

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

LOS FÓSILES: QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN *Fossils: what are and what are they used for*

Enric Vicens y Oriol Oms (*)

RESUMEN

Bajo el término fósil, se agrupan gran cantidad de evidencias materiales de la vida en el pasado. Generalmente, de los organismos fosilizados únicamente se conservan las partes duras, esqueléticas, por ser más resistentes a la destrucción. Pero además de los restos de organismos, también son fósiles las evidencias de la actividad orgánica, ya sean cuerpos materiales (huevos, polen, semillas, excrementos,...) o marcas como pisadas, pistas, madrigueras, etc... Los fósiles nos permiten comprender la vida en el pasado (evolución de las especies, datación de los sedimentos que los contienen, estudios paleoclimáticos, etc.). Son varios los mecanismos que permiten que un organismo (o una de sus partes) fosilice.

ABSTRACT

Under the term fossil we gather a large amount of material evidences of life in the past. Generally only the tough (skeletal) parts of the fossilized organisms are preserved because they are more resistant to destruction. Apart from organism's remains, the evidences of organic activity are also fossils, being material bodies (eggs, pollen, seeds, defecations) or marks such as footprints, tracks, nests etc.. Fossils allow us to understand life in the past (species evolution, datation of the sediments where are found, paleoclimatic studies ...). Several mechanisms permit an organism (or its parts) to be fossilized.

Palabras clave: fósil, fosilización, paleontología.

Keywords: fossil, fossilization, paleontology.

INTRODUCCIÓN

Los fósiles son objeto de estudio de la ciencia denominada Paleontología, palabra derivada de *palaios* (antiguo), *ontos* (ser) y *logos* (tratado). Tal ciencia tiene como propósito, la comprensión de la vida en el pasado geológico y como ésta ha evolucionado hasta la actualidad. Es por tanto, una disciplina que integra las Ciencias de la Tierra y de la Vida.

Fósil es una palabra derivada del latín que viene a significar "cosa desenterrada". Inicialmente, el término fósil se utilizó para designar cualquier cuerpo desenterrado (orgánico, arqueológico o mineral) hasta que a finales del siglo XVIII se restringió a los restos de seres vivos conservados en las rocas. Actualmente, bajo el término fósil se agrupan gran cantidad de evidencias materiales de la vida en el pasado que van desde restos de pequeños organismos unicelulares hasta enormes esqueletos de dinosaurios. Además, se considera fósil tanto al organismo entero como a cada una de las partes en que pueda encontrarse por separado. Así, aceptaremos como fósil tanto una hoja o grano de polen como al árbol que los produjo; tanto al dinosaurio completo como a un solo diente o hueso.

Además de los restos orgánicos conservados en mayor o menor grado, también son fósiles cualquier manifestación de la actividad orgánica (icno-

fósiles). Estas manifestaciones pueden estar representadas por cuerpos materiales o huellas (marcas o señales) dejadas por los organismos en el sedimento, rocas o restos orgánicos. Entre los cuerpos materiales se pueden señalar los huevos (figura 1), polen, semillas, excrementos (coprolitos), restos de construcciones orgánicas, etc... Entre las huellas,

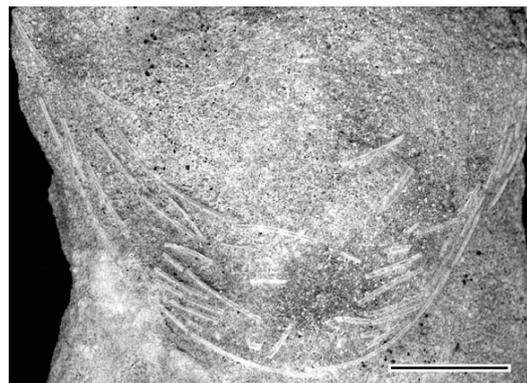


Fig. 1. Sección de la parte inferior de un huevo de dinosaurio procedente del Campaniense superior (Cretácico superior) de Cellers, Pirineo Catalán. Este huevo está ecllosionado como puede observarse por los numerosos fragmentos de cáscara que hay en su interior y que proceden de la parte superior del mismo huevo. La escala equivale a un centímetro.

