

EL USO DIDÁCTICO DE LOS FORAMINÍFEROS EN LA ENSEÑANZA DE CIENCIAS DE LA TIERRA: SU DISTRIBUCIÓN PALEOCEANOGRÁFICA EN EL TRÁNSITO CRETÁCICO-TERCIARIO

The didactic use of the foraminifera in the teaching Earth Sciences: their paleoceanographic distribution across the Cretaceous/Tertiary boundary

Ignacio Arenillas, Laia Alegret, José A. Arz y Eustoquio Molina (*)

RESUMEN:

El análisis de facies, especialmente de medios marinos pelágicos, puede resultar incompleto si se reduce a un simple estudio estratigráfico y sedimentológico. Generalmente se precisa de un análisis micropaleontológico para deducir la edad y la paleopropundidad de los sedimentos, así como las condiciones físico-químicas de las aguas marinas (temperatura, salinidad, oxigenación) y otras características paleoceanográficas. En el presente trabajo se proporciona como ejemplo una guía sintética de la distribución de los principales foraminíferos bentónicos (FB) y planctónicos (FP) del Cretácico Superior y Terciario Inferior que permitirá a los estudiantes universitarios de Ciencias de la Tierra inferir la paleobiogeografía de un sedimento marino del tránsito Cretácico-Terciario.

ABSTRACT:

Facies analysis may be incomplete if it is limited to a simple stratigraphic and sedimentologic study, especially in pelagic environments. A micropaleontologic analysis is necessary to infer the age and the paleodepth of the sediments, as well as the physical-chemical conditions of the marine waters (temperature, salinity, oxygenation) and other paleoceanographic characteristics. In present work, we provide as example a synthetic guide with the main Upper Cretaceous and Lower Tertiary benthic and planktic foraminiferal distribution, which will allow university students of Earth Sciences to infer the paleobiogeography of the oceanic sediment across the Cretaceous/Tertiary boundary.

Palabras clave: Bioestratigrafía, paleobiogeografía, foraminíferos, Maastrichtiense, Paleoceno.

Keywords: Biostratigraphy, paleobiogeography, foraminifera, Maastrichtian, Paleocene.

INTRODUCCIÓN

La Micropaleontología es una rama de la Paleontología que estudia los fósiles de pequeño tamaño, empleando técnicas especiales de muestreo en campo, preparación en laboratorio (lámina delgada, frotis, levigado) y observación (lupa binocular, microscopio). El mayor interés de la Micropaleontología es su carácter aplicado, ya que ha contribuido en gran medida a la resolución de problemas geológicos. La Micropaleontología desempeñó un papel muy importante en la industria petrolífera, dado que algunos microfósiles son muy útiles para el control bioestratigráfico de sondeos y para la localización de niveles productivos. Dentro del término microfósil se incluyen muchos organismos pequeños y fragmentos de organismos de mayor tamaño, pero el grupo principal de microfósiles objeto de estudio son los organismos unicelulares (Procariotas y Protistas). El grupo de microorganismos unicelulares de mayor interés en Micropaleontología son los foraminíferos.

Los foraminíferos son protozoos rizópodos unicelulares muy abundantes y con la capacidad de crear una concha de carbonato cálcico (conchas de pared calcítica) o de aglutinar partículas (conchas

de pared arenácea). Por esta razón, estos microorganismos fosilizan fácilmente, siendo de enorme interés en Paleontología y Geología. Representan una herramienta fundamental para la datación de sedimentos del Cretácico y Terciario en medios marinos y para las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoceanográficas. En función de su hábitat, los foraminíferos pueden dividirse en dos grandes grupos: los que viven en el medio planctónico, siendo parte integrante del conocido plancton marino, y los que habitan el medio bentónico (fondo marino), adaptándose a diversas profundidades (litoral, sublitoral, batial y abisal).

Los foraminíferos bentónicos (FB) y planctónicos (FP) están limitados por diversos factores medioambientales, siendo la temperatura, la profundidad, la salinidad, los nutrientes y la oxigenación de las aguas, los cinco factores más importantes. Sus características biológicas les impiden apartarse mucho de unos determinados rangos de cada uno de estos factores. En general, cada grupo de FB y FP está adaptado a unas condiciones ecológicas determinadas de temperatura y profundidad, y su distribución paleoceanográfica dependerá de la latitud y batimetría a las que esté adaptado. En la horizontal (distribución paleoogeográfica

(*) Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza.
E-mail: ias@posta.unizar.es

fica) se pueden diferenciar cinco provincias faunísticas: polar, subpolar, templada, subtropical y tropical, aunque no existen límites bruscos entre estas zonas. Las especies de foraminíferos se pueden dividir entre las que prefieren aguas cálidas (tropical-subtropical), las que abundan en aguas frías (polar-subpolar) y las características de aguas templadas.

El estudio de los foraminíferos es muy importante para las dataciones (bioestratigrafía, cronoestratigrafía) y de gran aplicación en sedimentología y paleoceanografía. El estudio micropaleontológico nos informa, por ejemplo, de la paleolatitud y paleopropundidad del medio marino en el que se depositaron unos determinados sedimentos. Estos datos son de especial interés en sedimentos pelágicos profundos. Además, el análisis micropaleontológico nos permite deducir la sucesión de los distintos ambientes de depósito registrados a lo largo de las secuencias estratigráficas. Por esta razón, a los alumnos de Ciencias de la Tierra se les exige saber desenvolverse en el laborioso mundo de la Micropaleontología. En la mayor parte de las prácticas de laboratorio de Micropaleontología, y también en el análisis de microfácies en Sedimentología, se suele realizar el estudio de muestras con foraminíferos. El alumno debe analizar primero el contenido micropaleontológico y, aplicando una serie de índices e indicadores paleoecológicos, averiguar el medio sedimentario al que pertenece la muestra estudiada.

