2002). Algunos autores han sugerido que el nivel de saturación en carbonato del agua controla directamente la tasa de calcificación en los foraminíferos planctónicos. Estos estudios se han basado tanto en muestras fósiles del Atlántico Norte como en cultivos de laboratorio. A raíz de dichas investigaciones se propuso la utilización del peso de las conchas de los foraminíferos como un indicador de la saturación en carbonato del agua y del nivel de CO_2 atmosférico. Sin embargo, otros estudios han demostrado que la sa-

turación en carbonato del agua no es el único factor que controla la tasa de calcificación en los foraminíferos planctónicos, sino que éste es un proceso más complejo de lo que se creía inicialmente (p.e., De Villiers, 2004). Parece ser que en algunos casos los factores ambientales y las condiciones óptimas de crecimiento ejercen una influencia muy importante sobre la tasa de calcificación, mientras no se observa un control claro por parte del nivel de saturación en carbonato del agua. Debido a esta divergencia de resultados, es importante realizar más estudios con el objeto de probar la fiabilidad de la utilización del peso de los foraminíferos planctónicos como indicador de CO_2 atmosférico; y en esa línea se encuadra este trabajo.

La especie utilizada en este estudio es *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa), una especie subpolar que se considera profunda, aunque durante la reproducción y en los estadios juveniles vive en los primeros 100 m de la columna de agua. Se desarrolla sobre todo en el nivel de máxima concentración de clorofila (DCM, *Deep Chlorophyll Maximum*), que se encuentra en la base de la zona

eufótica cuando la parte superior de la columna de agua se encuentra bien estratificada. Actualmente en la mayor parte del mar Mediterráneo sólo aparece durante el invierno en zonas profundas, por lo que se cree que la temperatura del agua debe de ser el factor limitante de esta especie en la región mediterránea (Pujol y Vergnaud-Grassini, 1995).

Material y métodos

Se ha realizado un muestreo sistemático de alta resolución (5 cm) en el sondeo ODP 977, recogido en el mar de Alborán durante la campaña 161 del *Ocean Drilling Program* en 1996 (Fig. 1), con el fin de observar la evolución del peso de las conchas de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) a lo largo del estadio isotópico marino 7. De cada muestra se separaron unos 15 gramos de sedimento seco que se lavaron con un tamiz de 63 μm de luz de malla despreciando la fracción menor. A continuación, se secaron las muestras en la estufa y se separaron en dos fracciones utilizando un tamiz de 150 μm . De cada muestra se extrajeron

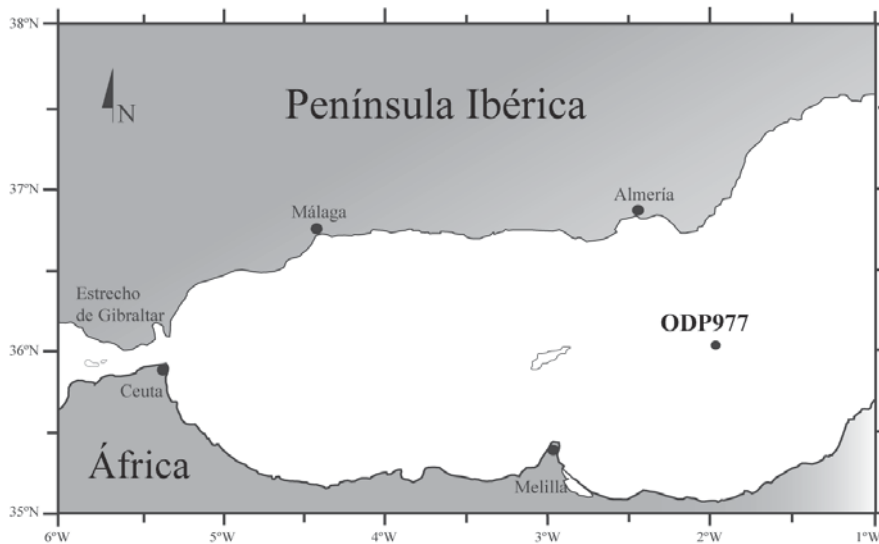


Fig. 1.- Situación del sondeo ODP 977 (36° 01.907'N, 1° 57.319'W) en el mar de Alborán, Mediterráneo occidental.