(*) *Departament de Geologia. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.*

encontramos las pistas (figura 2), impresiones de partes del cuerpo, galerías excavadas en el sedimento (figura 3), perforaciones en substratos duros ya sea roca, madera o esqueletos de otros organismos, etc...

Finalmente, también se consideran fósiles determinadas sustancias químicas diseminadas por el sedimento que revelan la presencia de los organismos que las produjeron. A estas sustancias se les denomina fósiles químicos.

En general, se asume que un fósil es aquel resto o rastro de un organismo en el cual la materia orgánica ha desaparecido y que ha sufrido un proceso físico-químico de fosilización.



Fig. 2. Rastro de tortuga del Eoceno de Manresa (Cuenca del Ebro).



Fig. 3. Galería en forma de espiral (*Gyrolithes* sp.). Posiblemente se trate de una galería de residencia (habitáculo) de un crustáceo, procedente del Eoceno de Calders (Cuenca del Ebro)

sico-químico de fosilización. En algunos casos excepcionales puede haber preservación de materia orgánica (animales conservados en suelos helados, turberas, alquitrán, ámbar, etc.). Además, un requisito para que tales evidencias se puedan denominar "fósiles", es que haya transcurrido cierto tiempo desde la producción del resto y considerarlo fósil. Convencionalmente llamamos fósil a las evidencias anteriores a 13000 años (finales de la última glaciación) y los restos más modernos se pueden considerar como subfósiles (del neolítico en adelante).

No todos los restos orgánicos tienen las mismas posibilidades de fosilización, dependiendo de una serie de factores entre los que hay que destacar:

- La presencia de partes duras o esqueléticas aumentan dichas posibilidades ya que son más resistentes a la destrucción física, química o biológica. Sin embargo, la posibilidades de conservación de los restos blandos no es nulo y en ocasiones también son abundantes motivado por variados procesos de conservación.

- El ambiente donde se halla el resto orgánico, siendo los ambientes acuáticos más favorables a la conservación que los ambientes terrestres. En este último ambiente las posibilidades de destrucción del organismo por putrefacción, necrofagia, meteorización, oxidación, etc... son mucho mayores. Además, en medios acuáticos, las especiales características químicas de medio favorecen la mineralización progresiva de los materiales orgánicos.

- Un enterramiento rápido limita la acción de los agentes destructivos, favoreciendo la conservación de los restos.

UTILIDAD DE LOS FÓSILES

Un fósil tiene una utilidad que va mucho más allá de adornar las vitrinas de un museo. Un primer interés de los fósiles es que permiten conocer como las especies han evolucionado (Paleontología Evolutiva) hasta llegar a las formas actuales, incluido el hombre.

Otra utilidad derivada del estudio del conjunto de todas las especies fósiles encontradas en un mismo yacimiento es que permite determinar las relaciones entre las diferentes especies (cadenas tróficas etc.), lo cual es objeto de la paleoecología.

Los fósiles también sirven para conocer los climas del pasado (paleoclimatología). El hecho de que muchos grupos de especies solo puedan vivir en unas condiciones climáticas determinadas, hace que la sucesión en el tiempo de fósiles distintos refleje la variación del clima. Los granos de polen resultan particularmente útiles para tales determinaciones.

A su vez, los fósiles también nos dan información sobre las condiciones ambientales del lugar donde vivían. Hoy en día, por ejemplo, no encontramos el mismo tipo de gasterópodos en el mar, en la tierra o en un lago o no encontramos los mismos microorganismos marinos en la zona fótica que a grandes profundidades. Por lo tanto, estudiar su contenido fósil puede resultar muy revelador al in-

tentar caracterizar el paleoambiente y el medio de formación de unas rocas sedimentarias (sedimentología). Todo ello también contribuye a establecer reconstrucciones paleogeográficas, es decir, la extensión que ocupaban los antiguos mares, playas, lagos, etc.

