

Factores que controlan la relación Sr/Ca en foraminíferos planctónicos y su repercusión en las reconstrucciones de paleotemperaturas basadas en corales

Factors controlling Sr/Ca ratio in planktonic foraminifers and their implications in paleotemperature reconstructions based on corals

Beatriz Gonzalez-Mora y Rubén Pérez-Martín

Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca. mora@usal.es, rubenpm@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 Sr/Ca ratio in planktonic foraminifers. For this purpose, this ratio has been measured in two different species, *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling) and *Globigerina bulloides*, in samples from the marine isotope stage 7 (250-190 kyr). The fast and pronounced fluctuations in shell Sr/Ca observed between substages cannot only respond to water salinity, pH nor temperature changes. However, the results obtained suggest that shell Sr/Ca variations in planktonic foraminifers from the Alboran Sea are also related to Sr/Ca glacial/interglacial changes in the ocean. This would mean that the paleotemperature reconstructions based on corals, might be revised since coral Sr paleothermometry would have underestimated sea surface temperature during glacial episodes.

Key words: Ocean Sr/Ca, Marine Isotope Stage 7, Alboran Sea, Western Mediterranean Sea.

Geogaceta, 45 (2008), 103-106

ISSN: 0213683X

Introducción

Los largos tiempos de residencia del Sr y el Ca, aproximadamente 5 y 1 Ma, respectivamente, implican que las variaciones en la relación Sr/Ca del océano deberían ser muy limitadas a escala glacial/interglacial. Además, el Sr y el Ca están poco controlados por el ciclo biológico, por lo que las variaciones registradas en el Sr/Ca de los carbonatos marinos a escala de ciclos glaciales del Cuaternario han sido atribuidas a parámetros ambientales y diagenéticos. En concreto, los cambios registrados en el Sr/Ca del aragonito de los corales actuales han sido interpretados como variaciones en la temperatura del agua y han sido utilizados para reconstruir la temperatura de los océanos glaciales (Beck *et al.*, 1992). Estas reconstrucciones asumen que la relación Sr/Ca media del océano ha permanecido constante a lo largo del tiempo a escala glacial/interglacial. Si esto no fuera cierto, tanto la edad como la magnitud de las reconstrucciones de temperatura basadas

en corales necesitarían ser revisadas.

Stoll y Schrag (1998) exploraron la posibilidad de que existieran cambios en el Sr/Ca del océano a las escalas temporales del Cuaternario. Estas variaciones podrían ser originadas por la liberación de Sr desde las plataformas carbonatadas debido a los cambios del nivel del mar. Las plataformas carbonatadas son solamente un reservorio temporal de una gran cantidad de Sr, ya que el Sr es un elemento que se libera preferentemente de las plataformas en momentos de meteorización, de forma que estas plataformas son una fuente adicional de Sr durante los periodos de bajo nivel del mar.

La paleotermometría basada en el Sr/Ca de los corales fósiles asume que un incremento de la temperatura de 1 °C produce un descenso en el Sr/Ca del 0,7-1,0 %, por lo que un pequeño porcentaje de variación en el Sr/Ca del océano afectaría a las estimaciones de paleotemperatura (De Villiers *et al.*, 1994).

La química de la calcita de la concha de los foraminíferos es una herramienta

para estimar cambios temporales en la química local y global del océano. Estudios realizados en cultivos documentan que el Sr/Ca de la concha registra variaciones en el Sr/Ca del océano y diferentes organismos fósiles han sido utilizados para reconstruir variaciones en el Sr/Ca del océano a grandes escalas de tiempo (Graham *et al.*, 1982).

Algunos estudios han puesto de manifiesto el control que diferentes parámetros parecen tener sobre la relación Sr/Ca presente en la concha de los foraminíferos como la relación Mg/Ca de la concha o la profundidad de las muestras (en relación con la disolución sufrida). Otros estudios recientes llevados a cabo en cultivos de foraminíferos han demostrado que parámetros ambientales como la temperatura, el pH y la salinidad del agua, afectan a la incorporación del Sr a la calcita de los foraminíferos (Lea *et al.*, 1999).

En este artículo se presenta un nuevo registro del Sr/Ca de la concha de varias especies de foraminíferos planctónicos pertenecientes a muestras del mar de



Fig. 1.- Situación del sondeo ODP977 (36° 01.907'N, 1° 57.319'W) recogido 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, Southern Spain, Western Mediterranean.

