Paleontología de Invertebrados



Unidad Iztapalapa

Delfino Hernández Láscares

Paleontología de Invertebrados

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Delfino Hernández Láscares



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Dr. José Antonio De los Reyes Heredia

Secretaria General
Dra. Norma Rondero López

UNIDAD IZTAPALAPA

Rectora
Dra. Verónica Medina Bañuelos

Secretario
Dr. Javier Rodríguez Lagunas

Director de la División de C. B. S.
Dr. José Luis Gómez Olivares

Coordinador de Extensión Universitaria
Dr. Rodolfo Palma Rojo

Jefe de la Sección de Producción Editorial
Lic. Adrian Felipe Valencia Llamas

Paleontología de Invertebrados

Primera edición: 2014
Primera reimpresión: 2023
© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA
Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma
1 A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México
ISBN: 978-607-477-950-9
Impreso en México / *Printed in Mexico*

Agradecimientos

El presente trabajo ha tenido por lo menos cinco borradores, durante su elaboración varias colegas aportaron valiosos comentarios e ideas para mejorarlo. Estudiantes de la UAM Iztapalapa, sobre todo alumnos de la licenciatura de Biología, estuvieron pendientes de la preparación del texto; y ellos han sido la mejor prueba de la utilidad del material, ya que lo han utilizado, comprendido, asimilado y, sobre todo, lo han llevado a la práctica. En particular, me refiero a tres de mis ex alumnos, que hoy son biólogos: Víctor Manuel Salazar-Vázquez, Iván Erick Sánchez Uribe y Karen Velázquez González.

Con Salazar-Vázquez, se prepararon los manuales del Laboratorio de Paleontología de la UAM Iztapalapa, apoyándose en material colectado y fotografías de campo, ambos elementos aparecen en este trabajo. Durante un buen tiempo se realizaron pruebas hasta concluir la primera parte. Con Sánchez-Uribe, se localizaron imágenes de Internet que fueran de relevancia y objetivas; gran parte del material que se presenta en el libro fue colocado y ajustado en la computadora por Sánchez.

La bióloga Marisela Ramírez Lugo realizó el ajuste del documento para darle orden, forma y tamaño a las figuras, y a todas y cada una de las páginas. Finalmente, la M. en C. Evangelina Galván Mendoza, profesora de la carrera de Biología de la FES-Zaragoza, UNAM, utilizó el material en prácticas de Paleontología, y aportó ideas mejorando la redacción, el contenido y la estructura del documento.

A través de la Sociedad Geológica Mexicana, el texto se repartió en CD, para que algunos geólogos interesados le hicieran una revisión general; las correcciones y sugerencias fueron atendidas y mejoraron en mucho el presente trabajo.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

Contenido

Pág.

Presentación 11

Introducción 15

Capítulo 1. Conceptos esenciales y metodología paleontológica . . . 37

1. Tipos de fósiles 40
2. Conservación de los fósiles 53
3. Procesos de fosilización por mineralización 54
4. Procesos químicos de fosilización 56
5. Tafonomía 66
6. Técnicas para el estudio de los fósiles 68

Capítulo 2. Phylum Artrhopoda 75

1. Origen y filogenia de los artrópodos 78

   Subphylum Cheliceratha 79

   Subphylum Myriapoda 82

   Superclase Hexapoda 84

   Subphylum Trilobitomorpha 86

2. Subphylum Trilobitomorpha 87
3. Morfología de los trilobites 89

4. Modificaciones adaptativas 95
5. Extinción de los trilobites 95

Capítulo 3. Phylum Brachiopoda 109
1. Clase Inarticulata 116
   Orden Atremados 116
   Orden Neotremados 117
2. Clase Articulata 118
3. Alcance estratigráfico 122

Capítulo 4. Phylum Echinodermata 125
1. Clase Crinoidea 132
2. El declive de los Crinoideos 135
3. Clase Echinoidea 136
4. Desarrollo geológico de los Echinoideos 139

Capítulo 5. Phylum Mollusca 143
1. Clase Gastropoda 145
2. Clase Pelecypoda, Bivalvia, Lamellibranchia o Acéfalos 155
3. Los rudistas: origen, características, diversificación y extinción ... 162
4. Clase Cephalopoda 168
   Subclase Coloidea 169
   Subclase u orden Nautiloidea 169
   Subclase u orden Ammonoidea 172

Capítulo 6. Phylum Cnidaria **185**

1. Clase Anthozoa 190

Capítulo 7. Phylum Bryozoa **195**

Glosario **207**

Anexo I. Esquema representativo de biomas marítimos **215**

Anexo II. Esquema representativo de zonas del talud continental ... **216**

Anexo III. Cuestionario para colectas paleoecológicas **217**

Anexo IV. Estado actual de la legislación sobre el Patrimonio Paleontológico en México **223**

Anexo V. **Una ley para los fósiles** **235**

Bibliografía **241**

Presentación

El hallazgo de restos fósiles de organismos invertebrados es uno de los eventos más importantes que se haya dado en el registro fósil. Estos restos constituyen una prueba de la transformación de la Tierra y, por lo tanto, de la evolución de la vida en nuestro planeta. La razón fundamental del estudio de los fósiles es que constituyen un registro de la historia de la vida. Intervienen muchos otros aspectos, aplicaciones e implicaciones, pero la importancia primordial de los fósiles es histórica.

A diferencia de las plantas fósiles, la presencia de carbonato de calcio en las estructuras externas de los invertebrados ha dado como resultado que la cantidad de estos fósiles sea mucho mayor.

Se puede confirmar hoy que el registro disponible dista mucho de contener rocas sedimentarias de todas las edades y todos los lugares, de lo que se deduce, lisa y llanamente, que no hay registro fósil completo. Existen pruebas sobre las líneas generales del curso de la evolución, e incluso hay eventos que se conocen hasta en sus pormenores, pero otros nunca se reconstruirán del todo. La única forma de saber que existió vida antes de la especie humana es a través de los fósiles, por ahora no existe ninguna evidencia que diga lo contrario.

Para elaborar el presente trabajo se recurrió a la bibliografía reunida por el autor de este libro en los últimos cinco años, y se utilizaron fotografías del material paleontológico que forma parte de la colección de docencia e investigación del Departamento de Biología de la UAM-Iztapalapa. El texto contiene información relevante y hace énfasis en el estudio de seis Phyla: Arthropoda (Trilobitomorpha), Brachiopoda (articulata e inarticulata), Echinodermata (crinoidea y echinoidea), Mollusca (gastropoda, pelecypoda y cephalopoda), Cnidaria y Bryozoa, que son grupos reportados en México.