Los fósiles también pueden ser útiles en los estudios tectónicos. La morfología de los fósiles permite cuantificar la deformación interna que ha sufrido una roca, a partir de la comparación con los mismos fósiles sin deformar.

Pero quizá la utilidad más importante de los fósiles es que pueden ser usados para conocer la edad de las rocas que los contienen puesto que cada intervalo de tiempo geológico tiene unos fósiles característicos. Un fósil lo podemos comparar con la misma especie encontrada en otro lugar dónde ha sido posible determinar la edad con un criterio geocronológico (dataciones absolutas). Para ello resulta muy importante una correcta determinación de cada especie (finalidad de la paleontología sistemática) para poder ser comparada. La bioestratigrafía es la ciencia que establece cuales son los fósiles (o asociaciones de fósiles) que resultan útiles para datar. El conocer la edad a partir de los fósiles no sólo es importante para establecer la historia de la Tierra, también es de gran aplicación en la prospección de petróleo, carbón, etc...

MECANISMOS DE FOSILIZACIÓN

Son muchos los procesos biológicos y geológicos que afectan a un resto orgánico desde que muere o se desprende del organismo productor hasta su completa fosilización. Todo ello es objeto de estudio de la parte de la paleontología que denominamos tafonomía (ver el trabajo de Sixto Fernández en este mismo número). En este artículo únicamente pretendemos comentar cuales son los mecanismos de fosilización más habituales y que nos pueden ayudar a comprender como llegan hasta nosotros los fósiles más frecuentes. Estos mecanismos actúan generalmente sobre los restos esqueléticos mineralizados aunque algunos también lo hacen sobre restos no mineralizados. Tales mecanismos son:

1- Conservación de la materia mineral original y su estructura. Es el caso más simple, ya que no hay cambios ni químicos ni físicos, presentando el fósil un aspecto "reciente". Este mecanismo implica muy poca circulación de fluidos entre los poros del sedimento que envuelve el fósil. Evidentemente, la conservación sin cambios mineralógicos de un resto orgánico, es menos probable cuanto más tiempo pasa dentro del sedimento, por tanto será más frecuente en fósiles geológicamente recientes.

2- Sustitución del material original por una materia mineral distinta. Este mecanismo de fosilización implica que la composición del material original se ve sustituida por otra muy distinta. Si la sustitución es molécula a molécula se puede conservar la estructura interna de del material reemplazado.

Un ejemplo lo encontramos en los vegetales silicificados, donde es posible reconocer la estructura celular original de celulosa sustituida por sílice (figura 4). Sin embargo, es más frecuente que

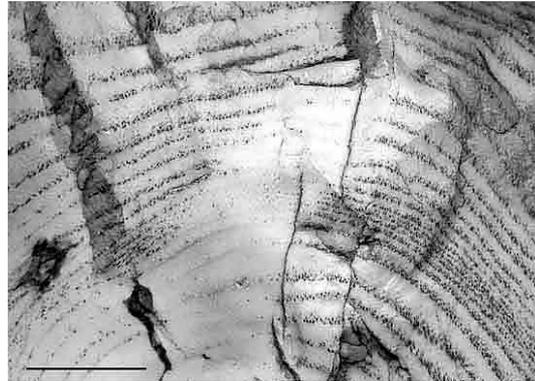


Fig. 4. Detalle de un tronco, posiblemente de conífera, silicificado. En este caso la sustitución se ha producido molécula a molécula de forma que es posible reconocer la estructura celular original. El ejemplar procede del Plioceno de Caldes de Malavella, Catalunya.

durante el proceso de sustitución quede destruida la estructura interna del resto orgánico, mostrando únicamente la morfología externa como en el caso de la silicificación o sustitución del carbonato cálcico por sílice. Un ejemplo de este tipo de sustitución puede observarse en la fotografía de la figura (figura 5) donde se observa el esqueleto de un coral colonial, originalmente de carbonato cálcico, sustituido por sílice.

