

LOS FORAMINÍFEROS: PRESENTE Y PASADO

Foraminifera: present and past

Amelia Calonge (*), Esmeralda Caus (**), y Julián García (*)

RESUMEN

Los foraminíferos constituyen un grupo de organismos cuya abundancia en el registro fósil a lo largo del tiempo geológico, evolución, complejidad y tamaño los convierte en una herramienta privilegiada para estudiar el presente y pasado de la Tierra. Con objeto de conocer el grupo, se analizan las principales características del organismo vivo, su ciclo de vida y los condicionantes ecológicos. Pero, en cualquier estudio de tipo paleobiológico el elemento básico, y el único en estado fósil, para diferenciar los foraminíferos es la concha. Además, la concha refleja un conjunto de caracteres funcionales del organismo vivo y ayuda a comprender el éxito de ciertos foraminíferos en determinados ambientes y también sus tendencias evolutivas a lo largo de la historia de la vida. Por último, se describen algunos aspectos de interés derivados del estudio de este grupo, tales como su importancia como formadores de rocas, su aplicación a la hora de elaborar escalas temporales, solucionar problemas de tipo biológico o predecir el futuro.

ABSTRACT

Foraminifera is a group whose abundant fossil record through geological time, evolution, complexity and size makes it a superb tool to study both the present and the past time of the Earth. In order to better know this group, the live animal, its main features are first studied, as well as its ecological conditioning events and life cycle. On the other hand, when a paleobiological study is conducted, the basic element and the unique fossil that allows differentiating the Foraminifera are the shell. So, the shell constitute such a valuable information about the features of the living animal and help to understand the ecological success of the organism in specific environments and its evolutionary trends throughout the history of life. Several interesting features derived from the study of this group such as: its importance as rock forming materials, its applicability to establish time scales, to solve biological problems or forecast the future, are described at the end.

Palabras clave: Foraminíferos, estructura, ciclo vital, aplicaciones.

Keywords: Foraminifera, features, life cycle, applicability.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre el pasado de la Tierra y los seres que en ella viven y vivieron es un tema apasionante y de actualidad. A ello ha contribuido la gran invasión de Dinosaurios a la que nos han sometido los medios de comunicación en los últimos años, a partir de proyectar en el cine o en televisión películas tales como "Parque jurásico", "Dinosaurios", "En busca del valle encantado", etc. que han popularizado no sólo estos grandes reptiles de la era mesozoica sino también temas paleontológicos como la evolución y los fósiles (por ejemplo, comercializando juegos didácticos sobre fósiles). Todo ello ha servido para sensibilizar a la población sobre el patrimonio geológico, sobre la necesidad de conservarlo e incluso, para desarrollar una nueva modalidad de turismo cultural basado en otros valores diferentes a los paisajísticos y que en España ha recuperado localidades y comarcas del interior (por ejemplo, Murero en Zaragoza o Atapuerca en Burgos).

En esta línea, cabe destacar los recientes avances científicos y la gran difusión que están teniendo los nuevos descubrimientos en el campo de la paleontología. Bien porque existe un mayor esfuerzo investigador, o bien por esa sensibilidad social a la que antes aludíamos, lo cual permite que los descubrimientos gocen de eco y tengan amplia difusión, como es el caso antes citado de Atapuerca.

Ahora que parece remitir la invasión de "reptiles jurásicos" no está de más echar un vistazo retrospectivo a la historia de la vida de otros organismos sobre la Tierra y a su aplicación en la reconstrucción de tiempos pasados y predicción de tiempos modernos.

Entre estos seres están los Foraminíferos, cuyo registro a lo largo del tiempo geológico, evolución, complejidad y tamaño les confiere la categoría de "privilegiados" para el estudio del pasado y presente del planeta Tierra. Además, la abundancia de formas fósiles y de sus representantes actuales, y la facilidad de observación con la simple ayuda de una lupa de campo (o aún sin ella) nos suministra una fuente de material ideal para prácti-

(*) Depto. Geología. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares 28871 (Madrid). E-mail: a.calonge@uah.es

(**) Depto. Geología. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra 08193 (Barcelona). E-mail: esmeralda.caus@uab.es

cas educativas en disciplinas tales como la biología, ciencias del medio ambiente, la geología o la geografía.

¿QUÉ SON LOS FORAMINÍFEROS?