Fig. 1.- Location of ODP site 977 (36° 01.907'N, 1° 57.319'W) in the Alboran Sea, Western Mediterranean.

aproximadamente 30 individuos de la especie *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) pertenecientes a la fracción 250-300 mm, que fueron lavados con ultrasonidos, agua oxigenada y metanol. El peso total de los individuos de cada muestra se obtuvo con una microbalanza (0,1 mg de precisión), siendo el error asociado a las variaciones naturales de $\pm 0,5$ mg. Los valores de peso/foraminífero presentados en este trabajo son valores medios por foraminífero obtenidos a partir de la pesada de los 30 individuos de cada muestra.

Para estimar la abundancia relativa de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) en cada muestra sólo se tuvo en cuenta la fracción >150 mm tras haber sido cuarteada varias veces hasta separar aproximadamente 400 individuos que fueron identificados. Esta cantidad es suficiente para que los análisis tengan un 95 % de probabilidad de detectar todas las especies cuya abundancia relativa sea superior a 0,7 % (Patterson y Fishbein, 1989).

Las temperaturas de calcificación presentadas en este trabajo se obtuvieron mediante paleotermometría de Mg/Ca. En aproximadamente 20 individuos de la fracción 250-300 mm y pertenecientes a la especie *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) se midió la relación Mg/Ca en un ICP-AES (Varian Vista AX CCD *simultaneous*) en la Universidad de Cambridge. El protocolo de limpieza seguido fue el establecido por Barker *et al.* (2003) y la ecuación de calibración aplicada fue la definida por Von Langen *et al.* (2005).

El modelo de edad utilizado (Martrat

et al., 2004) está basado en la correlación entre la curva SPECMAP *stacked* de Martinson *et al.* (1987) y el $\delta^{18}\text{O}$ de *Globigerina bulloides* correspondiente al sondeo ODP 977. Según este modelo de edad, el intervalo estudiado abarca entre 245 y 190 ka.

Resultados

Las muestras estudiadas no presentan disolución importante (Gonzalez-Mora *et al.*, aceptado), por lo que los valores del peso obtenidos en este trabajo no han sido afectados por disolución de la concha sino que están directamente relacionados con la tasa de calcificación en superficie. El peso de la concha en *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) varía entre 6 y 17 mg (Fig. 2), presentando fluctuaciones importantes a escala milenaria durante todo el estadio isotópico 7. Sin embargo, dichas variaciones no parecen estar relacionadas con los cambios de temperatura observados a escala de subestadios isotópicos (trama gris), de forma que los pesos más bajos se registran tanto dentro de un subestadio cálido como es el 7.1 (192 ka) como en el subestadio frío 7.4 (alrededor de 220 ka); de la misma forma se obtienen pesos muy elevados tanto en el subestadio cálido 7.3 (217 y 204 ka) como en el frío 7.4 (alrededor de 225ka).

Se observa un claro paralelismo entre las variaciones en el peso de los foraminíferos y su abundancia relativa, sin embargo los cambios en la temperatura de calcificación obtenidos son opues-

tos a los registrados por el peso de los foraminíferos (Fig. 2). Por otro lado, las variaciones en el CO_2 atmosférico no parecen estar relacionadas con las observadas en el peso de los foraminíferos.

Interpretación

En diferentes estudios llevados a cabo en el carbonato de algas cocolitoforales y de corales se demostró que estos organismos eran sensibles a elevadas presiones de CO_2 atmosférico. Si los foraminíferos planctónicos también fueran sensibles a la concentración de CO_2 atmosférico, el peso de su concha a lo largo del tiempo debería verse afectado por las variaciones a escala glacial-interglacial en la presión de CO_2 . Sin embargo, las concentraciones de CO_2 e ión carbonato en el agua superficial también dependen de la temperatura que, a su vez, controla la solubilidad del CO_2 en el agua y, por lo tanto, puede modificar la tasa de calcificación de los organismos. Es decir, la calcificación depende tanto de la concentración de CO_2 atmosférico como de la temperatura del agua de calcificación, pero sus efectos son opuestos. Si el control principal sobre la calcificación lo ejerciera el CO_2 atmosférico, durante los subestadios fríos (7.2 y 7.4) la concha de los foraminíferos debería ser más pesada ya que en estos periodos la concentración del ión carbonato en el agua aumentó debido al descenso en el CO_2 atmosférico. Por otro lado, un control ejercido por la temperatura produciría el patrón contrario, es decir, durante los subestadios fríos la solubilidad del CO_2 en el agua aumentaría, disminuyendo así la concentración de ión carbonato en la misma, por lo que la tasa de calcificación sería más baja.