Otros materiales que pueden sustituir al material original son el sulfuro de hierro en forma de piritita o marcasita (piritización), fosfato cálcico (fosfatización), yeso, etc...

3- Reemplazamiento de la materia original por enriquecimiento relativo en unos elementos por la pérdida en otros. Un ejemplo es la carbonización de

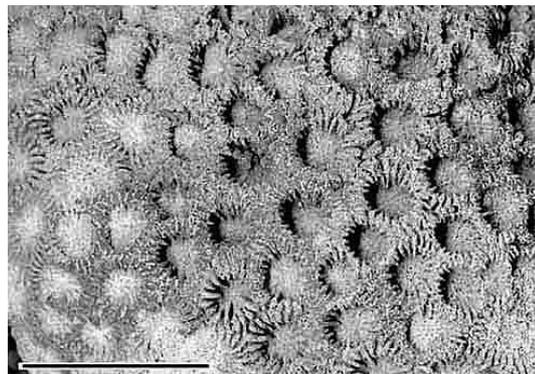


Fig. 5. Detalle de un coral colonial totalmente silicificado. En este caso de sustitución de carbonato cálcico por sílice, solo se ha preservado la morfología externa. El ejemplar procede del Santoniense (Cretácico superior) del Pirineo catalán

compuestos orgánicos más o menos complejos (celulosa, lignina, quitina, etc...) en donde se produce una pérdida de hidrógeno y oxígeno y por tanto una ganancia relativa en carbono, mucho más estable y que formar una película carbonosa más resistente que permite la fosilización. En la carbonización la estructura interna puede quedar total o parcialmente conservada. Són frecuentes los fósiles de vegetales, especialmente de hojas, que se conservan por este mecanismo (figura 6). También los artrópodos como el de la fotografía (figura 7), que presentan esqueleto quitinoso, pueden conservarse gracias a este mecanismo.



Fig. 6. Helechos preservados en lutitas. En este caso el mecanismo de fosilización ha sido la carbonización que ha dejado una fina película carbonosa a partir de los compuestos orgánicos de las hojas. Ejemplar del Carbonífero superior de Ogassa, Pirineo catalán.

Otro tipo de reemplazamiento es debido a la reorganización o recristalización de los materiales originales en otras formas cristalinas. Este es el caso de los esqueletos de carbonato cálcico en forma de aragonito (por ejemplo algunos moluscos y los corales escleractinios como el de la fotografía de la figura 8) que recristalizan a calcita, otro polimorfo del carbonato cálcico mucho más estable. Otro ejemplo de re-



Fig. 7. Artrópodo preservado por carbonización de la quitina del exoesqueleto. Ejemplar procedente del Mioceno del norte de Italia

crystalización son los esqueletos formados originariamente por ópalo, que recristalizan a calcedonia (otro polimorfo de la sílice). En la reorganización la estructura interna del esqueleto también puede quedar total o parcialmente conservada.



Fig 8. Corales individuales visto en una sección pulida. Este es un caso de reemplazamiento donde el carbonato cálcico inicial en forma de aragonito recristaliza a calcita. En este caso la estructura interna del esqueleto no se ha conservado. El ejemplar en del Eoceno (Terciario inferior) de Igualada, Cataluña.

4- La impregnación consiste en el relleno de la porosidad de las partes esqueléticas por un precipitado mineral, generalmente calcita o sílice. La impregnación da una mayor solidez a las partes esqueléticas disminuyendo las posibilidades de destrucción. Este es uno de los procesos más frecuentes en la fosilización debido a que la mayoría de esqueletos son más o menos porosos, y puede actuar independientemente de los otros procesos de fosilización. Un caso muy habitual de impregnación por carbonato cálcico lo encontramos en la fosilización de los huesos de los vertebrados, que presentan una gran porosidad debida a la desaparición de la materia orgánica. Además, en los huesos también hay una progresiva sustitución del fosfato cálcico por carbonato cálcico. Otro ejemplo de impregnación lo hallamos en el esqueleto de las esponjas silíceas formado por un frágil entramado de finas espículas. El esqueleto de estos organismos está reforzado por la precipitación de sílice (figura 9).