Los foraminíferos son organismos constituidos por una única célula, que aparecieron a principios de la Era Primaria (Cámbrico) y cuyos descendientes han llegado hasta nosotros, poblando los mares y océanos actuales, desde las zonas litorales (hipo o hipersalinas) hasta los fondos oceánicos, y desde el trópico hasta los fríos océanos Ártico y Antártico. Los foraminíferos constituyen uno de los pocos grupos de seres unicelulares que fijan su superficie celular, de manera permanente, mediante la construcción de un esqueleto mineral (la concha), que muchas veces adquiere formas tan caprichosas como un platillo volante, una linterna china o una pelota de rugby.

La masa protoplasmática que constituye la célula de un foraminífero es incolora pero puede contener pequeñas cantidades de pigmentos orgánicos, material lipídico o compuestos de hierro que le dan color. El color puede ser también debido a la presencia de simbiontes. El protoplasma alberga en su interior el núcleo (o núcleos) y los distintos “organelos” (denominados así para diferenciarlos de los verdaderos órganos de los metazoos), entre los que destaca el aparato de Golgi, que participa en la secreción del material orgánico necesario para la construcción de una concha mineral. Es también el lugar donde se almacenan las sustancias de reserva y donde, en caso de tenerlos, se encuentran los simbiontes. La masa protoplasmática está limitada ex-

teriormente por una membrana orgánica constituida por láminas superpuestas de mucopolisacáridos. El protoplasma se extiende fuera de la concha a través de una o varias aberturas y la recubre exteriormente, formando los pseudópodos, que son extensiones reticulares constituidas por haces de microtúbulos dispuestos en hileras más o menos paralelas. Es precisamente, la presencia de esta concha mineral lo que ha permitido que las formas extintas llegaran a nosotros en forma de fósiles. Así, la concha constituye el elemento básico para diferenciar los foraminíferos, y el único en estado fósil. El proceso empleado en la construcción de la concha permite diferenciar tres tipos principales de foraminíferos:

1. Aglutinados (o arenáceos). La célula produce una matriz orgánica que “aglutina” materiales, tales como granos minerales, espículas de esponjas, diatomeas, etc., disponibles en el medio en que vive y recolectados por los pseudópodos. Muchos foraminíferos son capaces de seleccionar el material para formar su concha según su composición química, tamaño o forma, ya que las corrientes pseudopodiales marginales que están en contacto con el sustrato son capaces de reconocerlo. Algunos foraminíferos se han especializado en la selección de granos producidos biológicamente (p. ej. espículas de esponjas). La mayoría de foraminíferos aglutinados cementan los elementos exteriores con carbonato cálcico, pero ante la falta de este compuesto pueden hacerlo con cementos silíceos, ferruginosos, orgánicos, etc; este es el caso de los foraminíferos que viven en zonas profundas del océano, por debajo del nivel de compensación de la calcita (nivel por debajo del cual el calcio no existe).