Objetivos

En la actualidad, existen muchos trabajos de tipo taxonómico y bioestratigráfico de foraminíferos planctónicos y bentónicos, suficientes para que los alumnos consigan identificar los taxones y datar la muestra. Por el contrario, encontrar trabajos que sinteticen la distribución paleobiogeográfica y paleoecológica de los foraminíferos es más difícil, y mucho menos con una finalidad docente. Hay algunos trabajos que incluyen tablas de este tipo, pero se refieren fundamentalmente a especies y géneros de foraminíferos actuales (Murray, 1991). Trabajos similares deberían realizarse para otras épocas y edades, y para otros grupos de microorganismos, ya que tienen un gran interés didáctico y práctico. Por tanto, el objetivo de este trabajo es, en primer lugar, orientar cómo debe realizarse el estudio de una muestra micropaleontológica y, en segundo, dar una guía de distribución paleoceanográfica de foraminíferos del tránsito Cretácico-Terciario.

Hemos elegido este periodo de tiempo por que es quizás uno de los más interesantes, debido al evento de extinción que aconteció entre el Cretácico y el Terciario, y por ser el estudiado más detalladamente. Se pretende dar una guía útil y sencilla y, por este motivo, presentamos un listado de especies de FP según su distribución paleolatitudinal y un listado de especies de FB según su distribución paleobatimétrica. Para la realización de este trabajo nos hemos basado en la bibliografía especializada y nuestra propia recopilación de datos.

Nivel: Alumnos universitarios de Ciencias de la Tierra

Metodología

La forma más apropiada para plantear el estudio de una muestra micropaleontológica es iniciarlo con la enseñanza de las técnicas micropaleontológicas más importantes, fundamentalmente la técnica del levigado (Fig. 1). La lámina delgada es una técnica que no suele permitir la determinación de los taxones a nivel de especie. Por esta razón, esta técnica es cada día menos utilizada debido a que los estudios micropaleontológicos requieren cada vez mayor precisión. Por el contrario, el levigado permite grandes precisiones y es actualmente la técnica más utilizada. Esta técnica consiste en la disgregación de la roca mediante una solución de agua oxigenada al 10%. El agua oxigenada se añade sobre la muestra en seco y se deja reaccionar durante un tiempo. Este reactivo destruye la materia orgánica y favorece la disgregación de la roca, siendo tanto más eficiente cuanto más margosa sea la muestra. Si la roca es muy carbonatada (calizas, margocalizas, etc.) quizás sea conveniente utilizar otras técnicas como la lámina delgada. No deben utilizarse reactivos que ataquen el carbonato de la concha de los foraminíferos, como es el caso del ácido clorhídrico. Si la disgregación es difícil y lenta, se puede mantener en ebullición durante algunos minutos y posteriormente se deja enfriar. Una vez disgregado el material, se lava con una torre de tamices de diferente luz de malla. Se suelen utilizar tamices de 63, 150 y 250 micras de luz de malla. El residuo que queda en los tamices se recoge en vasos individuales. Cuando el lavado no ha eliminado toda la matriz, se introduce el vaso con la muestra en una cubeta de ultrasonidos para arrancar restos de matriz de la pared de las conchas. Se deja secar en un horno convencional y se recoge en un bote convenientemente siglado.

A los alumnos se les puede dar una o más muestras levigadas para que trabajen sobre ella a lo largo del curso. En las prácticas de micropaleontología se plantean tres fases fundamentales: en la primera, la más básica, el alumno debe analizar el contenido micropaleontológico de la muestra. En la segunda fase, al alumno se le plantea que intente datar la muestra mediante el análisis bioestratigráfico de la asociación microfaunística identificada. Los trabajos taxonómicos y atlas de F.P. más importantes para el Cretácico y el Terciario son los de Postuma (1971), Smith y Pessagno (1973), Stainforth *et al.* (1975), Blow (1979), Robaszinsky *et al.* (1984), Bollen *et al.* (1985), Nederbragt (1991) y Olsson *et al.* (1999). Un trabajo muy importante y recomendable sobre todo para los FB es el de Loeblich y Tappan (1988), ya que recopila de manera muy completa la taxonomía de foraminíferos a nivel genérico.

Finalmente, la tercera fase consiste en averiguar a que medio sedimentario pertenece dicha muestra, analizando su posición paleolatitudinal y paleobatimétrica aproximada. La escasez de trabajos sintéticos sobre la distribución paleobiogeográfica de los foraminíferos del Cretácico Superior y Paleoceno aconseja realizar trabajos de este tipo, con el fin de facilitar a los alumnos la elaboración del informe micropaleontológico.



Figura 1. Método del levigado y estudio cuantitativo.

Conocimientos previos

La naturaleza calcárea de las conchas de los foraminíferos permite realizar estudios isotópicos (^{18}O y ^{13}C) y establecer los rangos de temperatura y profundidad en que viven las diferentes especies de FP. Los foraminíferos planctónicos viven en los 200 metros superiores y son más abundantes entre los 10 y 50 metros de la columna de agua, coincidiendo con las mayores concentraciones de fitoplancton. Cada especie se encuentra aproximadamente a la misma profundidad en todos los océanos.

En taludes y plataformas recientes se ha demostrado que algunas especies de FP de aguas superficiales habitan cerca de la costa, mientras que especímenes de crecimiento lento y hábitat profundo están raramente presentes en medios de plataforma. Por otro lado, algunas de las especies que son comunes en aguas superficiales en mar abierto tienden a ser muy raras en mares epicontinentales y medios de plataforma. Esto es debido a que algunos parámetros (turbidez, salinidad, etc.), además de la profundidad, cambian también desde los océanos abiertos hasta la costa. Cuanto más cerca de la costa, mayor es la variabilidad de la salinidad, temperatura, niveles de nutrientes, transparencia, etc. y esto favorece la proliferación de especies oportunistas.