Alborán (Mediterráneo occidental) de entre 250 y 190 ka.

Material y métodos

Las muestras estudiadas pertenecen al sondeo ODP977, extraído en la cuenca oriental de Alborán (36° 01.907'N, 1° 57.319'W) a una profundidad de 1984 m, durante la expedición 161 del *Ocean Drilling Program* en 1996 (Fig. 1). Se ha realizado un muestreo sistemático de alta resolución (5 cm) con el fin de observar la evolución de la relación Sr/Ca en la concha de los foraminíferos planctónicos a lo largo del estadio isotópico marino 7 (*Marine Isotope Stage 7*).

En cada muestra se separaron aproximadamente 15 g de sedimento seco que se lavaron con un tamiz de 63 µm de luz de malla, y se secaron. Se han separado 40 individuos de la fracción 250-300 µm en cada muestra, 20 de los cuales pertenecían a la especie *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa), mientras los otros 20 correspondían a la especie *Globigerina bulloides*. Todas las muestras han sido limpiadas con peróxido de hidrógeno, metanol, ultrasonidos, agua ultrapura desionizada y ácido nítrico siguiendo el protocolo de limpieza establecido por Barker *et al.* (2003) para la realización de análisis de Mg/Ca.

Las mediciones se efectuaron con un ICP-AES (*Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*) utilizando un dispositivo *Varian Vista AX CCD simultaneous* en la Universidad de Cambridge según se describe en De Villiers *et al.* (2002).

El modelo de edad utilizado es el elaborado por Martrat *et al.* (2004). Para su elaboración se correlacionó la curva $\delta^{18}\text{O}_{\text{G.bulloides}}$ del sondeo ODP977 con la curva normalizada de Martinson *et al.* (1987) reconociendo un total de seis niveles de referencia (*pointers*) que coinciden con máximos, mínimos o puntos de cambio de tendencia en ambas curvas.

Resultados

Algunos autores han sugerido, a la luz de sus resultados, que la disolución puede hacer disminuir la relación Sr/Ca presente en la concha de algunos foraminíferos planctónicos. En las muestras utilizadas en este estudio la disolución sufrida por las conchas no ejerce un control importante sobre su relación Sr/Ca puesto que, en momentos donde se registra un alto índice de fragmentación, la relación Sr/Ca presenta máximos, como es el caso del comienzo del subestadio 7.5. Sin embargo, algunos de los cambios de alta frecuencia observados en la relación Sr/Ca pueden estar relacionados con variaciones importantes puntuales en la disolución de las muestras.

Las variaciones descritas por la relación Sr/Ca en la concha de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) y *Globigerina bulloides* a lo largo del estadio isotópico marino 7 son muy similares en términos generales (Fig. 2). En el caso de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) los valores de esta relación varían entre 1,398 y 1,534 mmol/mol, mientras en el caso de *Globigerina bulloides* el rango de valores

de la relación Sr/Ca es menor (entre 1,344 y 1,486 mmol/mol).

Se observa que, durante los periodos fríos, la relación Sr/Ca presente en la concha de las dos especies registra los valores más altos. En *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) los valores máximos se encuentran hacia la mitad del subestadio 7.4; sin embargo, en *Globigerina bulloides*, son mayores al comienzo del subestadio cálido 7.5. Parece que, una vez alcanzados los valores máximos, la relación Sr/Ca de la concha de los foraminíferos planctónicos comienza a disminuir de forma relativamente rápida hasta alcanzar los valores mínimos dentro de los subestadios cálidos. Posteriormente, la relación se mantiene constante o comienza a aumentar de nuevo, pero de forma muy gradual hasta que al final del subestadio cálido se produce un drástico ascenso en la relación Sr/Ca que culmina una vez comenzado el subestadio frío. Esta tendencia se observa en las dos especies estudiadas, aunque en el registro de *Globigerina bulloides* la relación Sr/Ca permanece estable a lo largo de los subestadios 7.2 y 7.1. Los valores altos que se observan al comienzo del MIS7 parecen ser el tramo final del descenso en la relación Sr/Ca que pudo tener su comienzo durante el anterior estadio isotópico (MIS8) de condiciones frías.

La gradiente existente entre ambas curvas es prácticamente constante a lo largo del tiempo.

Interpretación

Si la temperatura del agua ejerciera un control primario sobre las variaciones de Sr/Ca en la concha de los foraminíferos planctónicos, esta relación debería ser menor durante los intervalos fríos. Sin embargo, los resultados muestran lo contrario, mayores valores de Sr/Ca durante los periodos fríos, por lo que queda descartada la temperatura del agua como control principal de la relación Sr/Ca de los foraminíferos planctónicos.