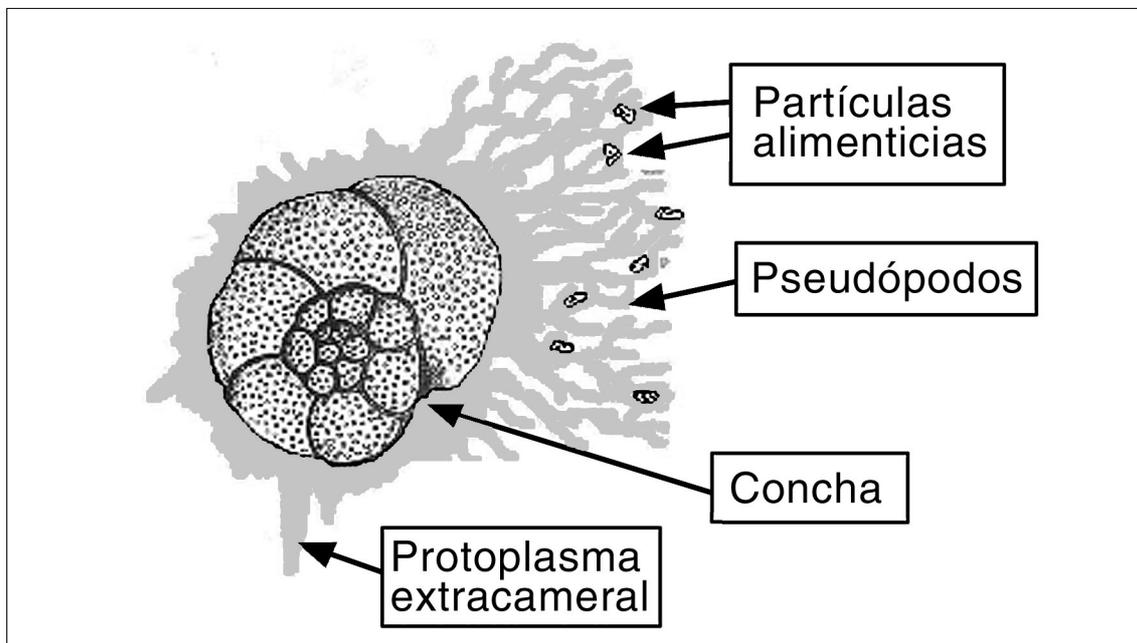


Fig. 1. Esquema de un foraminífero vivo. El protoplasma y todos los “orgánulos” están encerrados en el interior de la concha. El protoplasma sale al exterior y recubre la concha, formando los pseudópodos, estos haces reticulados permiten al foraminífero construir nuevas cámaras, relacionarse con el medio, alimentarse (vease en el dibujo como los pseudópodos atrapan diatomeas que serán introducidas en el interior y digeridas) y excretar las sustancias de deshecho

2. Porcelanados. El aparato de Golgi produce agujas de calcita magnesiana, las cuales son transportadas y acumuladas en el exterior. Las agujas pueden ser el elemento de conexión (cemento) de elementos foráneos o pueden formar por sí solas un esqueleto externo.

3. Hialinos. La concha de estos foraminíferos se forma por un proceso de biomineralización que tiene lugar exteriormente al cuerpo protoplasmático. Este proceso es una mineralización "in situ" controlado por una "plantilla" orgánica (traducción de "organic template") que permite el crecimiento de cristales de calcita.

EL ESQUELETO MINERAL DE UN FORAMINÍFERO: LA CONCHA

La concha mineral puede estar formada por un solo compartimento, o cámara, que crece de manera continua, o por varias cámaras que se forman en sucesivas etapas, en un sofisticado sistema de crecimiento discontinuo, y que consiste en añadir a la concha previamente formada, y en los lugares previamente determinados, nuevo material esquelético. Todos los elementos de una misma cámara corresponden a una única etapa de crecimiento. Este tipo de crecimiento de un foraminífero, mediante la adición de cámaras sucesivas, los hace únicos entre los seres unicelulares, permitiéndoles obtener un gran tamaño y complejidad (p. ej., los *Nummulites* del período Eoceno pueden llegar a alcanzar los 10 centímetros de diámetro). El tamaño y la morfología final de un foraminífero depende de muchos factores; entre ellos debemos destacar: la forma y dimensiones de la cámara embrionaria, el número de etapas de crecimiento hasta llegar al estado adulto (lo que es igual al número de cámaras de que dispone un foraminífero), la forma de la cámara y sus modificaciones durante la ontogenia, y la disposición de las cámaras.

La forma y dimensión de la cámara embrionaria depende de su origen, ya sea el producto de la reproducción sexual o asexual. La forma de la cámara y sus variaciones durante la ontogenia (desarrollo de un organismo) están controladas por la longitud y disposición de las corrientes pseudopodiales. Los pseudópodos, que son los responsables de la formación de la membrana orgánica que precede la concha mineral, salen de la cámara anterior por la abertura (o aberturas). Los foraminíferos, durante su ontogenia, realizan un control del crecimiento y tamaño de las cámaras, lo cual es muy importante para el mantenimiento de los procesos celulares, ya que la cámara actúa como un bioreactor. En las formas grandes, con objeto de mantener el volumen de las cámaras constante y no sobrepasar el tamaño óptimo, los foraminíferos adoptan estrategias de crecimiento particulares, que consisten en la división de la cámara en varios compartimentos, las camarillas. Todas las cámaras y/o camarillas que forman la concha de un foraminífero están intercomunicadas, de manera que el protoplasma celular ocupa todas ellas. Además, las aberturas están dispuestas de tal manera que

aseguran el transporte y las funciones reguladoras entre el protoplasma del interior de las cámaras y el exterior.

La disposición de las cámaras depende de la posición de las corrientes pseudopodiales, lo cual depende, principalmente, de la situación de la abertura (o aberturas) en la cámara. La manera más sencilla es la disposición de las cámaras a lo largo de un eje rectilíneo, pero la más empleada por los foraminíferos es aquella en que las cámaras se disponen siguiendo una espiral. En este caso, cualquier rotación alrededor de un eje reproduce, a cada etapa de crecimiento, la misma forma, mientras que el ángulo de rotación determina el volumen de la nueva cámara formada, de manera que refleja, por tanto, la tasa de crecimiento.