El estudio de los FB permite obtener con bastante precisión la profundidad a la cual se depositó un sedimento, dado que estos organismos presentan una estrecha relación con el medio submarino y por ello son unos excelentes indicadores paleoambientales. Las condiciones físico-químicas reinantes en el sustrato marino varían progresivamente con la profundidad, de modo que cada subambiente está caracterizado por unas condiciones determinadas y, en consecuencia, por unas asociaciones de FB adaptadas a dichos parámetros. Así, por ejemplo, los FB de pared aglutinada son excelentes marcadores paleobatimétricos en medios profundos (talud y llanura abisal), dado que al no necesitar carbonato para la construcción de sus conchas pueden vivir incluso por debajo del nivel de compensación de la calcita. El fondo marino puede dividirse en distintos subambientes según los rangos de profundidad propuestos en la Fig. 2.

La determinación de la profundidad de una asociación de FB es compleja, y precisa de un estudio taxonómico y paleoecológico de las especies presentes. Concretamente, el límite batimétrico superior de cada especie constituye uno de los indicadores paleobatimétricos más útiles. Aunque este patrón puede variar en el espacio y en el tiempo, cada especie tiene un límite batimétrico superior característico por encima del cual no puede vivir. Sin embargo, un análisis tan exhaustivo de los FB es tarea propia de especialistas, y no una finalidad para estudiantes universitarios. Nosotros mostramos una serie de pautas generales para la estimación aproximada de la paleoprofundidad del medio en función de los géneros de FB que se encuentran más estrechamente ligados a la profundidad.

Otra manera de medir la mayor o menor cercanía del depósito a la línea de costa es utilizar el índice foraminíferos planctónicos/bentónicos (P/B), el cual puede relacionarse con la paleoprofundidad. Este índice expresa el porcentaje de los foraminíferos planctónicos frente a los bentónicos en cada muestra representativa: $P/B = FP/(FP+FB) \times 100$. El índice P/B es comúnmente empleado por la mayoría de autores, a partir de las ideas establecidas por Murray (1991). Este autor determinó que, por lo general, una proporción de FP superior al 70% indica un medio de talud continental, aumentando su proporción con la profundidad. De esta manera, en las llanuras abisales, por encima del nivel de compensación de la calcita, se llega a alcanzar más del 99% de FP. Además, Murray (1991) establece que proporciones entre el 40 y el 70% corresponden a medios de plataforma externa, entre el 10 y el 60% a una plataforma media y menos del 20% a una plataforma interna.

FORAMINÍFEROS DEL TRÁNSITO CRETÁCICO-TERCIARIO

Foraminíferos bentónicos

En la Fig. 2 se muestra una síntesis de los géneros de FB más comunes en cada subambiente marino. Este modelo es válido principalmente para latitudes medias. En otras latitudes, la composición de las asociaciones puede variar ligeramente. De esta manera, las asociaciones de plataforma externa-talud superior en altas latitudes contienen un mayor porcentaje de nodosaríidos y glandulínidos (ej. *Fissurina*, *Oolina*) y una menor proporción de especies aglutinadas con respecto a las faunas de bajas latitudes. Similares predicciones sobre la composición de las asociaciones se pueden realizar para latitudes tropicales.

Por otro lado, estos datos son válidos, en líneas generales, tanto para el Cretácico Superior como para el Terciario Inferior. Al contrario de lo que ocurre con los FP, la extinción de los FB en el límite Cretácico/Terciario no fue muy relevante, y la mayor parte de los géneros cretácicos sobrevivieron al evento. El cambio más importante que experimentaron las comunidades de FB se refiere a variaciones en los microhábitats ocupados por éstos (distintas profundidades de penetración en el sedimento), así como en una reestructuración temporal de los hábitos alimenticios durante el evento del límite Cretácico/Terciario, debido al descenso del aporte de nutrientes al fondo marino.

Foraminíferos planctónicos

Para el Cretácico Superior, como criterio general, se ha admitido que las formas de pequeño tamaño, simples, globulosas, biseriadas, planoespiraladas o trocoespiraladas sin carena (*Heterohelix*, *Hedbergella*, *Globigerinelloides*), forman un grupo que habita en las zonas más superficiales de la columna de agua, mientras que las formas carenadas,