Por el tipo de información que presenta este libro, puede servir como material de apoyo en materias como Biología General, Zoología de Invertebrados,

Paleontología, Evolución, Biogeografía, Zoogeografía, entre otras. Con respecto a los estudiantes de las carreras de Geología, Geofísica y Minería, el texto es útil en las materias de: Paleontología General, Paleontología Estratigráfica, Estratigrafía, Geología General, Geología Histórica, Petrología, Tectónica de Placas y Sedimentología, entre otras.

En el caso de los geólogos, el libro puede ser de utilidad para clasificar fósiles hallados en campo, los cuales requieren de una revisión general inmediata. En uno de los anexos se indican las características que deben considerarse para colectar un fósil.

El mayor desarrollo de la paleontología en México descansa en la **Paleontología de los invertebrados**, en particular en el estudio del Mesozoico. En cambio, para las eras del Paleozoico y Cenozoico se ha avanzado con lentitud, debido en gran parte a las circunstancias geográficas naturales, y a la falta de investigadores especializados en estas dos eras. Sin embargo, en las dos últimas décadas la investigación ha venido aumentando, y ello ha implicado que la vida del paleozoico mexicano se conozca un poco más, mientras que el cenozoico empieza a despertar interés. En otros países estas circunstancias son al revés.

En México existe una gran cantidad de fósiles por estudiar y publicar, muchos de ellos se encuentran en colecciones de distintas instituciones educativas, y otro tanto se sabe que existen en localidades *in situ.* México cuenta con numerosos yacimientos fosilíferos por descubrir, y aún falta mucho trabajo paleontológico que deberán explorar las generaciones futuras.

Como en el caso de otros recursos naturales, nuestro país se ha visto saqueado en fósiles. Por esta razón, se creó la Ley Paleontológica de México, para proteger este recurso natural no renovable. Aunque esta ley es aún incompleta y confusa y mucho se tiene que trabajar, en la actualidad se encuentra vigente, por lo cual es recomendable conocerla. Al final del texto se presenta la Ley Paleontológica de México, sus aplicaciones e implicaciones.

Paleontología de invertebrados se centra en la historia de la vida sobre todo en los últimos 550 millones de años. Pero no debemos olvidar que existen buenos indicios de que la vida tuvo su origen hace aproximadamente 3 800 millones de años. Tuvieron que pasar más de 3 000 millones de años para que evolucionaran los organismos multicelulares visibles, cuando en nuestro planeta se habían desarrollado las condiciones propicias para que la vida compleja no solo pudiera sobrevivir, sino que pudiera salir del mar y desplazarse en tierra firme.

Finalmente, considero que la presente obra deberá mejorar en una segunda edición, por lo que mucho he de agradecer a los lectores, hacerme llegar todas las sugerencias y correcciones necesarias para mejorar este trabajo.

Delfino Hernández Láscares

Introducción

Los organismos que vivieron en el pasado y cuyos restos o huellas quedaron enterrados o cubiertos por materiales de la corteza terrestre, constituyen el objeto de estudio de la Paleontología. Esta ciencia se ocupa de reconstruir las características de la vida existente en épocas geológicas anteriores, y para ello se auxilia de otras ciencias **(ver figuras A y B)**.

Todo hueco o espacio en la naturaleza está ocupado por animales o plantas, sin embargo, muy pocos de ellos dejan huella duradera de su paso. A unos los entierra la arena, que el viento arrastra, o perecen en charcas y pantanos. Otros son sepultados por avalanchas y avenidas, y sus restos quedan enterrados en aluviones o en depósitos de lagos, estuarios o del fondo del mar. La gran mayoría de esos seres yacen donde han ido a morir, y son devorados o descompuestos por la acción de microorganismos; incluso sus huesos, al quedar expuestos a los agentes físicos, se desintegran y transforman en polvo.

Entonces, para que un organismo se conserve como fósil, debe pasar por una serie de pruebas que parece imposible superar. Sin embargo, existen organismos que se han conservado y constituyen maravillas de la fosilización. Basta observar, por ejemplo, la fauna de Tepexi de Rodríguez en el estado de Puebla, México; los amonoideos de Zacatecas, Coahuila, Sonora o Durango; o la flora de la Formación Matzitzi, en el centro sur de México, donde se han conservado incluso los soros de los helechos; otro ejemplo importante es la prefoliación circinada de hace unos 280 a 300 millones de años, de esa misma formación.

La Paleontología estudia la biología antigua, la cual se encuentra enmarcada por los diferentes estratos geológicos de la Tierra. De esta manera, apoya el estudio de la evolución geológica de nuestro planeta, sobre todo durante el eón Fanerozoico (Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico). EI estudio de los fósiles es indispensable para determinar la edad relativa de las rocas, para la elaboración de mapas geológicos, determinar ambientes, prospectar yacimientos petrolíferos, entre otras aplicaciones. Además, los fósiles forman parte de un medio sobre el

que pueden aportar gran cantidad de información biogeográfica, evolutiva, bioestratigráfica, de correlación bioestratigráfica y hasta económica.

El cometido básico de la Paleontología consiste en el esfuerzo por reconstruir los organismos y formas de vida primitivos, de la forma más clara y completa posible, partiendo de restos fósiles completos o fragmentados.

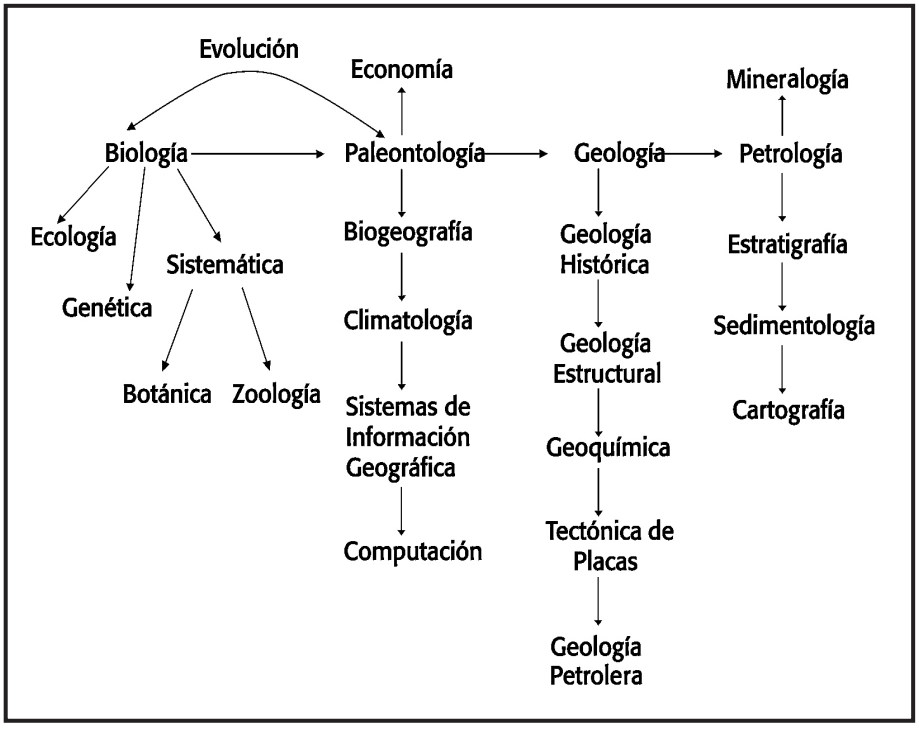


Figura A. Ramas auxiliares de la Paleontología.