Las variaciones en el peso de la concha de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa), no parecen tener relación con el CO_2 atmosférico registrado en Vostok (Fig. 2). Esto sugiere que la tasa de calcificación de esta especie no está controlada directamente por los cambios en la concentración de CO_2 atmosférico ni por la influencia que éstos tienen sobre la saturación en carbonato del agua superficial. Por otro lado, el peso de la concha y la temperatura de calcificación de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) muestran patrones opuestos, por lo que los cambios en la solubilidad del CO_2 causados por la temperatura tampoco han tenido un papel importante en la calcificación de esta especie. Ambos factores, concentración de CO_2 atmosférico y temperatura, parecen no haber afectado

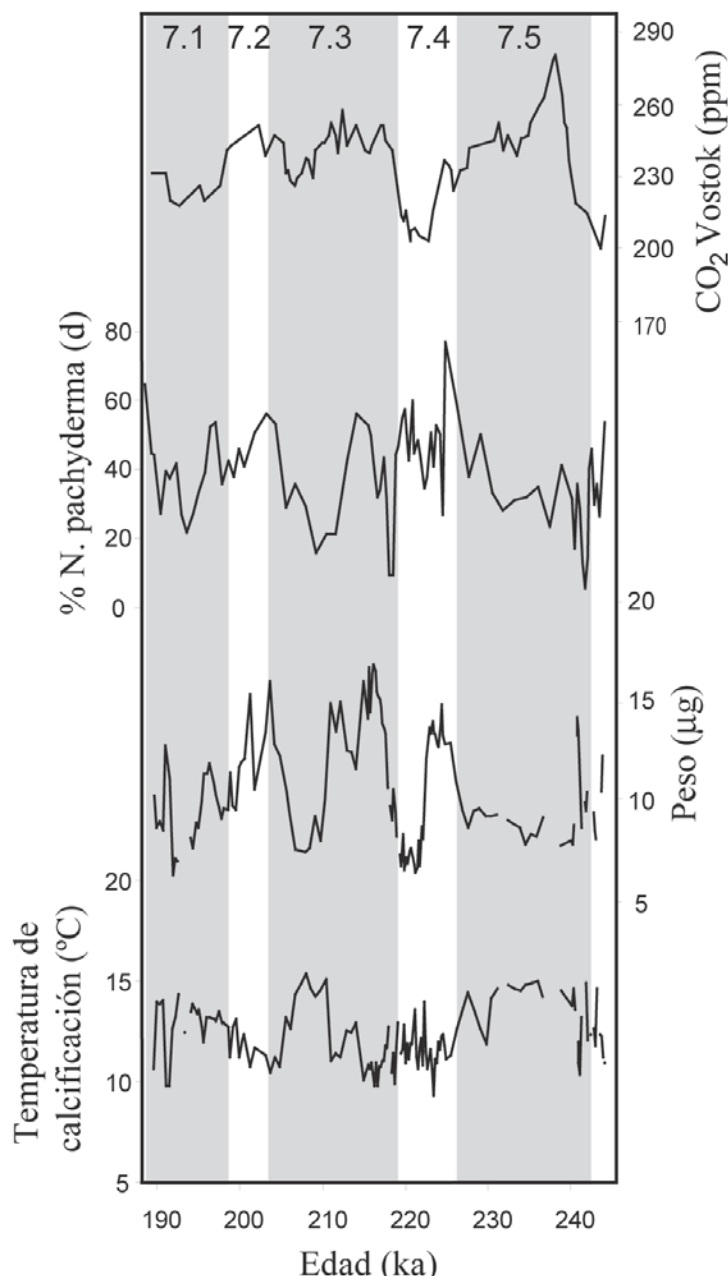


Fig. 2.- Peso por foraminífero de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) (mg), comparado con la temperatura de calcificación obtenida para la misma especie a partir de paleotermometría de Mg/Ca (°C), abundancia relativa de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) (%) y CO₂ atmosférico registrado en Vostok (Petit *et al.*, 1999) entre 245 y 190 ka.