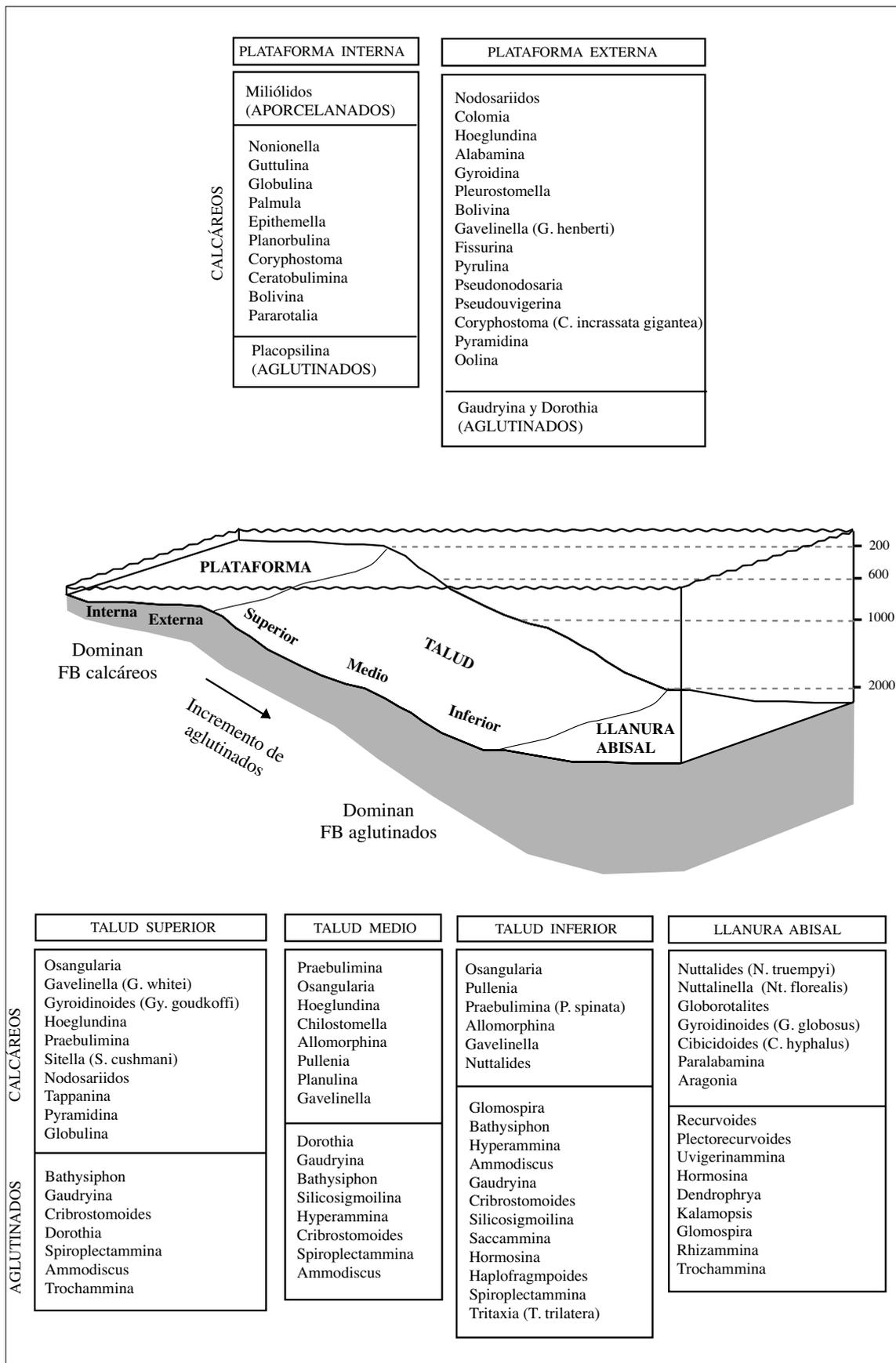


Figura 2. Géneros de foraminíferos bentónicos más comunes en cada subambiente marino.

grandes y complejas son moradoras de aguas más profundas (*Globotruncana*, *Globotruncanita*, *Abathomphalus*). No obstante, no todas las especies pertenecientes al mismo género ocupan el mismo nicho ecológico (Fig. 3).

La mayor parte de las especies del Cretácico Superior habitaban en latitudes tropicales-subtropicales o templadas. Las asociaciones de FP del Maastrichtiense en estas latitudes estaban muy diversificadas, incluyendo formas especializadas, grandes

y complejas como *Globotruncana*, *Contusotruncana*, *Racemiguembelina* o *Planoglobulina* (Fig. 3). Las especies dominantes en latitudes polares-subpolares pertenecían fundamentalmente a los géneros *Guembelitra*, *Heterohelix*, *Globigerinelloides* y *Hedbergella*. No obstante, durante el Maastrichtiense, el género dominante en todas las latitudes fue *Heterohelix*. La distribución paleolatitudinal de las especies del Maastrichtiense se representa en la Fig. 4.