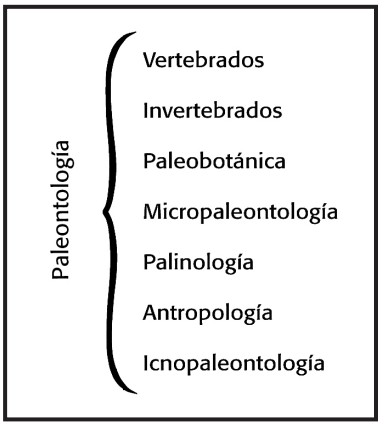


Figura B. Divisiones de la Paleontología.

Para cumplir este cometido se precisa de:

- *Conocimientos sistemáticos de los seres vivos actuales, de anatomía y morfología comparadas y de la relación entre órganos y sistemas.*
- *Conocimiento de las relaciones ecológicas dentro de las comunidades vivas.*
- *Conocimiento de los procesos que puede tener un organismo desde su muerte hasta que queda atrapado dentro de un sedimento, así como de las modificaciones que experimenta un organismo atrapado dentro de un estrato en gestación, hasta que dicho organismo queda convertido en fósil.*
- *Tener conocimientos de bioestratigrafía*.

La descripción de fósiles es fundamental para toda la investigación de la vida. Las preguntas que surgen inmediatamente son qué describir y cómo hacerlo. Si el objetivo es definir y clasificar una nueva especie fósil, la descripción debe ser lo más completa posible (Raup y Stanley, 1978). Por ejemplo, características

como peso y volumen son gravemente afectadas por la fosilización. Los paleontólogos deben llegar a una selección de características pertinentes, tanto biológicas como paleontológicas.

Estructura y edad de la Tierra

La edad de la Tierra se estima que es de 4 600 millones de años, según la escala de la *International Chronostratigraphic Chart* (Cohen *et al*., 2016). Al investigar las rocas terrestres y lunares, y los elementos meteóricos del sistema solar, se ha concluido sobre la edad del planeta, basándose en la concentración relativa de estos elementos, así como en los productos de su desintegración. La escala de tiempo geológico sirve para ordenar y mostrar los acontecimientos importantes en la evolución del planeta.

Los métodos de medida del tiempo pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1. El que estudia el movimiento continuo y conduce a la noción de escala de tiempo, en la cual asociamos el concepto de fecha para la graduación de la escala.
2. El que se basa en la noción intuitiva de los intervalos de tiempo, de donde surge la necesidad de buscar una unidad de tiempo adecuada para medir el intervalo, y de establecer el instrumento que lo mida.

En nuestro trabajo utilizaremos los millones de años para el primer método; y los relojes atómicos naturales aportados por elementos radiactivos, para el segundo.

El tiempo geológico puede ser absoluto o relativo: el primero se define por la desintegración de elementos radiactivos, principalmente en rocas ígneas y a veces en sedimentarias o en fósiles; en tanto que el segundo se determina por la superposición relativa de las rocas sedimentarias o por razonamientos paleontológicos.

El tiempo geológico

Para ubicar el desprendimiento y reacomodo de las placas continentales y oceánicas, es necesario considerar el tiempo geológico.

En el curso de 5 000 años, los hombres —en su afán de medir el tiempo— han buscado unidades cada vez más pequeñas. La unidad "natural" es el día, que se dividió en horas, minutos y segundos, y éstos se subdividieron en mili, micro, nano y picosegundos. Pero en los últimos siglos, esta preocupación por lo que un físico llamaba "microtiempo", se vio igualada por un creciente interés en el "macrotiempo": sucesos ocurridos en un pasado remoto cuya edad no puede medirse en años, mucho menos en días o segundos.

Para calcular la edad de algún sitio prehistórico, los arqueólogos la miden en decenas de miles de años; en cambio, el paleontólogo que estudia los restos fósiles y el geólogo que mide la edad de las rocas, se valen de decenas de millones de años. Por fortuna, la naturaleza ofrece muchas maneras de calcular el macrotiempo. Capas de rocas, fósiles, elementos radiactivos y la luz de estrellas que se alejan, registran el paso de millones y aun de miles de millones de años. Con estos "grandes relojes" se pueden fechar los sucesos más remotos, calcular la edad de la Tierra e incluso estimar cuando nació el universo.

Los procesos geológicos y morfogenéticos ocurren tan lentamente que exceden las posibilidades de observación humana. Por esta razón, desde el siglo pasado, los geólogos han ido desarrollando una escala de tiempo, basada en eventos geológicos y biológicos globales, la cual se utiliza como marco de referencia temporal absoluta. Se toma como inicio la época de formación de la Tierra, aunque se cuenta hacia atrás en millones de años. Las etapas se establecen con criterios geológicos (estratigráficos) y biológicos. Los grandes periodos tienen un alcance planetario y son fundamentales para establecer el tiempo geológico.

El registro estratigráfico brinda información acerca del ambiente y las formas de vida existentes en un pasado remoto. Tomando en cuenta que las rocas terrestres más antiguas tienen unos 3 800 millones de años, este registro constituye la prueba más directa de la secuencia de cambios que han barrido la faz de la Tierra a través del tiempo, y también del curso de la evolución de la vida.

Como la selección natural implica interacciones entre los organismos y su ambiente, el registro geológico permite comparar los distintos procesos evolutivos sucedidos simultáneamente durante vastos periodos de tiempo, procesos que no pueden ser simulados en el laboratorio. De esta forma se pueden conocer los patrones históricos del cambio evolutivo y las tasas con que se han producido dichos patrones, además, es posible trazar —a partir de restos fósiles— las líneas de descendencia de muchos grupos de organismos, al menos a grandes rasgos.