Por otro lado, experimentos realizados con foraminíferos planctónicos vivos indican que incrementos en el pH y la salinidad del agua provocan aumentos en la relación Sr/Ca de 0,6-1,1 % por 0,1 unidades de pH y 0,6 % por cada unidad de salinidad (Lea *et al.*, 1999). Es probable que durante los subestadios fríos el pH aumentara 0,1 unidades de pH (Martin *et al.*, 1999) y la salinidad en la cuenca de Alborán fuera hasta 3 unidades superior a la de los subestadios cálidos, por lo que la variación experimentada por ambos parámetros podría afectar a los

cambios de baja frecuencia del Sr/Ca de las conchas, pero sólo podría explicar una variación inferior al 3 %. Sin embargo, en el registro del mar de Alborán se observan fluctuaciones de hasta el 8 % en *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) y del 7 % en *Globigerina bulloides*, lo que significa que otros factores deben estar ejerciendo un control importante sobre los cambios entre subestadios observados en la relación Sr/Ca de la concha.

Estos resultados hacen pensar en variaciones en el Sr/Ca del océano como control adicional de los cambios en el Sr/Ca de la concha como ya habían sugerido previamente Martin *et al.* (1999) y Elderfield *et al.* (2000). Esta variaciones globales en el Sr/Ca del agua han sido relacionadas con la meteorización del Sr de los sedimentos de las plataformas aragoníticas durante periodos en los que el nivel del mar estaba más bajo (Stoll y Schrag, 1998), aunque dicho modelo explica un aumento del Sr/Ca durante los periodos glaciales del 1-3 %, lo que sigue sin explicar las variaciones obtenidas en este trabajo. Además, los cambios observados en el Sr/Ca de las conchas durante el estado 7, tanto los aumentos como los descensos, se produjeron de forma rápida, lo que llama la atención teniendo en cuenta los largos tiempos de residencia del Sr y el Ca en el océano. En este sentido, la meteorización del Sr de las plataformas no podría generar incrementos en el Sr/Ca del océano tan rápidos como los observados en este trabajo. Martin *et al.* (1999) también registraron fluctuaciones abruptas y de gran amplitud (hasta del 5 %) en el Sr/Ca de la concha de diferentes especies de foraminíferos en muestras del Atlántico y el Pacífico pertenecientes a los últimos 300 ka, y llegaron a la conclusión de que una mayor sedimentación en las plataformas carbonatadas y un aumento en la descarga de los ríos durante los momentos de deglaciación podrían generar cambios rápidos y de gran magnitud en la relación Sr/Ca del océano, lo que podría explicar el tipo de variaciones observadas en estas muestras.

En un estudio realizado por Elderfield *et al.* (2000) en el que se analizaba la relación Sr/Ca en diferentes especies de foraminíferos planctónicos se observó que dicha relación describía un patrón diferente en cada una de las especies. Por este motivo, los autores argumentaron que, además de la relación Sr/Ca del agua, otros factores debían estar controlando dicha relación. Por el contrario, en este trabajo se observa un patrón general muy similar en las dos especies utiliza-

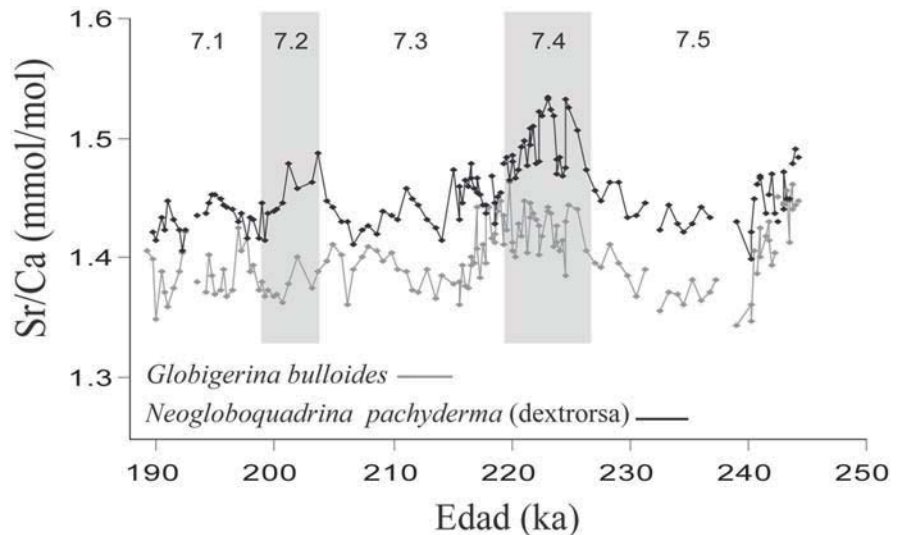


Fig. 2.- Relación Sr/Ca medida en conchas de *Globigerina bulloides* (gris) y *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) (negro) entre 250 y 190 ka.