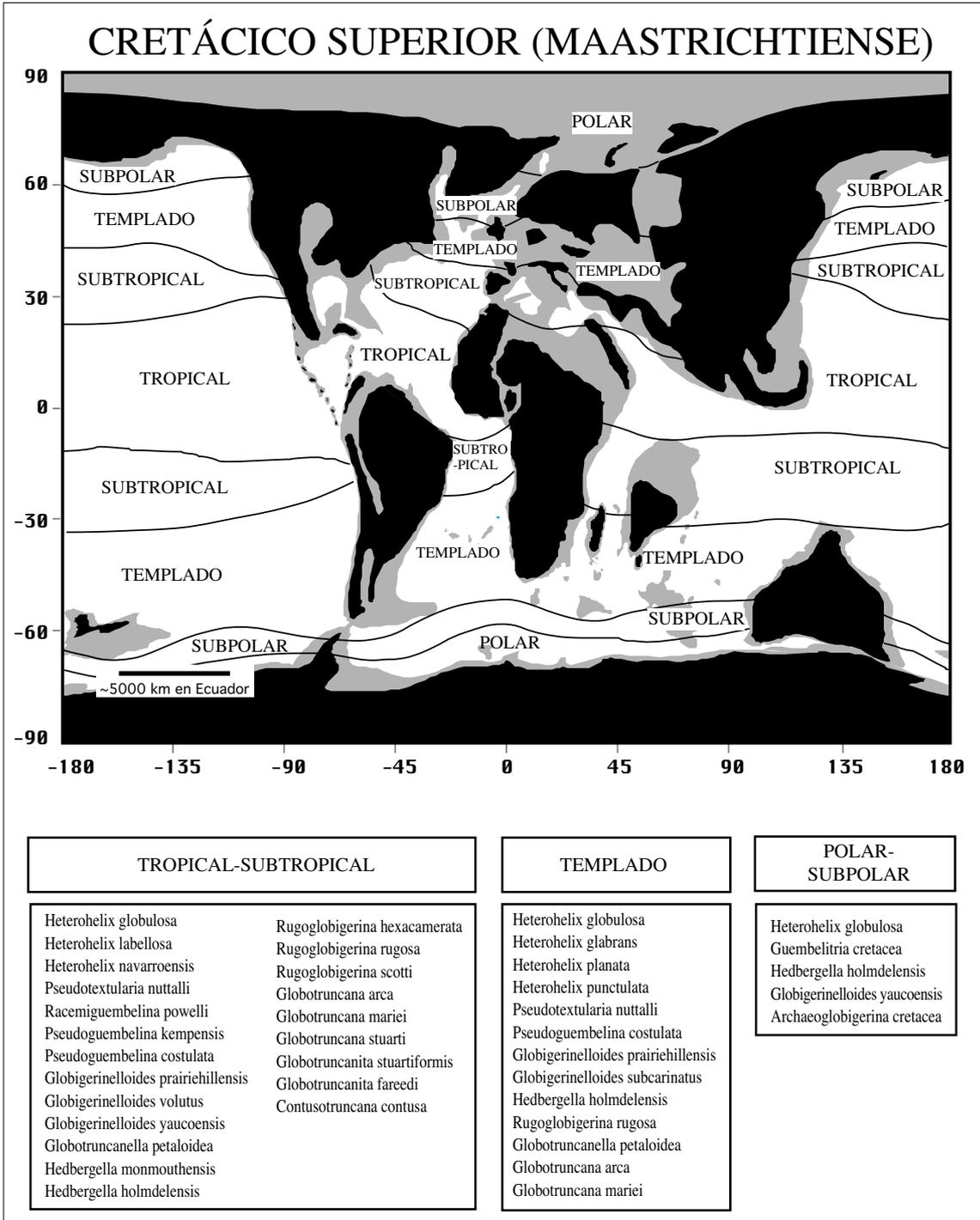


Figura 3. Paleogeografía aproximada y especies de foraminíferos planctónicos más abundantes en latitudes tropicales-subtropicales, templadas y polares-subpolares del Maastrichtiense.

| CRETÁCICO SUPERIOR (MAASTRICHIENSE) | TROPICAL-SUBTROPICAL | TEMPLADO | SUBPOLAR-POLAR |
|---|----------------------|----------|----------------|
| Guembeltria cretacea Cushman | | | |
| Guembeltria trifolia (Morozova) | | | |
| Heterohelix planata (Cushman) | | | |
| Heterohelix globulosa (Eremberg) | | | |
| Heterohelix pulchra (Brotzen) | | | |
| Heterohelix punctulata (Cushman) | | | |
| Heterohelix glabrans (Cushman) | | | |
| Heterohelix labellosa Nederbragt | | | |
| Heterohelix navarroensis (Loeblich) | | | |
| Heterohelix postsemicostata (Vasilenko) | | | |
| Pseudotextularia nuttalli (Voorwijk) | | | |
| Pseudotextularia elegans (Rzehak) | | | |
| Pseudotextularia intermedia De Klasz | | | |
| Gublerina acuta De Klasz | | | |
| Gublerina cuvillieri Kikoine | | | |
| Pseudoguembelina kempensis Esker | | | |
| Pseudoguembelina costulata (Cushman) | | | |
| Pseudoguembelina excolata (Cushman) | | | |
| Pseudoguembelina palpebra Brönnimann y Brown | | | |
| Pseudoguembelina costellifera Masters | | | |
| Pseudoguembelina hariaensis Nederbragt | | | |
| Planoglobulina acervulinoides (Egger) | | | |
| Planoglobulina carseyae (Plummer) | | | |
| Planoglobulina multicamerata (de Klasz) | | | |
| Racemiguembelina fructicosa (Egger) | | | |
| Racemiguembelina powelli Smith y Pessagno | | | |
| Globigerinelloides yaucoensis (Pessagno) | | | |
| Globigerinelloides rosebudensis (White) | | | |
| Globigerinelloides praeerihillensis Pessagno | | | |
| Globigerinelloides volutus (White) | | | |
| Globigerinelloides subcarinatus (Brönnimann) | | | |
| Hedbergella monmouthensis (Olsson) | | | |
| Hedbergella holmdelensis Olsson | | | |
| Globotruncanella havanensis (Voorwijk) | | | |
| Globotruncanella petaloidea (Gandolfi) | | | |
| Globotruncanella caravacaensis Smit | | | |
| Globotruncanella pschadae (Keller) | | | |
| Globotruncanella minuta Caron y González Donoso | | | |
| Archaeoglobigerina cretacea (d'Orbigny) | | | |
| Archaeoglobigerina blowi Pessagno | | | |
| Schackoina multispinata (Cushman y Wickenden) | | | |
| Plummerita hantkeninoides (Brönnimann) | | | |
| Rugoglobigerina reicheli Brönnimann | | | |
| Rugoglobigerina rugosa (Plummer) | | | |
| Rugoglobigerina hexacamerata Brönnimann | | | |
| Rugoglobigerina rotundata Brönnimann | | | |
| Rugoglobigerina pennyi Brönnimann | | | |
| Rugoglobigerina milamensis Smith y Pessagno | | | |
| Rugoglobigerina macrocephala Brönnimann | | | |
| Rugoglobigerina scotti (Brönnimann) | | | |
| Globotruncana arca (Cushman) | | | |
| Globotruncana aegyptiaca Nakkady | | | |
| Globotruncana rosetta (Carsey) | | | |
| Globotruncana ventricosa White | | | |
| Globotruncana falsostuarti Sigal | | | |
| Globotruncana mariei Banner y Blow | | | |
| Globotruncanita stuarti (de Lapparent) | | | |
| Globotruncanita stuartiformis (Dalbiez) | | | |
| Globotruncanita conica (White) | | | |
| Globotruncanita angulata (Tilley) | | | |
| Globotruncanita insignis (Gandolfi) | | | |
| Globotruncanita fareedi (El-Naggar) | | | |
| Globotruncanita falsocalcarata (Kerdany y Abdelsalam) | | | |
| Contusotruncana contusa (Cushman) | | | |
| Contusotruncana patelliformis (Gandolfi) | | | |
| Contusotruncana plicata (White) | | | |
| Contusotruncana walfischensis (Todd) | | | |
| Gansserina gansseri (Bolli) | | | |
| Gansserina wiedenmayeri (Gandolfi) | | | |
| Abathomphalus mayaroensis (Bolli) | | | |
| Abathomphalus intermedius (Bolli) | | | |

— Abundante — Presente

Figura 4. Esquema general de la distribución latitudinal de las especies de foraminíferos planctónicos más importantes del Maastrichtiense.