Fig. 2.- *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling) shell weight (mg) is compared with the species calcification temperature (°C) based on Mg/Ca paleothermometry, the *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling) relative abundance (%) and the Vostok atmospheric CO₂ (Petit *et al.*, 1999) between 245 and 190 kyr.

de forma importante a la calcificación, pero no se puede descartar que hayan tenido una pequeña influencia sobre ésta. Además, puesto que sus efectos son opuestos, es posible que su influencia se haya visto contrarrestada.

En este trabajo se observa que durante los periodos más cálidos las conchas son más ligeras, coincidiendo ade-

más con periodos de baja abundancia relativa de esta especie. Por el contrario, cuando la temperatura de calcificación registrada es más fría, las conchas son más pesadas y la abundancia relativa de la especie aumenta. *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) es una especie cuya abundancia está controlada por la tempera-

tura del agua y cuyas condiciones óptimas en el mar Mediterráneo se dan entre 12 y 14 °C (Kallel *et al.*, 1997). En este estudio se observa cómo la temperatura del agua controla el desarrollo de esta especie, ya que cuando la temperatura supera los 13 °C, la abundancia de la especie disminuye, aumentando a temperaturas más bajas. Estos resultados demuestran que las condiciones óptimas de crecimiento de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) (temperatura de calcificación baja) favorecen su calcificación.

Existe un periodo alrededor de 220 ka durante el que se registran temperaturas de calcificación frías y en el que *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) muestra alta abundancia relativa, pero su concha es ligera. Este intervalo coincide con un evento tipo-Heinrich en el que la temperatura del agua superficial se mantuvo especialmente fría en el mar de Alborán (Gonzalez-Mora *et al.*, aceptado) y en el que parece que las condiciones de crecimiento fueron adversas para todas las especies de foraminíferos planctónicos. La alta abundancia relativa observada en *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) durante este periodo puede deberse a un efecto estadístico, ya que en términos absolutos no se observa un aumento en la abundancia de dicha especie. El bajo peso de la concha registrado durante este periodo podría deberse a las desfavorables condiciones de crecimiento.

Conclusiones

Se ha estudiado la evolución del peso de la concha de individuos de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) en muestras del sondeo ODP 977 que abarcan todo el estadio isotópico marino 7 (245-190 ka) para aportar más datos sobre los factores que controlan la tasa de calcificación en esta especie y probar la fiabilidad de la utilización del peso de estos organismos como indicador de CO₂ atmosférico.

Los resultados obtenidos muestran una importante variabilidad milenaria en el peso de la concha de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa). Además, la relación directa y muy estrecha observada entre su abundancia relativa y su peso demuestran que las condiciones óptimas de crecimiento son un factor determinante en la calcificación de la concha de esta es-

pecie. También es posible que el nivel de saturación en carbonato del agua afecte a su calcificación, aunque en menor medida.

Este estudio cuestiona el uso del peso de la concha de los foraminíferos como indicador del nivel de saturación en carbonato del agua y del CO₂ atmosférico, sugiriendo la realización de estudios más detallados en diferentes especies para poder entender mejor los procesos que controlan la calcificación en los foraminíferos planctónicos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos GRACCIE (CONSOLIDER-INGENIO CSD 2007-00067), 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). Las muestras han sido proporcionadas por el *Ocean Drilling Program*.

Referencias

- Barker, S. y Elderfield, H. (2002). *Science*, 297, 833–836.
- Barker S., Greaves, M. y Elderfield, H. (2003). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4, 8407, 10.1029/2003GC000559.
- De Villiers, S. (2004). *Marine Biology*, 144, 45-50.
- Gonzalez-Mora, B., Sierro, F.J. y Flores, J.A. *Quaternary Science Reviews* (aceptado).
- Kallel, N., Paterne, M., Duplessy, J. C., Vergnaud-Grazzini, C., Pujol, C., Labeyrie, L., Arnold, M., Fontugne, M. y Pierre, C. (1997). *Oceanologica Acta*, 20, 697-712.
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C. y Shackleton, N. J. (1987). *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- 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.
- Patterson, R. T. y Fishbein, A. (1989). *Journal of Paleontology*, 63, 245-248.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, J., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. y Stievenard, M. (1999). *Nature*, 399, 429-436.
- Pujol, C. y Vergnaud-Grazzini, C. (1995). *Marine Micropaleontology*, 25, 187-217.
- Von Langen, P., Pak, D.K., Spero, H.J. y Lea, D.W. (2005). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6, Q10P03.