5- La incrustación consiste en la precipitación química o bioquímica de un mineral, generalmente calcita, alrededor de un organismo. A pesar de la posterior descomposición del organismo, su impresión en el material precipitado propicia su fosilización. Es de destacar que en este caso únicamente tendremos la información de la morfología externa del organismo y nunca de su estructura interna. Un ejemplo muy frecuente son los fósiles que más abundan en el travertino (figura 10). Este se forma por la precipitación de carbonato cálcico alrededor de materia orgánica, generalmente tallos y hojas, que se hallan sumergidos en aguas ricas en este compuesto.

También podemos considerar que el recubrimiento de un organismo (generalmente partes es-

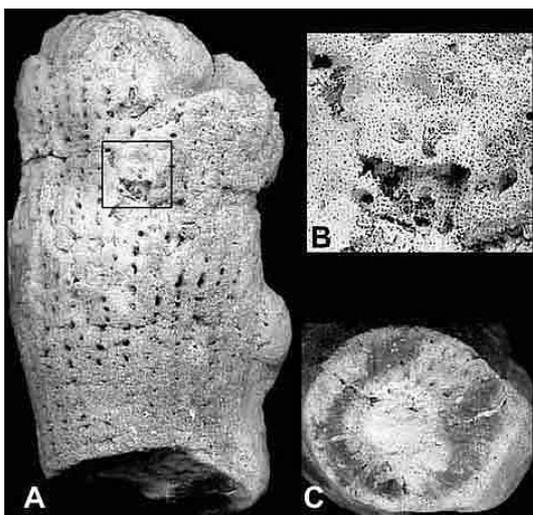


Fig 9. Esqueleto de esponja sílicea (A) que se ha conservado, en parte, gracias a los procesos de impregnación, por sílice secundaria, de los poros que dejan las espículas (B). En la sección (C) puede observarse en gris oscuro las zonas donde la impregnación ha sido más activa. El ejemplar procede del Coniaciense de Carreu, Pirineo catalán.

queléticas como una concha) por otro organismo incrustante (algas calcáreas, esponjas coralinas, corales, bivalvos, etc...) un caso de incrustación. En este caso, el organismo incrustado puede desaparecer por disolución y quedar su impresión en el organismo incrustante.

6- Por disolución de los restos orgánicos en un sedimento mínimamente consolidado, se pueden formar moldes internos, moldes externos y réplicas (figura 11).

Los moldes internos están formados por el sedimento o por un relleno mineral precipitado en el interior (cavidad interna) de conchas muy cerradas (figura 12). En este caso, el fósil muestra únicamente la morfología interna del organismo. El molde externo es la marca dejada por la superficie externa del organismo en el sedimento que lo contenía. En ocasiones este tipo de moldes puede aportar mucha información sobre el fósil ya que normalmente se pueden obtener positivos mediante el uso de yeso, siliconas o materiales plásticos. La réplica se forma por la precipitación de un mineral dentro de la cavidad resultante de la disolución del organismo.

Sin embargo, muchas veces todos estos mecanismos de fosilización pueden sufrir una historia más compleja tal y como nos ilustra la figura 11. A la izquierda de la misma se representa esquemáticamente la sección de la concha de un bivalvo en color negro y el sedimento donde queda enterrado el bivalvo en color gris (hacia la derecha). Podemos ver como se generan dos casos según la cavidad interna generada por las dos valvas se ve o no rellena de sedimento.