Para trazar la secuencia medioambiental o la secuencia de líneas evolutivas, se tiene que determinar, al menos, el orden relativo en que se produjeron dichos acontecimientos, no solo en un lugar específico, sino en muchos puntos distantes en la Tierra. Por ejemplo, si se establece que en algún tiempo pasado estaban muy extendidos los climas cálidos, no solo tenemos que encontrar criterios para definir temperaturas cálidas en el registro geológico, sino también debemos comprobar que dichas temperaturas existían contemporáneamente en muchas partes de la Tierra. Esto depende mucho de nuestra capacidad para correlacionar rocas de distintos lugares, es decir, para aseverar que se formaron aproximadamente en el mismo momento.

Para intentar deducir la velocidad con que ha cambiado el ambiente o con que han evolucionado los organismos, se requiere de más información. Necesitamos una medida de la duración absoluta del tiempo transcurrido entre distintos sucesos, tales como la primera vez que aparece un carácter nuevo o un nuevo tipo de organismo y el momento en que está completamente desarrollado, o bien, entre la aparición y desaparición de grupos de animales o vegetales,

de ciertos regímenes climáticos, de cambios en el nivel del mar o procesos similares.

A principios del siglo XIX, los geólogos se dieron cuenta de que las principales secuencias de rocas sedimentarias contenían colecciones de organismos fósiles que diferían de las colecciones en los estratos inferiores o superiores. Evidentemente, los sedimentos inferiores fueron los primeros en depositarse, mientras que los sedimentos más jóvenes se hallaban encima de los más viejos. Por lo tanto, las rocas situadas en los estratos inferiores que contenían fósiles, pudieron utilizarse como indicadores de estos estratos en la sucesión ya conocida.

Los fósiles y el significado de la escala del tiempo geológico

La vida, que tuvo unos comienzos oscuros, ha culminado en los millones de clases de organismos que nos rodean y en nuestra propia especie. Algunos aspectos de su evolución podemos adivinarlos a través de las formas existentes, pero hay muchos que se escapan a toda inferencia.

Aunque la existencia de los fósiles se ha conocido durante siglos, fue a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX cuando se puso de manifiesto su importancia como herramientas geológicas. Durante este periodo, un ingeniero inglés y constructor de canales, William Smith, descubrió que cada formación litológica de los canales en que trabajaba, contenía fósiles diferentes de los encontrados en estratos superiores o inferiores. Además, observó que podían identificarse (y correlacionarse) estratos sedimentarios de áreas muy separadas por su contenido fósil característico (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Con base en las observaciones clásicas de Smith y los hallazgos de muchos geólogos que le siguieron, se formuló uno de los principios más importantes y básicos de la historia geológica: *los organismos fósiles se sucedieron unos a otros en un orden definido y determinable*; por consiguiente, cualquier periodo puede identificarse por su contenido fósil. Esto ha llegado a conocerse como *el*

principio de la sucesión de fósiles. Cuando éstos se ordenan según su edad no presentan una imagen aleatoria o fortuita, por el contrario, documentan la evolución de la vida a través del tiempo (Palmer y Barret, 2010).

Cuando se descubrió que los fósiles eran indicadores temporales, se convirtieron en el medio más útil para correlacionar las rocas de edades similares en regiones diferentes. Los geólogos prestan una atención particular a ciertos fósiles denominados **fósiles índice** o **guía**, los cuales están geográficamente extendidos y limitados a un corto periodo de tiempo geológico, de manera que su presencia proporciona un método importante para equiparar rocas de la misma edad. Las formaciones litológicas, sin embargo, no siempre contienen un fósil índice específico. En estas situaciones, se utilizan los grupos de fósiles para establecer la edad del estrato (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Además de ser herramientas importantes y a menudo esenciales para correlacionar, los fósiles son importantes indicadores ambientales. Aunque puede deducirse mucho de los ambientes pasados estudiando la naturaleza y las características de las rocas sedimentarias, un examen próximo de los fósiles presentes puede proporcionar mucha información. Examinando de cerca los tipos de fósiles, puede identificarse la posición aproximada de una línea de costa antigua. Además, estos organismos pueden utilizarse para establecer la temperatura del agua en el pasado (Tarbuck y Lutgens, 2005).

La razón fundamental del estudio de los fósiles es que constituyen un registro de la historia de la vida, en su análisis intervienen muchos factores, aplicaciones e implicaciones, pero la importancia primordial de estos especímenes es histórica. La historia transcurre a través del tiempo, y en su curso deben situarse los fósiles para que nos sea dada su comprensión. El establecimiento de la ciencia de la paleontología (*palaiós* = antiguo; *ontos* = ser; *lógos* = tratado) requirió, por una parte, el reconocimiento de que las rocas que contenían fósiles se habían depositado en un orden definido y, por otra parte, que los fósiles por sí mismos constituían una secuencia cambiante, representada en las diversas clases de organismos hallados en esa sucesión de rocas.

Ya en 1760, Giovanni Arduino reconoció que las rocas podían situarse dentro de una secuencia de edades que él denominó Primaria (la más antigua), Secundaria y Terciaria (la más joven). En 1829, J. Desnoyers propuso otra subdivisión para una edad aún más reciente: la era Cuaternaria; Terciaria y Cuaternaria son los únicos términos de esta serie que todavía están en uso. En los años 1830-1833, cuando se publicaron los tres tomos principales de *Geology* —la obra clásica de Charles Lyell— estaba bien establecido el principio de secuencia o de datación relativa. Desde entonces su uso ha ido en expansión creciente, perfilando sus detalles e introduciendo algunos cambios en la terminología.

En la actualidad, el sistema secuencial del tiempo geológico comprende categorías dispuestas jerárquicamente, de mayor a menor subordinación, del modo siguiente:

Eón

Era

Periodo

Época

Edad

El **eón** es la unidad geocronológica de mayor intervalo en la escala de tiempo geológico. Los eones se dividen en *eras, las eras en periodos, los periodos en épocas y las épocas en edades.*

El periodo anterior a los 541.5 millones de años (m.a.), mencionado en la carta estratigráfica de K. M. Cohen *et al*. (2013), se denomina Precámbrico. Si se tiene en cuenta que la edad de la Tierra es de 4 500 m.a., entonces se tiene que la duración del periodo Precámbrico es del orden de 3 930 m.a., aproximadamente el 85 % de la historia de la Tierra.