Tras la extinción en masa del límite Cretácico/Terciario, evoluciona todo un conjunto de especies pequeñas, simples, oportunistas y cosmopolitas, pertenecientes a los géneros *Parvularugoglobigerina* y *Globoconusa*. Pronto aparecen especies más grandes y complejas de los géneros *Parasubbotina*, *Praemurica*, *Subbotina* y *Globanomalina*, pero su distribución paleobiogeográfica sigue siendo muy amplia y apenas existe una estratificación batimétrica de las mismas. Este hecho se mantiene en la mayor parte del Paleoceno inferior, resultando complicado distribuir las especies del Paleoceno inferior en función de sus preferencias bati-

métricas y latitudinales. Los estudios isotópicos sugieren que los FP de aguas superficiales (*Morozovella*, *Acarinina*) y las de aguas intermedias-profundas (*Subbotina*, *Luterbacheria*) divergen en el tránsito Paleoceno inferior-superior debido al desarrollo de la termoclina, que separa los hábitats superficiales y profundos en la columna de agua. Este hecho coincide con la evolución inicial de *Morozovella*, y la divergencia se debe a la colonización de los diferentes hábitats de la columna de agua. Este hecho también influye en la distribución paleobiogeográfica de las especies, permitiendo agruparlas mejor según su preferencia a aguas más cálidas o más frías (Fig. 5).

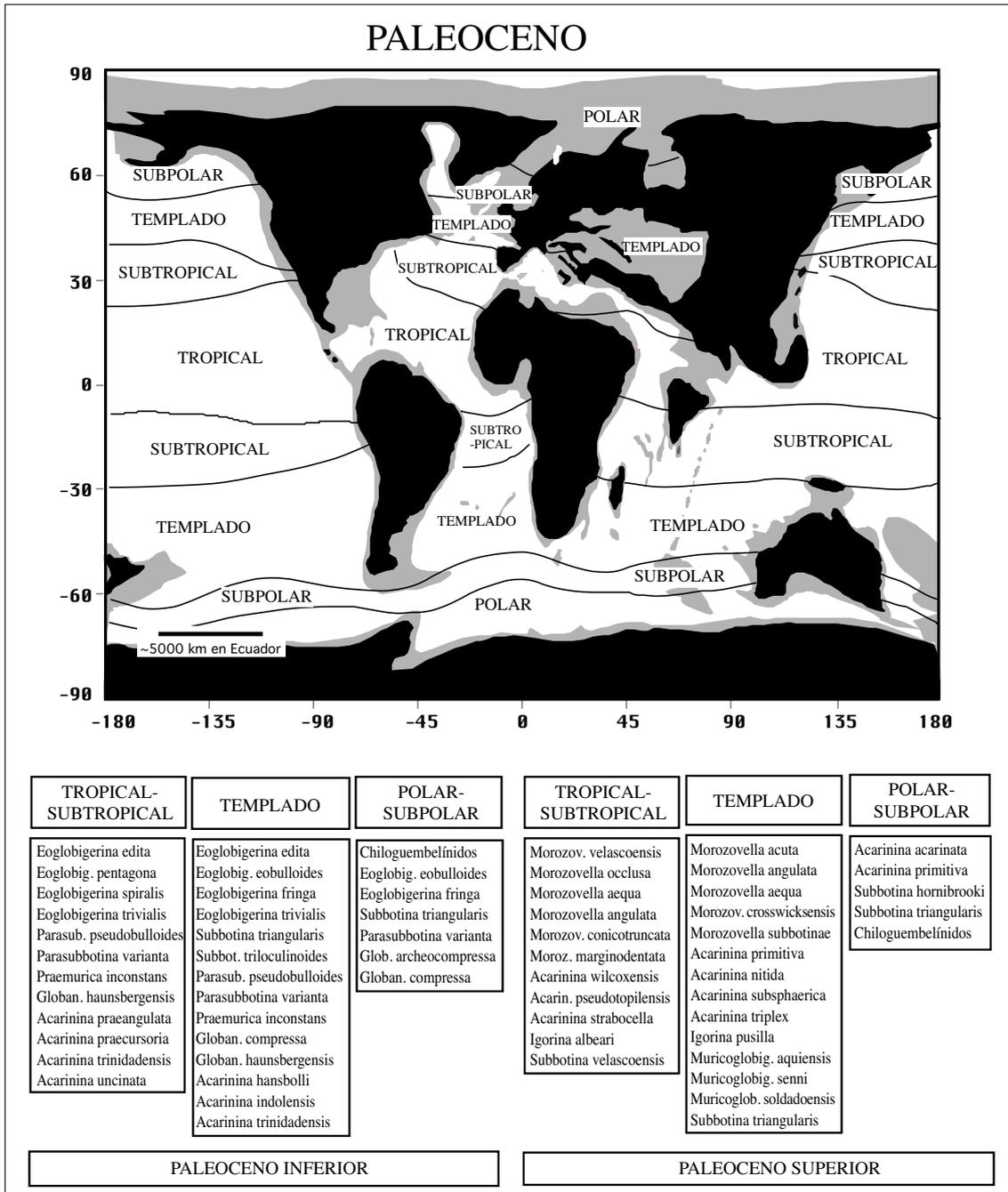


Figura 5. Paleogeografía aproximada y especies de foraminíferos planctónicos más abundantes en latitudes tropicales-subtropicales, templadas y polares-subpolares del Paleoceno.