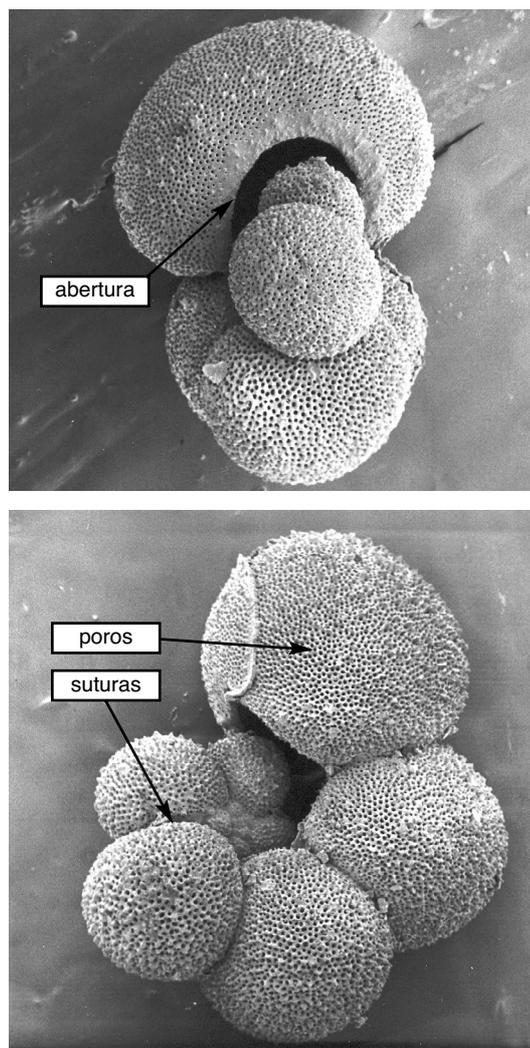


Fig. 2. Concha de un foraminífero planctónico del Mioceno. Obsérvese la forma globosa de las cámaras para ayudar a la flotación, la superficie de las cámaras está cubierta por grandes poros, para un mejor intercambio de los gases, siendo las suturas el reflejo externo del septo. Es una concha enrollada planoespiralmente. Cada cámara está comunicada con la siguiente mediante una abertura, situada en la base de la cámara.

¿CÓMO Y DÓNDE VIVEN?

Entre los foraminíferos hay especies bentónicas, que viven sobre el fondo marino donde forman parte de la epifauna, o sobre plantas, en las cuales “reposan” como epífitos. Algunos han escogido la vida sésil y viven fijados a un sustrato durante toda su existencia. Unos pocos son incrustantes. Pero la inmensa mayoría de foraminíferos bentónicos se desplaza libremente sobre el sustrato utilizando los pseudópodos, los cuales pueden llegar a tener una longitud superior a dos veces el diámetro de la concha; la velocidad de desplazamiento es de alrededor de unos centímetros por hora y el tipo de movimiento está directamente relacionado con la forma de la concha y la posición de las aberturas (por donde salen los pseudópodos). En oposición al tipo de vida citado, hay foraminíferos que han escogido la vida planctónica y viven “flotando” en las aguas, donde forman parte del microplancton marino. La mayor parte se localiza entre 0 y 300 m. de profundidad en la columna de agua.

Los foraminíferos constituyen uno de los pocos grupos de organismos, tanto fósiles como vivos, que pueden encontrarse en todos los medios marinos: litorales, neríticos y los ambientes pelágicos. Su distribución la condicionan diversos factores, todos ellos interrelacionados (Arenillas *et al.*, 2000). Hay especies que soportan grandes y frecuentes cambios de temperatura mientras otras mueren al mínimo cambio, por lo que la estructura térmica de los océanos marca diferencias importantes entre las asociaciones de foraminíferos. La profundidad es también un factor determinante en la distribución de los foraminíferos por su inci-

dencia directa en la penetración de la luz. La presión, como factor ligado a la temperatura y profundidad, interviene en la solubilidad del CO₂, y por tanto, en la secreción del carbonato cálcico para formar las conchas; las asociaciones tienen relación con la isoclina, situada a 3000-4000 m. en las aguas tropicales y casi aflorando en superficie en las aguas árticas. El sustrato es un factor determinante en la distribución de las especies bentónicas; p. ej.: el tamaño de las partículas del sedimento influye sobre la porosidad y el oxígeno disuelto entre los granos, o por su influencia en el tipo de vegetación que se desarrolla en el fondo, y en consecuencia en la distribución de las especies epífitas (una vegetación perenne o estacional puede condicionar el ciclo de vida de los foraminíferos). La energía del agua es importante en zonas poco profundas, porque actúa sobre el tipo de sustrato (duro o blando) y la distribución de los nutrientes. La salinidad, turbidez de las aguas, pH, corrientes, tasa de sedimentación, presencia de oligoelementos y/o componentes orgánicos pueden condicionar, a nivel local, la repartición de los foraminíferos.