Entre más retrocedemos en el tiempo, más complicada es la interpretación del origen de la Tierra, por ello no es fácil precisar su edad. La vida fósil del Precámbrico es escasa, rara vez se encuentran restos orgánicos en estos depósitos, lo que constituye uno de los rasgos distintivos de estas antiguas formaciones geológicas. Por eso el método paleontológico no es aplicable en los estratos precámbricos, en este caso se tienen que utilizar los métodos radiométricos para determinar las edades de las rocas. Sin embargo, los geólogos todavía no pueden establecer la sucesión de los acontecimientos geológicos con precisión, por lo que la historia geológica del Precámbrico es muy imprecisa.

Se considera que durante la era Arcaica (Archeano), o por lo menos a fines de ésta, en la Tierra vivían organismos unicelulares y posiblemente pluricelulares, los cuales no poseían esqueleto mineral que hubiera podido conservarse en estado fósil hasta nuestros días. En los depósitos proterozoicos, los restos orgánicos se encuentran mucho más a menudo. Están representados por formaciones calcáreas de las algas azul-verdosas, por los exoesqueletos silicios y calcáreos de los radiolarios, espículas de esponjas, huellas de gusanos, restos de celenterados y artrópodos muy primitivos, entre otros.

A partir del registro rocoso, se ha avanzado en las subdivisiones del Precámbrico, la más extensa distingue una era Archeano (Arcaica), más antigua, y una era Proterozoica posterior. Otras divisiones en periodos y épocas no gozan de una base firme o de aplicación universal y, en cualquier caso, no es necesario mencionarlas. Como se ha dicho, los fósiles del Precámbrico son muy escasos.

Solo a partir del periodo Cámbrico, que inició hace unos 542.5 m.a. **(tabla 1)**, los fósiles comienzan a proliferar, motivo por el cual a veces se identifica informalmente a todo tiempo transcurrido desde entonces bajo la denominación de Fanerozoico, que literalmente significa tiempo con "vida animal visible". Sin embargo, existen varios ejemplos conocidos de fósiles de animales procedentes de rocas más antiguas.

El Fanerozoico ("vida animal visible") incluye las siguientes eras.

- Cenozoico ("vida reciente")
- Mesozoico ("vida intermedia")
- Paleozoico ("vida antigua")

Estas eras se han definido principalmente en función de su paleozoología, porque aunque existen plantas fósiles, son muy difíciles y complejas para proponer edades a través de ellas. La era Paleozoica fue denominada así en 1838 por un clérigo y geólogo británico, Adam Sedgwick. A las eras Mesozoica y Cenozoica les dio nombre el paleontólogo británico John Phillips, en 1840. Los nombres de los periodos tienen su origen en Europa y carecen de una base etimológica consistente. Los periodos Cámbrico, Ordovícico y Silúrico fueron bautizados por geólogos británicos que trabajaban en Gales.

Nombres de los diversos periodos y épocas

Cámbrico, fue propuesto por Adam Sedwick, en 1835, y proviene de la palabra Cambria (nombre romano de Gales), donde se estudian por primera vez las rocas con las primeras pruebas de formas de vida complejas.

Ordovícico, propuesto por Charles Lapwort, en 1879. El nombre se dio por la presencia de los ordovicios, una tribu galesa prerromana. El término Ordovícico se introdujo para corregir lo que durante 44 años, los geólogos llamaban Silúrico inferior y Cámbrico superior.

Silúrico, propuesto por Roderick Murchison, en 1835, proviene de siluros, tribu galesa prerromana que, al igual que los ordovicios, opuso infructuosa resistencia a la invasión de los romanos.

Devónico, alude a Devon, nombre en inglés antiguo de la región situada junto al canal de Bristol, frente a Gales; fue publicado en 1839 por el reverendo Adam Sedwick y Sir Roderick Murchison.

Carbonífero ("productor de carbón"). En 1822, William Daniel Conybeare y William Phillips acuñaron este nombre debido a la presencia de grandes depósitos de carbón en las rocas inglesas de dicha edad. Tales yacimientos son abundantes en todos los continentes, hecho que posee gran importancia para el estudio de la paleontología y el clima mundial de aquella Era. En Estados Unidos, los estratos equivalentes al Carbonífero inferior europeo corresponden al Misisípico, según lo bautizara Alexander Winchel en 1869. Posteriormente, en 1891, Henry Shaler Williams dio el nombre de Pensilvánico a las rocas con carbón de la parte superior del Carbonífero. Desde hace tiempo, estos dos nombres han sido de uso común entre los geólogos de Norteamérica.

Pérmico. En 1841, fue bautizado por Sir Roderick Murchison, quien —aun siendo británico (escocés)— tomó prestado el nombre de la provincia de Perm, en lo que entonces era el este de Rusia, lugar donde se estudiaron por primera vez estas rocas.

Triásico, es una forma adjetivada del término Trías, de Frederich von Alberti, nombre que le dio a ese periodo en 1831. En Alemania, donde había estudiado sus afloramientos más relevantes, la habían dividido en tres unidades: tríada. No siempre las rocas triásicas de otras regiones presentan esa división, pero un nombre no tiene por qué tener carácter descriptivo para ser válido.

Jurásico. No hay duda de que este periodo recibe el nombre de la cordillera del Jura, situada en el este de Francia y noreste de Suiza; pero sí la hay acerca de cuándo y por quién fue utilizado por primera vez para denominar un periodo geológico. En 1858, el gran Alexander von Humboldt reclamó su paternidad porque en 1799 se había referido al "Jura-Kalkstein" como una unidad litológica diferenciada, aunque en realidad la expresión alemana solo significa "caliza Jura", lo que difícilmente puede valer para establecer prioridades en la denominación de un periodo geológico. Alexander Brongniart, en 1829, usó la expresión "terrain jurasique" esencialmente en el mismo sentido en que hoy se utiliza para designar las rocas del Jurásico.

Cretácico, nombre derivado de la palabra latina "creta". En 1822, J. J. d'Omalius d'Halloy denominó así este periodo, porque las rocas de esta edad incluían gran cantidad de creta, tanto en Francia como en Inglaterra. También existen cretas de este periodo en América del Norte (especialmente en Kansas, Estados Unidos), obviamente, entre otras muchas clases de rocas de origen sedimentario que también son de edad cretácica.

*

La denominación de las épocas de la era Cenozoica se establece con sufijos en *ceno* y raíz griega. Esta denominación la inició Charles Lyell, en 1833, y sufrió importantes modificaciones en manos del propio Lyell y otros. Desde un punto de vista etimológico se genera un amasijo sin sentido. El sufijo *ceno* significa "reciente", con lo que se relaciona esta época con la era Cenozoica. De la antigua a la más moderna, los significados literales son:

Paleógeno { Paleoceno, "antiguo reciente"; Eoceno, "principio del reciente"; Oligoceno, "poco reciente"

Neógeno { Mioceno, "menos reciente"; Plioceno, "más reciente"

Pleistoceno, "el más reciente". Esta época está considerada para la división superior del Cenozoico, y corresponde específicamente al periodo Cuaternario.