Análisis isotópicos, biogeográficos y paleoceanográficos con foraminíferos planctónicos del Paleógeno han llegado a las siguientes conclusiones generales sobre los foraminíferos planctónicos del Paleoceno: la distribución latitudinal y batimétrica de las especies varía con el tiempo, pero en conjunto se puede afirmar que *Morozovella* es un género más común en bajas-medias latitudes y aguas superficiales, *Acarinina* en bajas-medias latitudes y

aguas superficiales, *Muricoglobigerina* altas-medias latitudes y profundidad superficial, *Subbotina* en altas-medias latitudes y profundidad intermedia, *Parasubbotina* en latitudes medias y profundidad intermedia, *Globanomalina-Luterbacheria* de altas-medias latitudes y aguas profundas y *Chiloguembelina* de latitudes altas, aguas profundas e hipóxicas. La distribución paleolatitudinal de las especies del Paleoceno se representa en la Fig. 6.

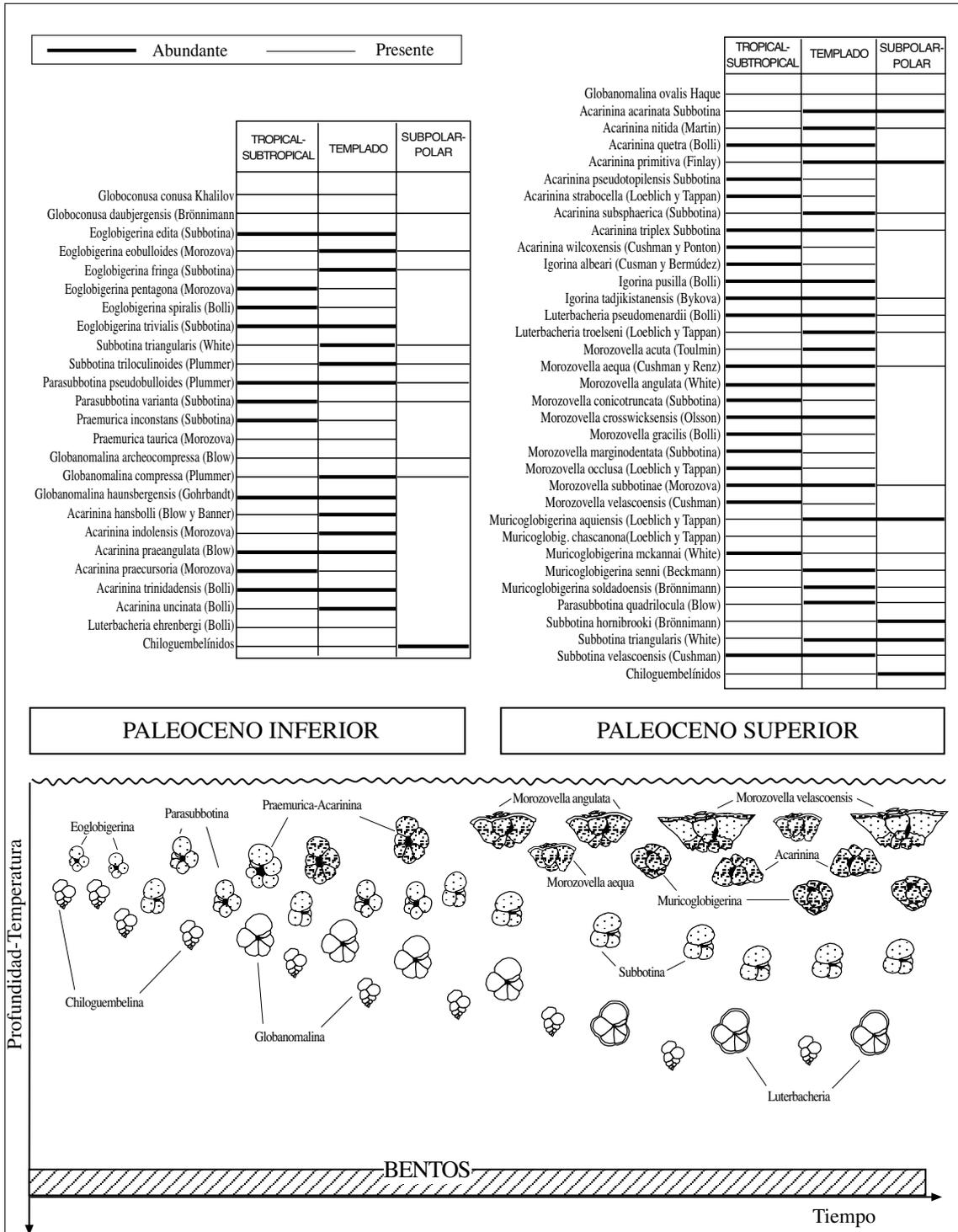


Figura 6. Esquema general de la distribución latitudinal y paleobatimétrica de las especies de foraminíferos planctónicos más importantes del Paleoceno.

Ejercicio práctico

Pregunta: “En una muestra micropaleontológica se han identificado entre otras las especies de FP: *Abathomphalus mayaroensis* y *Plummerita hantkeninoides*. Algunas de las especies más abundantes de FP son *Heterohelix globulosa*, *Pseudogumbelina kempensis*, *Racemigumbelina powelli*, *Globotruncana arca*, *Contusotruncana contusa* y *Globotruncanita stuartiformis*. La asociación faunística de foraminíferos consiste en un 80% de FP y un 20% de FB. Entre los FB se han identificado *Osangularia*, *Gyroidinoides*, *Praebulimina*, *Sitella*, *Tappanina*, *Dorothia*, *Ammodiscus* y *Trochammina*. Datar la muestra e indicar a que medio marino pertenece (paleolatitud y paleobatemetría).”.

Respuesta: “Atendiendo a las especies de FP podemos decir que la muestra es Cretácico Superior, y si se consulta la bibliografía citada en este artículo se puede precisar la biozona. La asociación de FP indica que el medio es tropical-subtropical. El índice P/E y los FB identificados indican que el medio es talud superior (200-600 m de profundidad) - ver figuras del artículo -”.