Fig. 2.- Sr/Ca ratio in shells from *Globigerina bulloides* (grey) and *Neogloboquadrina pachyderma* (right coiling) (black) between 250 and 190 kyr.

das, lo que sugiere que, al menos en el mar de Alborán, la relación Sr/Ca de la concha de los foraminíferos responde en gran parte a cambios en la relación Sr/Ca del océano global. Sin embargo, existe un gradiente entre ambos registros relativamente constante de aproximadamente 0,045 mmol/mol cuyo origen podría relacionarse a priori con el hábitat de cada especie y su temperatura de calcificación. En ese caso, la especie *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) se desarrolla a temperaturas más bajas que *Globigerina bulloides* y, por lo tanto, debería registrar valores más bajos de Sr/Ca en su concha. Sin embargo, el registro obtenido indica lo contrario, la relación Sr/Ca en la concha de *Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) es mayor que en *Globigerina bulloides*, por lo que la temperatura del agua queda descartada como causa principal del gradiente entre ambos registros. En ese caso, se podría pensar en mecanismos fisiológicos característicos de cada especie como origen de dicho gradiente.

Conclusiones

La evolución en los valores de la relación Sr/Ca medida en conchas de varias especies de foraminíferos planctónicos (*Neogloboquadrina pachyderma* (dextrorsa) y *Globigerina bulloides*) procedentes del mar de Alborán a lo largo del estadio isotópico marino 7 sugiere que dicha relación está controlada en gran parte por las variaciones a escala glacial/interglacial que tienen lugar en la relación Sr/Ca del océano global. No se descarta

una posible influencia de los cambios en el pH, la temperatura y la salinidad del agua, pero su efecto no podría dar lugar al tipo de variaciones observadas en las muestras estudiadas en este trabajo.

Si se confirma, a través de otros estudios similares, que el Sr/Ca del océano no ha permanecido constante a lo largo del tiempo, habría que revisar las estimaciones de paleotemperaturas basadas en el Sr de los corales, ya que los resultados estarían subestimando las temperaturas durante los periodos glaciales.

Además, el registro de un patrón de variación común para las dos especies confirma que la relación Sr/Ca del océano constituye el principal control del Sr/Ca de concha en ambas especies.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos GRACCIE (CONSOLIDER-INGENIO CSD 2007-00067), CGL 2005-00642/BTE, CGL2008-05560 y REN 2003-08642-CO2/CLI del Ministerio de Educación y Ciencia, por el proyecto GR34 financiado por la Junta de Castilla y León, y por la beca FPU del Ministerio de Educación y Ciencia concedida a Beatriz González Mora (AP20033094). Agradecimientos al *Integrated Ocean Drilling Program* por haber proporcionado las muestras.

Referencias

Barker, S., Greaves, M. y Elderfield, H. (2003). *Geochemistry, Geophysics,*

- Geosystems, 4, 8407, doi:10.1029/2003GC000559.
- Beck, J. W., Edwards, R. L., Ito, E., Taylor, F. W., Recy, J., Rougerie, F., Joannot, P., y Henin, C., (1992). *Science*, 257, 644–647.
- De Villiers, S., Shen, G. T., y Nelson, B. K., (1994). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 197–208, 1994.
- De Villiers, S., Graves, M. y Elderfield, H. (2002). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3, doi:10.1029/2001GC000169.
- Graham, D. W., Bender, M. L., Williams, D. F. y Keigwin, L. D., (1982). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, 1281–1292.
- Lea, D. W., Mashiotta, T. A. y Spero, H. J., (1999). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 2369–2379.
- Martin, P. A., Lea, D. W., Mashiotta, T. A., Papenfuss, T. y Sarthein, M., (1999). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 1, 1999GC000006.
- 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.
- Stoll, H. M. y Schrag, D. P., (1998). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 1107–1118.