El término "reciente" se usa a menudo en la literatura anglosajona para referirse a la época actual. En castellano es más frecuente utilizar Holoceno ("enteramente reciente"), o simplemente "la actualidad". Los nombres —claro está— sirven para situar las épocas geológicas en una secuencia, y no importa mucho que al tomarlos de manera literal resulte que "menos" quede entre "poco" y "más", que "principio" esté después de "antiguo" y así sucesivamente.

Los términos era, periodo y edad, así como los nombres particulares aplicados a cada uno de ellos, son puntualmente cronológicos. Expresan tiempo en forma de secuencia o sucesión relativa, no en años u otra unidad de medida temporal. Parece bastante simple, pero estos términos y nombres pueden aplicarse de diversas formas, y han ocurrido algunas confusiones como la siguiente: la mayoría de los estratígrafos y paleontólogos entienden que dichos términos son una mera referencia cronológica, verbigracia, "periodo" o "Cámbrico" pueden aplicarse también a rocas, organismos o poblaciones de organismos representados por los fósiles. La aplicación de esos términos a la secuencia rocosa constituye la cronoestratigrafía. Existen términos cronoestratigráficos especiales que se corresponden con los puramente cronológicos del modo siguiente:

Cronológico	**Cronoestratigráfico**
Era	Eratema
Periodo	Sistema
Época	Serie
Edad	Piso

Por ejemplo, el sistema Cámbrico comprende todas las rocas formadas o depositadas durante el periodo Cámbrico; la serie Eocena comprende todas las rocas formadas o depositadas durante la época Eocena, y así sucesivamente. No existe, en cambio, una correspondencia similar entre términos cronológicos. Si queremos referirnos a todos los fósiles conocidos del periodo Cámbrico, los denominaremos "biota cámbrica".

La ordenación de las unidades litológicas en función de su contenido de fósiles constituye la bioestratigrafía. La unidad básica es la zona: estrato o conjunto de estratos caracterizados por cientos de taxones (conjuntos de organismos con nombre propio) o por una asociación de taxones.

La manera en que se ha desarrollado la tabla secuencial del tiempo geológico y los métodos empleados para situar en ella fauna y estratos concretos,

dependen de unos cuantos principios generales, simples en su concepción, aunque de difícil aplicación en algunos casos. Estos principios y métodos fundamentales son los de *superposición* y *correlación de los estratos.*

Los sedimentos normalmente se depositan en capas; si se conservan junto con los fósiles, llegan a formar parte de las rocas de la corteza terrestre. Rocas y fósiles quedan disponibles para su observación, recolección y estudio, cuando —gracias a la erosión natural o a la actividad humana— afloran en la superficie, cuando se obtienen muestras de capas profundas para su estudio o en la investigación de posibles recursos minerales. Resulta obvio que, cuando los estratos no han sufrido perturbaciones importantes, los que se encuentran arriba se han depositado más tarde y son, por tanto, los más jóvenes. Eso indica el principio de superposición. De este modo, la secuencia de una serie de observaciones conectadas entre sí, puede establecerse directamente en el campo, o bien, en el laboratorio a partir de testigos.

La escala del tiempo geológico **(tabla 1)**, aun con sus problemas de clasificación, es un documento importante para comprender los procesos geológicos y la vida a través del tiempo. Existen actualmente verdaderos tratados con respecto al tema, de tal manera que en la construcción de la tabla del tiempo geológico, se ha trabajado más con evidencias que con la imaginación, a pesar de que en ella se habla de cientos de millones de años.

Todos los procesos geológicos, por pequeños o grandes que sean, deben ser ubicados en una determinada edad geológica, para poder entender cómo ha venido cambiando la historia de nuestro planeta. De ahí la gran necesidad de conocer el origen y evolución de la escala del *Tiempo Geológico.*

Tiempo absoluto y tiempo relativo

El tiempo geológico se interpreta de dos maneras: *tiempo absoluto y tiempo relativo.* El primero mide el evento geológico, nos dice si éste tuvo lugar hace unos miles de años, hace 65 o 325 millones de años, hace unos mil millones

de años, o en alguna fecha aun más lejana en la historia de la Tierra. El tiempo relativo establece si un evento en la historia de la Tierra sobrevino antes o después que otro.

Tiempo absoluto

Por conveniencia, el ser humano usa dos unidades de tiempo básicas: el día, que es el intervalo requerido por nuestro globo para dar una revolución completa sobre su eje; y el año, que es el tiempo requerido por la Tierra para completar un circuito alrededor del Sol. Sin embargo, en geología surge el problema de determinar cuántas de estas unidades de tiempo transcurrieron en el oscuro pasado, cuando no existía quién las contara y registrara. Las velocidades de desintegración de los minerales radiactivos nos proporcionan las pistas más valiosas para la solución de este problema.

Radiactividad. Los núcleos de ciertos elementos emiten partículas espontáneamente y, al hacerlo, producen nuevos elementos. Este proceso se denomina *radiactividad*. A principios del siglo XX, algunos investigadores sugirieron que los minerales con elementos radiactivos podían ser empleados para determinar la edad de otros minerales en términos de tiempo absoluto.

El número de protones del átomo —el número atómico— determina las propiedades químicas del elemento. Los átomos varían desde el más simple: el hidrógeno con un solo protón, hasta el nobelio que tiene 102. De los 102 elementos de la tabla periódica, algunos emiten radiación a través de rayos alfa, beta y gamma, principalmente. Los rayos alfa son partículas equivalentes a los núcleos de helio; los rayos beta son haces de electrones disparados a gran velocidad, y los rayos gamma son haces de ondas electromagnéticas con longitudes de onda del orden de 10-8 a 10-9 centímetros.

Los núcleos de los átomos de elementos radiactivos son inestables y se descomponen espontáneamente, emitiendo partículas alfa y beta; esto cambia

la estructura nuclear del elemento, el cual se transforma en un elemento diferente. Por ejemplo, el 238 U emite rayos alfa y se transforma en el elemento 234 Th: el uranio es el elemento progenitor o parental y el que resulta es el descendiente. Pero el producto final de un elemento radiactivo ha de ser un descendiente estéril que no emita más rayos, y en el caso del 238 U, el último descendiente es el 206 Pb. La emisión radiactiva va siempre acompañada de un desprendimiento de calor.