Para el caso de enterramiento con sedimento



Fig 10. Impresiones de hojas de árboles en un travertino. Este es un caso de incrustación de carbonato calcico alrededor de restos vegetales. Ejemplar del Cuaternario de Banyoles, Catalunya.

dentro de la cavidad interna, los procesos de conservación original, de disolución o de reemplazamiento de la concha darán lugar a una concha original, un molde externo junto a un molde interno, una concha original substituida o una concha original reemplazada, respectivamente. En el segundo caso, cuando hay un enterramiento del bivalvo sin que su cavidad interna quede rellena, se pueden partir de tres situaciones distintas. Una primera sería el reemplazamiento de la concha original, pudiendo quedar la cavidad rellena por material secundario (en este caso, la concha y el relleno quedan diferenciados). En la segunda situación se produciría un reemplazamiento de la concha y del sedimento, pudiéndose generar un posterior relleno de la cavidad interna que daría lugar a un molde interno. La tercera situación conlleva una disolución de la concha, generándose un molde interno si la cavidad no se rellena, y en caso contrario se produciría una réplica. Con todo ello pretendemos mostrar como, además de toda la información que hemos visto nos puede proporcionar un fósil, también podemos deducir cual ha sido la historia de su fosilización.

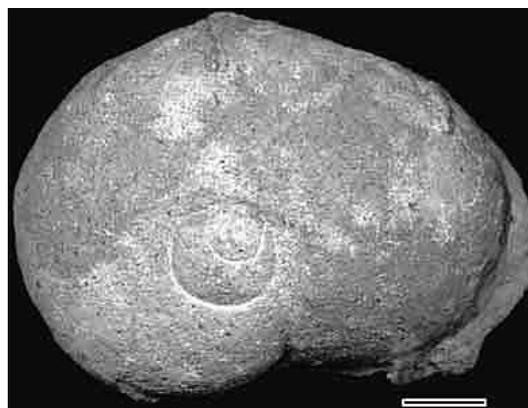


Fig. 12. Molde interno de un gasterópodo (*Lychnus sp.*). El ejemplar procede de Campaniense (Cretácico superior) del Pirineo catalán.