EL CICLO DE VIDA

Los foraminíferos presentan un tipo de reproducción alternante, sexual y asexual, aunque hay grupos que se reproducen solamente sexualmente (p. ej.: los foraminíferos planctónicos). Algunos foraminíferos coordinan el ciclo de reproducción con el ciclo estacional, con objeto de optimizar la utilización de los recursos. La presencia de dos fases de reproducción da lugar a dos individuos adultos (gamonte –resultado de

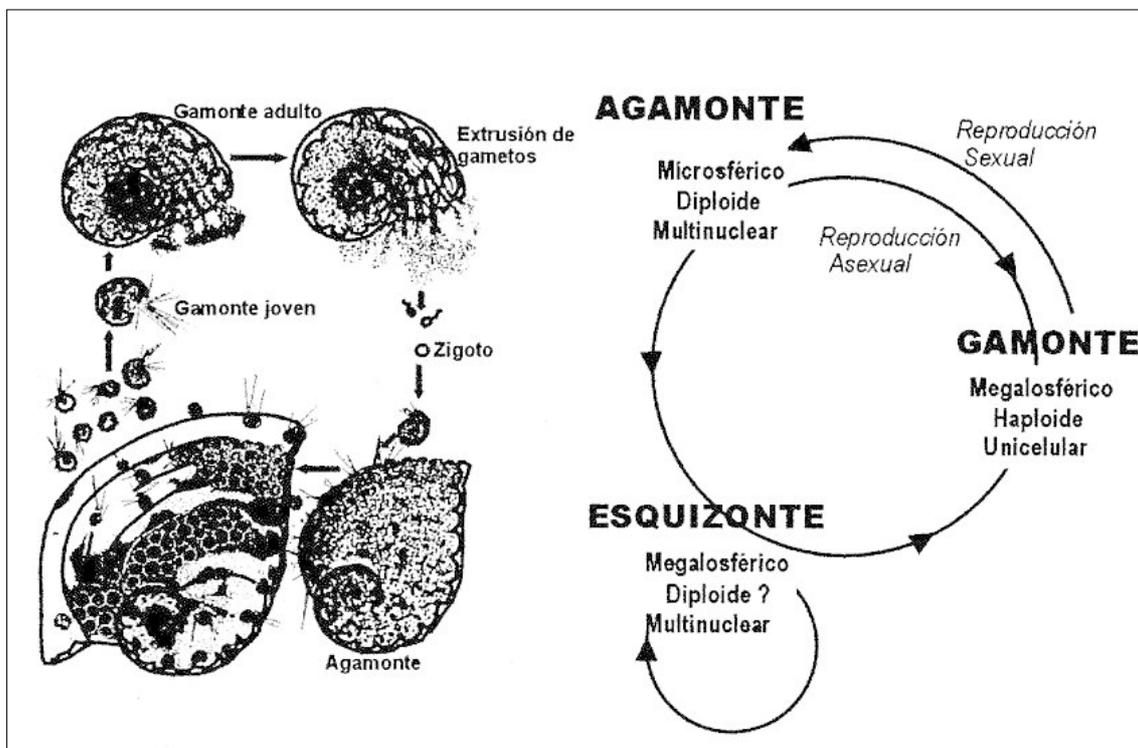


Fig. 3. Esquema que muestra el ciclo reproductivo de los foraminíferos.

la reproducción asexual— y esquizonte —resultado de la reproducción sexual— morfológicamente distintos. El dimorfismo queda registrado en la concha del foraminífero, lo que se resuelve en conchas de diferente forma y tamaño para una misma especie. El dimorfismo de la concha de los foraminíferos es más acusado en las formas de gran tamaño. En algunos casos se conoce la reproducción plastogámica y también la división simple. La regeneración es posible en los foraminíferos siempre que cada parte posea un núcleo.