La cantidad de calor liberado en la desintegración del 238 U en 206 Pb, es de 1.85 × 10-12 calorías por átomo. Si se espera para que se degrade un gramo de uranio en plomo, el calor liberado equivale al que se obtiene de 800 kilogramos de carbón.

Vida media de un elemento. La velocidad de desintegración espontánea varía enormemente de un elemento a otro, y se expresa por la magnitud del periodo de semidesintegración o vida media del elemento, que es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los átomos existentes al principio. Por ejemplo, si un elemento tiene *t* años de vida media, 8 gramos iniciales del mismo —al cabo de *t* años— se transformarán en 4 gramos de otro elemento; y los 4 gramos restantes tardarán *t* años para generar 2 gramos más del nuevo elemento. El radio, uno de los descendientes del 238 U, tiene un periodo *t* de 1 622 años. Si se parte de 8 gramos de radio, en 1 622 años habrán quedado 4 gramos; al cabo de otros 1 622 años quedarán solo 2 gramos, y así sucesivamente. Hasta donde los científicos han podido comprobar, la velocidad de desintegración de un elemento no se altera por la temperatura, la presión o el estado de combinación química en que se encuentre, por tanto, el periodo de un elemento radiactivo se considera como una constante y es una propiedad fundamental del elemento.

Métodos de datación. Algunos elementos radiactivos —como el 238 U— tienen periodos de semidesintegración (vida media) de miles de millones de años y, en contraste, otros elementos tienen periodos extraordinariamente cortos: el

décimo descendiente del 238 U, el 214 Po, tiene un periodo aproximado de una millonésima de segundo. En consecuencia, los elementos radiactivos de larga vida son la base de los relojes geológicos.

Las dataciones radiactivas se aplican con base en los siguientes procesos, para los cuales se señala la vida media:

- 87 Rb, 87 Sr ® 47 000 millones de años.
- 232 Th, 208 Pb ® 13 900 millones de años.
- 238 U, 206 Pb ® 4 560 millones de años.
- 40 K, 40 Ar ® 1 300 millones de años.
- 235 U, 207 Pb ® 713 millones de años.
- 14 C, 14 N® 5 570 años.

Los métodos de datación radiométrica más conocidos son el uranio / plomo y el carbono 14. Pero los científicos han llegado a la conclusión de que las principales fuentes radiactivas de calor de la Tierra son el uranio, el torio y un isótopo radiactivo del potasio cuya masa atómica es 40, en vez de 39 que es la del elemento estable.

El calor radiactivo de la Tierra. Los elementos radiactivos son mucho más abundantes en las rocas graníticas, menos abundantes en las rocas basálticas y mucho menos en la peridotita. Estas tres rocas son las mejores candidatas para constituir las capas superior e inferior de la corteza y el manto, respectivamente. Así, se puede deducir que los elementos radiactivos que suministran calor, están fuertemente concentrados cerca de la superficie, mientras que la cantidad de elementos radiactivos en el núcleo –según modelos– se supone comparable a la cantidad medida en el hierro meteórico.

Tiempo relativo

Antes de que los geólogos supieran cómo determinar el tiempo absoluto, descubrieron eventos de la historia de la Tierra que les convencieron de la enorme longitud del tiempo geológico. Al situar tales eventos en orden cronológico, se encontraron con que estaban subdividiendo el tiempo geológico sobre una base relativa, usando ciertas marcas para indicar el tiempo relativo.

La datación relativa significa que las rocas se colocan en su secuencia de formación adecuada. No puede decirnos cuánto hace que sucedió algo, solo indica qué ocurrió después de un acontecimiento y antes de otro. Las técnicas de datación relativa que se han desarrollado siguen siendo muy utilizadas todavía; y los métodos de datación absoluta no sustituyen esas técnicas, simplemente las complementan. Para establecer una escala de tiempo relativo, hay que descubrir algunas reglas o principios sencillos y aplicarlos. Aunque pueden parecernos obvios en la actualidad, en su época constituyeron avances importantes del pensamiento, y su descubrimiento fue un logro científico importante.

Correlación por fósiles. A finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, un topógrafo e ingeniero civil inglés llamado William Smith (1769-1839) quedó impresionado por la relación entre los estratos de roca y el éxito de varios proyectos de ingeniería, particularmente la construcción de canales. Al investigar los estratos de roca de uno a otro lugar, advirtió que muchos de ellos contenían fósiles. Más adelante observó que las rocas de un mismo estrato contenían comúnmente los mismos fósiles, en tanto que los fósiles de las rocas de arriba o de abajo eran distintos. Smith llegó a ser tan experto que podía decir de qué tipo de roca provenía un fósil que le fuera mostrado.

Casi al mismo tiempo, dos geólogos franceses, Georges Couvier (1769-1832) y Alexandre Brongniart (1770-1847), estaban estudiando y señalando en mapas los estratos fosilíferos de los alrededores de París. También encontraron que ciertos fósiles estaban restringidos a ciertas capas de roca, e igualmente usaron la Ley de Superposición para ordenar las rocas del área de París —en

secuencia cronológica—, tal como Smith lo había hecho en Inglaterra. Así, Couvier y Brongniart arreglaron su colección de fósiles en el mismo orden que las rocas de las cuales habían sido extraídos los fósiles. Descubrieron, además, que los conjuntos de fósiles variaban en forma sistemática, de acuerdo con las posiciones cronológicas de las rocas. Al comparar los organismos fósiles con las formas de vida modernas, descubrieron que los fósiles de las capas de roca más altas mostraban un parecido más estrecho con las formas modernas, a diferencia de los fósiles de las rocas más bajas, es decir, más antiguas.

Por todas las observaciones anteriores, llegó a ser evidente que la edad relativa de una capa de roca sedimentaria se podía determinar por la naturaleza de los fósiles que contuviera. Este hecho ha sido verificado una y otra vez por los investigadores de todo el mundo. En geología, ha llegado a ser un axioma que los fósiles son un índice para correlacionar rocas; y que las rocas que presentan los mismos conjuntos de fósiles tienen la misma edad.

Valiéndose de la *Ley de Superposición* y del concepto de que los fósiles son un índice del tiempo, los geólogos han hecho arreglos cronológicos de las rocas sedimentarias de todo el mundo, presentando las rocas en forma de una gran columna, con las más antiguas en el fondo y las más jóvenes en la cima. Los trabajos iniciales sobre el particular fueron realizados en las islas británicas y en el occidente de Europa, donde tuvo su nacimiento la geología moderna. Allí, los geólogos advirtieron que la variación de los fósiles entre una capa y la siguiente no era gradual sino repentina. Parecía como si algunos segmentos completos hubieran sido extraídos de la secuencia de rocas, segmentos en los que quedaba comprendido el cambio lento de plantas y animales. Estos quiebres o lagunas en el registro de los fósiles sirvieron como límites entre estratos adyacentes.