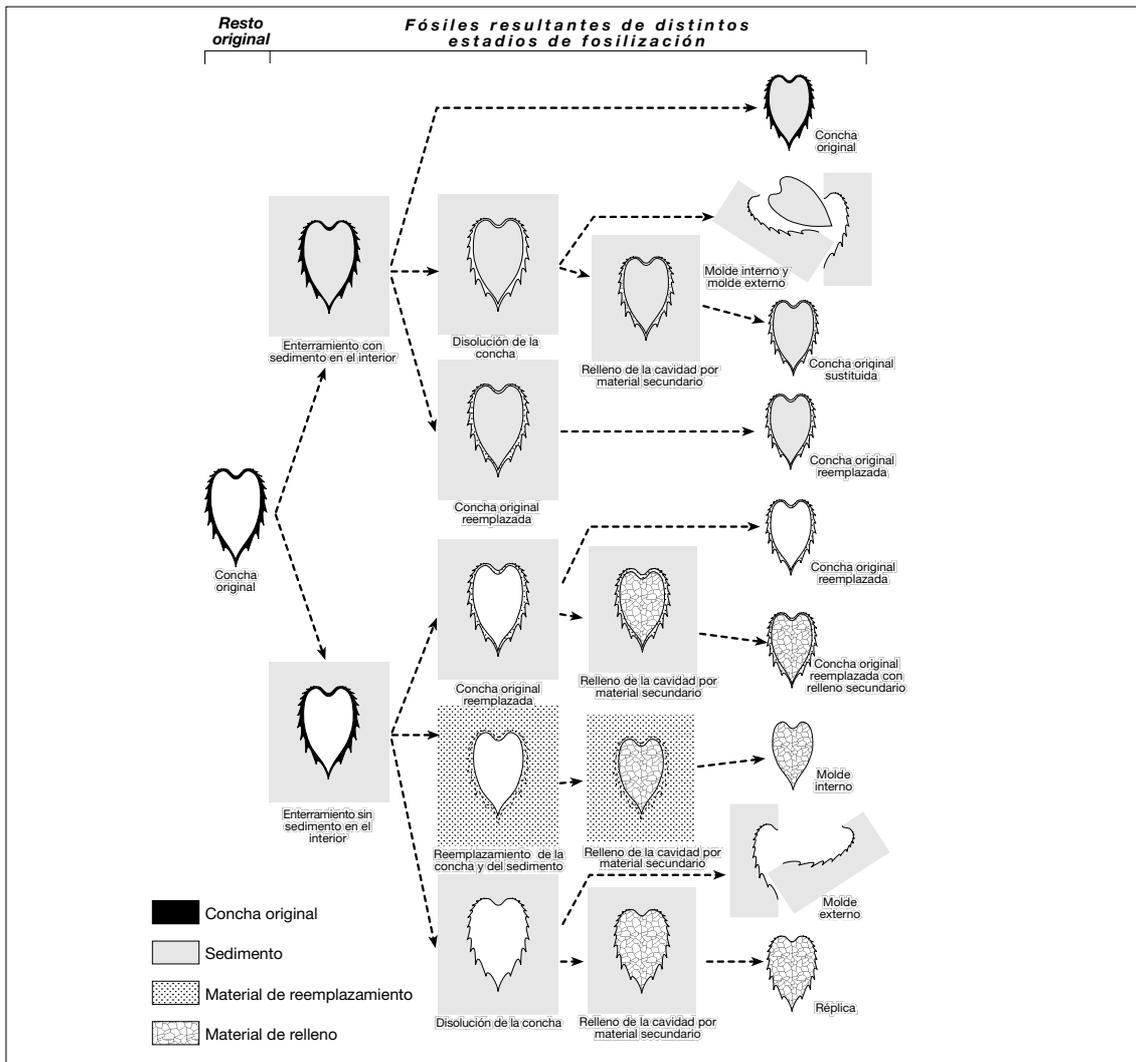


Fig. 11. Posibles procesos de fosilización de la concha de un bivalvo (representado en sección) que queda enterrado en el sedimento (representado en gris). Obsérvese que el bivalvo presenta una ornamentación en la superficie externa de la concha. A partir de la concha original (derecha), todos los estadios se pueden considerar como fósiles, pero muchas veces se recolectan ejemplares sueltos como los representados a la derecha (ya no están englobados en roca derivada del sedimento). Más explicación en el texto.

CONCLUSIONES

En resumen, hemos visto como los fósiles son un conjunto de evidencias de la actividad de la vida en el pasado. Pero en general muchas de tales evidencias no se asocian a la idea que la mayoría de la gente tiene sobre lo que es un fósil. Por ello, el proporcionar una concepción de los fósiles que vaya más allá de las conchas y dinosaurios nos dará una visión mucho más realista de lo que es la paleontología y sus objetivos. Un fósil no es solo una cosa bella o espectacular, es una fuente de información, pues no sólo nos habla del organismo del cual procede, sino que también lo hace de la edad geológica de las rocas donde los encontramos, del ambiente y el clima en el cual vivió, de la evolución de las especies etc.. Por último, la fosilización se produce mediante varios mecanismos que algunas veces pueden ser claramente reconocibles en los especímenes que recolectamos, lo cual también nos permite deducir como se formaron.

BIBLIOGRAFIA

- Domènech, R. y Martinell, J. (1993). *Introducció als fòssils*. Editorial Promociones y Publicacions Universitaries, S. A. Barcelona. 298 pp.
- Fernández-López, S. (2001) Tafonomía, fosilización y yacimientos de fósiles: modelos alternativos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9.1, 20-24.
- Història Natural dels Països Catalans (1988). *Volumen 15: Registre fòssil* (J. Gallemí, coord.) Enciclopèdia Catalana. 478 pp.
- López-Martínez, N. y Truyols Santonja, J. (1994). *Paleontología. Conceptos y métodos*. Colección ciencias de la vida, 19. Ed. síntesis (Madrid). 334 pp.
- Martinell, J. (1998). *Paleontología. Textos docents*, 103. Edicions Universitat de Barcelona. 127 pp.
- Meléndez, B. (1982) *Paleontología (tomos 1 y 2)*. Ed. Paraninfo (Madrid). 724 y 544 pp.
- Simpson, G.G. (1985): *Fósiles e historia de la vida*. Biblioteca Científica American. Ed. Prensa Científica (Barcelona). 240 pp. ■