CONCLUSIONES

El análisis micropaleontológico de foraminíferos (bentónicos y planctónicos) constituye un complemento ideal para estudios de tipo sedimentológico y estratigráfico. Este tipo de estudios necesitan indicadores bioestratigráficos que permitan la correlación de perfiles y, de esta manera, elaborar la geología regional de una área determinada. La abundancia y dispersión lateral de los FP los convierte en unos excelentes datadores que permiten correlacionar eventos geológicos de carácter global, tales como el impacto meteorítico ocurrido en el Límite Cretácico/Terciario. Además, debido a que están estrechamente ligados a la temperatura de las aguas superficiales, permiten corroborar hipótesis paleoceanográficas tales como la distribución de las paleocorrientes oceánicas. Los límites de la cinco provincias latitudinales se hallan perturbados por la distribución paleogeográfica de continentes y mares en cada época, que determinará la circulación de las paleocorrientes marinas y los diversos gradientes oceanográficos. Los FP se hallan condicionados por la distribución de estas corrientes y, por esta razón, son buenos marcadores de cambios paleoceanográficos.

Por otro lado, el estudio de los FB es un magnífico complemento para el análisis sedimentológico de facies, tanto en medios de plataforma como en medios profundos. La estrecha relación de los FB con el substrato marino permite definir con bastante precisión el ambiente en el que se depositaron los sedimentos que los incluyen. Así, por ejemplo, en el estudio de sedimentos pelágicos profundos podemos emplear como marcadores paleobatemétricos los FB aglutinados, resistentes a la disolución incluso por debajo del nivel de compensación de la calca.

El estudio de los FB es, sobre todo, una importante herramienta en el análisis de facies pelágicas. Son muy útiles porque permiten detectar en materiales pelágicos cambios del nivel del mar que podrían pasar desapercibidos con otras metodologías. Los materiales pelágicos profundos presentan en ocasiones una sedimentación muy continua y uniforme, y resulta muy complicado averiguar, mediante el análisis de las estructuras sedimentarias, la profundidad del medio en que se depositaron. El estudio micropaleontológico combinado con el geoquímico (relación Sr/Ca) e isotópico ($d^{18}O$, $d^{13}C$) tienen un gran interés ya que pueden detectar episodios de cambios en los océanos correlacionables a larga distancia. De esta manera, se pueden realizar estudios comparativos con los cambios del nivel del mar puestos de manifiesto en los márgenes continentales y correlacionar las discontinuidades identificadas en estos medios con las superficies de continuidad correlativas en medios pelágicos profundos, aspecto de gran interés en el análisis de cuencas.

Por tanto, el estudio de los foraminíferos y de la Micropaleontología en general no sólo consiste, como comúnmente se cree, en un mero estudio de tipo taxonómico, paleobiológico o evolutivo. El hecho de que la mayor parte de los paleontólogos desarrollen su trabajo en el campo de la Geología se debe en gran parte a la Micropaleontología. La Micropaleontología y la Paleontología contribuyen a la resolución de numerosos problemas geológicos, con gran cantidad de aplicaciones de tipo bioestratigráfico, paleoecológico y, como hemos intentado mostrar, de tipo paleoceanográfico, paleoclimático y sedimentológico. El reconocimiento de los cambios del nivel del mar, así como el establecimiento de unidades y secuencias deposicionales, se debe abordar con un enfoque multidisciplinar en el que la Micropaleontología juega un papel fundamental (Molina, 1995, 1998). Por esta razón, el estudio de los foraminíferos -con el enfoque aplicado y práctico propuesto- permite motivar al alumno, ya que consiguen captar el gran potencial de la Micropaleontología aplicada y les ayuda a resolver problemas geológicos básicos.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el proyecto de España DGES, PB97-1016, y los proyectos de México CONACYT, J32473T y PAICYT, CT193-99. L.A. disfruta de una beca FPI del Ministerio de Educación y Cultura (nºref. EX98 y FP98).

BIBLIOGRAFÍA

- Blow, W.H. (1979). *The Cainozoic Globigerinidae. A study of the morphology, taxonomy, evolutionary relationship and the stratigraphical distribution of some Globigerinidae (mainly Globigerinaceae)*. E. J. Brill (ed.) 3 vol., 1-1413.
- Bolli, H.M., Saunders, J.B. y Perch-Nielsen, K. (1985). *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press (ed.), 2 vol, 1-597.

- Loeblich, A. R. Jr. y Tappan, H. (1988). *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Van Nostrand Reinhold Company (ed): 2 vol: 1-970, 1-21.
- Molina, E. (1995). Micropaleontología aplicada: historia de una fructífera colaboración. *Tierra y Tecnología*, 11, 21-28.
- Molina, E. (1998). Micropaleontología. En: *Tratado de Paleontología*, Meléndez, B. (Ed.). C.S.I.C., Madrid, Tomo 1, 295-327.
- Murray, J. W. (1991). *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, New York, 397 pp.
- Nederbragt, A. J. (1991). Late Cretaceous biostratigraphy and development of Heterohelicidae (planktic foraminifera). *Micropaleontology*, 37.4, 329-372.
- Olsson R.K., Hemleben C., Berggren W. y Huber B.T. (1999). Atlas of Paleocene Planktonic Foraminifera. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 85, 252 pp., Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- Postuma, J.A. (1971). *Manual of planktonic foraminifera*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 419 pp.
- Robaszynski, F., Caron, M., González Donoso, J. M., Wonders, A. A. H. y Eur. Work. Group Plankt. Foram. (1984). Atlas of Late Cretaceous Globotruncanids. *Revue de Micropaléontologie*, 26.3-4, 1-305.
- Smith, Ch. y Pessagno, E. A. Jr (1973). Planktonic foraminifera and stratigraphy of the Corsicana Formation (Maastrichtian) North Central Texas. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 12, 68 pp.
- Stainforth, R.M., Lamb, J.L., Luterbacher, H., Beard, J.H. y Jeffords, R.M. (1975). Cenozoic planktonic foraminiferal zonation and characteristics of index forms. *The University of Kansas Paleontological Contributions*, 62, 425 pp. ■