El ciclo de vida de los foraminíferos suele ser de pocos días o semanas, pero en las formas grandes el ciclo de vida puede alcanzar los dos años. La duración del ciclo de vida depende de la estrategia de vida que los foraminíferos adopten. Las formas pequeñas y cuya concha presenta una morfología simple desarrollan una estrategia oportunista (*estrategia r*), pero contrariamente, las formas grandes y con una morfología extraordinariamente compleja de la concha desarrollan una estrategia de vida “conservadora” (*estrategia k*) muy poco común en los organismos unicelulares, la cual les permite mantener una densidad de población uniforme y un crecimiento lento. Este hecho nos indica el avanzado estadio de evolución de un organismo formado por una única célula.

LOS FORAMINÍFEROS COMO INTEGRANTES DE LAS ROCAS.

Hasta ahora nos hemos referido a los foraminíferos como “entes” biológicos; es decir, aquellos que pueblan nuestros mares y océanos y que, en las cercanías de la costa los podemos observar con unas simples gafas de buceo pegados sobre las hojas de plantas marinas o entre los granos del sedimento del fondo. Pero, sí ahora recogemos arena de la playa y la observamos, esta vez con la ayuda de una simple lupa de campo, también vemos foraminíferos, pero su aspecto es diferente. Aquella multitud de pequeños organismos, que en el agua veíamos coloreados y envueltos en una masa gelatinosa (los pseudópodos), se han convertido en pequeñas miniaturas grisáceas, blancas o transparentes que al



Fig.4. Fotografía de campo que muestra un fondo petrificado marino, con restos fosilizados de foraminíferos hialinos del Eoceno.

sumergirlas en el agua flotan. Son las conchas vacías de foraminíferos como aquellos que observábamos que, una vez muertos, han sido llevados y acumulados en la playa desde su hábitat natural por los movimientos del mar.

Si fuéramos capaces de “caminar y descender” sobre el fondo marino, más allá de la autonomía que nos da un tubo de buceo o unas botellas de oxígeno y pudiéramos identificar cada foraminífero situándolo sobre un mapa, veríamos que los foraminíferos no están distribuidos al azar, sino que las poblaciones son distintas según la profundidad. Pero también veríamos que, a igual profundidad las poblaciones que viven sobre substratos rocosos son distintas de las que viven en fondos arenosos y estas, a su vez, distintas de las que viven en fondos arcillosos. Si en lugar de “andar sobre el fondo”, nos desplazáramos en un barco por un mismo meridiano, desde el ecuador hasta los polos, y fuéramos analizando el contenido de la columna de agua, encontraríamos que, a lo largo del periplo, las poblaciones de foraminíferos planctónicos de las sucesivas muestras también difieren entre sí. En este caso, la repartición de los foraminíferos no depende de la profundidad ni del tipo de substrato sí no de la temperatura y la circulación oceánica.

Este mosaico que forman las distintas poblaciones de foraminíferos en vida, se mantiene muchas veces más allá de la muerte, enterramiento y fosilización, y aunque generalmente diezmados (deberíamos tener aquí en cuenta el conjunto de procesos tafonómicos que actúan sobre los organismos después de muertos, los foraminíferos llegan hasta nosotros en su forma fósil como “entes paleontológicos” integrantes de las rocas sedimentarias. En algunos casos, los foraminíferos son los componentes mayoritarios de estas rocas, que forman la sexta parte de los materiales de la corteza terrestre, y que, a lo largo de la historia de la humanidad, se han utilizado en la construcción de pirámides, catedrales, monumentos e incluso, en los mal llamados “mármoles” de nuestras cocinas. Las grandes pirámides de Egipto, por ejemplo, están construidas con rocas que contienen *Nummulites* (foraminíferos en forma de lenteja), la erosión de las cuales, producida por un clima árido, ha “soltado” los foraminíferos, que se encuentran en grandes cantidades en el suelo. Hace más de 2000 años, los romanos ya conocieron estos foraminíferos pero los consideraron las “lentejas petrificadas” que habían servido de sustento a los esclavos que construyeron las pirámides.

La reconstrucción del “mosaico” de las poblaciones de foraminíferos, juntamente con las características físicas de las rocas que los contienen, constituye una herramienta fundamental para interpretar donde aquella roca se formó y bajo que condiciones de temperatura, salinidad, productividad primaria, etc.; es decir el paleomedio (medio del pasado). Así, el conocimiento de las distintas asociaciones de foraminíferos fósiles en cada época nos permite saber, cómo era el perfil del fondo marino en cada período de tiempo, cual era la extensión de las plataformas continentales, qué régimen de vientos, co-

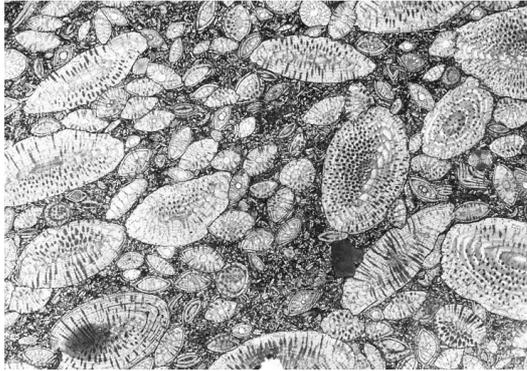


Fig. 5. Fotografía de una lámina delgada en la cual se aprecia gran cantidad de Nummulites, característico del periodo Eoceno. Esta muestra procede de la denominada "Caliza de Girona" que es utilizada como piedra ornamental.

rientes marinas, mareas ú oleaje dominaba en cada océano, y las variaciones relativas del nivel del mar; es decir, cuando y cómo tuvieron lugar las grandes subidas del nivel del mar que inundaron importantes áreas costeras en los continentes y las dramáticas bajadas que los dejaron al descubierto, permitiendo la actuación de los agentes geológicos externos. En términos más geológicos nos han ayudado a identificar la evolución y distribución de los continentes y océanos en cada momento.

LOS FORAMINÍFEROS COMO RELOJES GEOLÓGICOS

Medir el tiempo geológico es asignar una edad a cada roca. Así podemos decir que una roca tiene 500, 100 o 50 millones de años: es una edad "absoluta" basada en la desintegración radioactiva de los elementos. Pero, dar una cifra en millones de años o sus decimales no siempre resulta fácil y es, además, costoso. Sin embargo, hay una manera de estimar, de forma mucho más simple esa edad pero en términos relativos, mediante el estudio de los restos biológicos (fósiles) representados en los estratos; es decir, mediante métodos biostratigráficos. En este caso, el mecanismo de datación se basa en los procesos evolutivos, los cuales están "escritos" en la morfología de las partes esqueléticas (y por tanto fosilizables) de los organismos.

No obstante, al observar un material fósil nos damos cuenta fácilmente de que este no registra una historia completa sino únicamente pequeños fragmentos de la vida del pasado. El geólogo podría darnos decenas de razones para explicar las lagunas, pero nosotros queremos solamente resaltar que, en la mayoría de los casos, ha sido necesario un conjunto de circunstancias extraordinarias para que, de un organismo de otros tiempos, nos llegue "alguna cosa", cuyo estudio permita al paleontólogo asignarle una edad. Pero una pregunta surge de inmediato ¿hay grupos de organismos fósiles cuya aparición, evolución y desaparición, puedan seguirse sin apenas lagunas? La respuesta es sí, y los foraminíferos son uno de ellos.

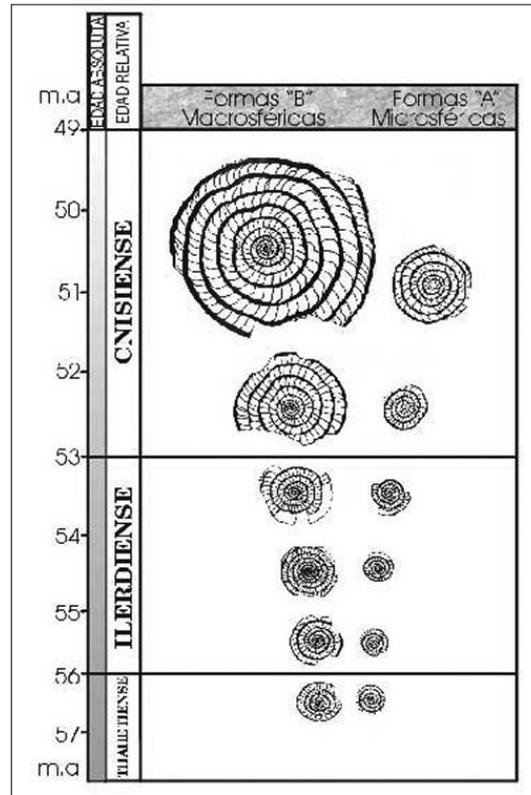


Fig. 6.

Los foraminíferos constituyen un grupo de organismos particularmente indicado como reloj geológico porque presentan un registro fósil extraordinariamente completo, una rápida evolución, sus conchas dejan al descubierto la ontogenia de cada individuo contabilizada en etapas de crecimiento y, además, la compleja morfología de sus conchas refleja su funcionalidad, lo cual permite utilizar la anatomía comparada en la identificación de estructuras análogas. Los numerosos representantes actuales, a su vez, favorecen la comprensión del significado biológico de tales estructuras.

LA PREDICCIÓN DEL FUTURO

Un famoso geólogo escocés emitió en el siglo XIX una no menos célebre frase: "el presente es la clave del pasado", con la que animaba a los geólogos del momento a observar los acontecimientos que tenían lugar en cualquier parte de la Tierra y evaluar los procesos que los habían producido y analizar aquellos que habían tenido lugar en época histórica, al mismo tiempo que invitaba a los científicos a abandonar las teorías "catastrofistas" y "neptunistas" tan en boga durante los siglos XVIII y XIX. Hutton, que así se llamaba el geólogo, concebía que los procesos que actuaron en el pasado también actuaban en la actualidad. Este principio, no obstante, no es más que una hipótesis de la investigación, la cual plantea que el estudio de los procesos actuales y de sus efectos nos ayuda a in-

terpretar los sucesos que ocurrieron en el pasado. Esta teoría, que en el siglo XIX fue considerada revolucionaria, nos parece hoy día tan evidente que pasa, muchas veces, desapercibida en la enseñanza de la geología y la paleontología.

Sin embargo, no es sobre la teoría del actualismo en el sentido presente-pasado sobre la que nos referiremos aquí, si no en el sentido contrario pasado-presente, y es que la observación de los procesos geológicos aporta datos de interés sobre el desarrollo futuro de ciertos procesos que tienen lugar actualmente y predecir sus consecuencias. Así, por ejemplo, hemos conocido por los periódicos que en la paradisíaca isla Mauricio, la arena blanca de una parte importante de sus magníficas playas desaparece y que, para mantener el potencial turístico, ésta es importada de Madagascar, donde el mismo proceso parece ya iniciado. La primera pregunta que surge es ¿de dónde viene la arena? Y a continuación ¿por qué desaparece? La respuesta es muy simple. La arena no es más que el conjunto de pequeños organismos, entre ellos los foraminíferos, capaces de “producir” conchas de carbonato cálcico, los cuales vivían en las cercanías y las corrientes acumulan en las playas. La desaparición de la arena está ligada a la desaparición de los “productores” de carbonato, y ello es consecuencia, ni más ni menos, que de la contaminación de las aguas; en este caso particular, el origen está en el nitrógeno y fósforo que llega a la costa procedente del riego de las plantas de caña de azúcar con excesivos fertilizantes. El resultado es “un desierto ecológico”.

Pero, ¿qué relación tiene el problema actual con el pasado? Este hecho, provocado en isla Mauricio por el hombre, ocurrió de manera natural en el pasado. Así, a finales del período Cenomaniense, la presencia de una alta tasa de elementos “contaminantes” en el agua marina provocó la desaparición

de casi todos los organismos productores de carbonato, entre ellos los foraminíferos de gran tamaño. Aunque no vamos a entrar en detalles de como sucedió, el resultado fue similar al que se está produciendo actualmente pero a gran escala, y la consecuencia una gran extinción, conocida entre los paleontólogos como Ce-Tu (extinción en el límite Cenomaniense-Turonense).

Ahora, solo nos queda abrir un debate alrededor de la siguiente pregunta, ¿ocurrirá algo similar en un futuro próximo o lejano? Con ello queremos incidir en el hecho que los foraminíferos como organismos no solo tienen un interés en ciencias tales como la Geología, la Paleontología, las Ciencias del Medio Ambiente o la Geografía de las que hablábamos al iniciar esta explicación, sino también en Ciencias Sociales ya que su estudio puede prevenirnos de desastres e incidir sobre la economía y, por tanto, sobre la sociedad en un determinado momento.

BIBLIOGRAFÍA

Arenillas, I.; Alegret, L.; Arz, J.A. y Molina, E. (2000). El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de las ciencias de la Tierra: su distribución paleoceanográfica en el tránsito Cretácico –Terciario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.2: 108-118.

Caus, E. (1984). *Los Foraminíferos*. Mundo Científico. 37, 668-675.

Caus, E. y Sierra-Kiel, J. (1992). *Macroforaminifers: estructura, Paleoecología i Biostratigrafia*. Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Hottinger, L. (1978). *Comparative Anatomy of Elementary Shell structures in selected larger foraminifera*. *Foraminifera*. 3, 203-266.

Lee, J. Y Anderson, O. R. (1991). *Biology of Foraminifera*. Academic Press. Londres. ■