Capítulo 1

Conceptos esenciales y metodología paleontológica

La paleontología es la ciencia que se ocupa del descubrimiento y estudio del registro fósil. En 1838 recibió este nombre, cuando el gran geólogo británico Charles Lyell acuñó el término del griego "ciencia de la vida antigua". EI vocablo ha sido adoptado con ligeras variaciones lingüísticas en varias lenguas no ideográficas, literarias y científicas.



Figura 1.1. *Archaeopterix lithographica* hallado en la zona de Solnhöfen, Alemania. Espécimen que revela el eslabón entre las clases Reptilia y Ave. Pese a lo que se pueda pensar, *Archaeopterix* no es más grande que una paloma, sin embargo, eso no es lo importante, sino el grado de conservación que presenta. Se pueden observar extensiones en los miembros anteriores y la región caudal. En una revisión más exhaustiva se reconocen como plumas secundarias, las cuales son importantes para las aves adaptadas al vuelo.

Imagen tomada de: (*http://www.savalli.us/BIO370/Diversity/08.Archaeopteryx.html*).

La palabra ***fósil*** es mucho más antigua que la palabra ***paleontología. Fossilis,*** del verbo *fodere* "excavar", es un adjetivo latino que se aplica a cualquier cosa desenterrada. De él derivó, en latín tardío, el sustantivo *fossilium*, y de éste el castellano *fósil* (Simpson, 1985).

Las clases de fósiles existentes son tan numerosas que constituyen una colección impresionante y desconcertante, no solo en su clasificación biológica, sino también en la diversidad de elementos y en las formas en que se han conservado. Para que un organismo llegue a constituir un fósil de su estructura debe sobrevivir a factores destructivos tan universales como la descomposición y la erosión. Con algunas excepciones, esos vestigios deben también quedar sepultados en sedimentos que formen un estrato en una secuencia estratigráfica. Y deben, además, conservarse aunque los sedimentos tengan cambios geológicos **(figura 1.1)**.

1. Tipos de fósiles

Fósil "verdadero"

Se define como todo aquel registro de vida antigua, afín a los reinos animal, vegetal, protista, monera o fungi, que se encuentra representado de forma parcial o total por las partes duras originales (madera, huesos, dientes, exoesqueletos, etc.), y conservado bajo condiciones de mineralización junto con material rocoso durante un periodo superior a los 10 000 años (límite Holoceno-Pleistoceno) **(figura 1.2)**.

Fósil índice

Se define de manera general como todo aquel registro de vida antigua que biogeográficamente tuvo una amplia distribución mundial, durante un periodo geológico muy corto. En la Paleontología el fósil índice sirve de herramienta

bioestratigráfica: a través de correlación de datos, se puede determinar la edad relativa del estrato que lo contenga, así como de otros fósiles asociados a éste, sin necesidad de recurrir a métodos más complejos **(figura 1.3).**

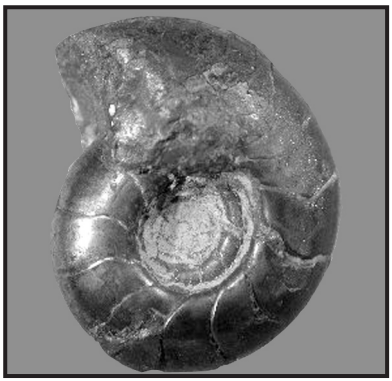


Figura 1.2. *Werneroceras sp*.

Imagen tomada de: *(http://www.thefossilforum.com/uploads/monthly_06_2010/post-3437-005342800%201276363523.jpg).*

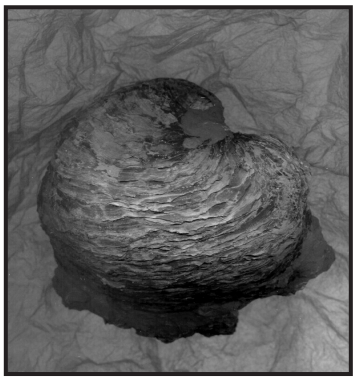


Figura 1.3. *Exogira ponderosa.*

Imagen tomada de: *(http://www.beg.utexas.edu/UTopia/centtex/centtex_rock.html)*.

Protofósil

Por definición literal, fósil es todo aquello que puede ser desenterrado, sin embargo, esta aseveración no aplica para el término protofósil, ya que éste engloba todo aquel registro de vida relacionado con los reinos animal, vegetal, protista, monera o fungi, y que ha sido conservado junto con material rocoso durante un periodo menor a los 10 000 años (Holoceno) **(figura 1.4)**.

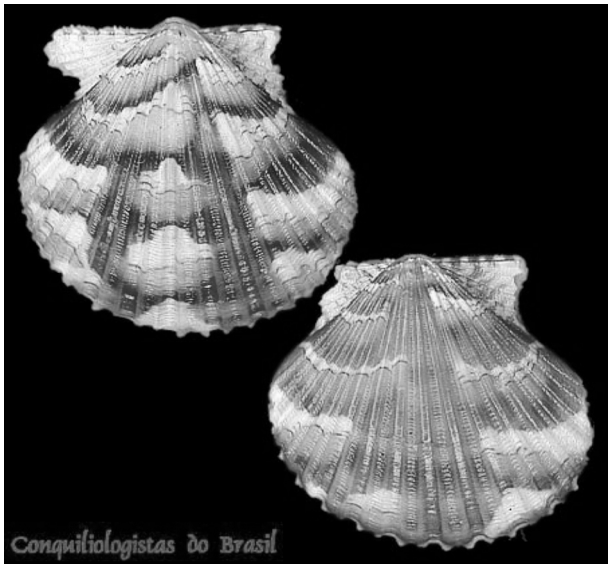


Figura 1.4. *Argopecten noronhensis.*

Imagen tomada de: (*www.conchasbrasil.org.br/conquiliologia/descricao.asp?id=278*).

Pseudofósil

Se define como toda aquella formación singular, llámese roca o mineral, que aparenta a simple vista tener forma análoga a cualquier patrón o estructura biológica conocida. En la naturaleza es muy común hallar pseudofósiles, ya que éstos se forman principalmente por acción física o química del ambiente **(figura 1.5)**.

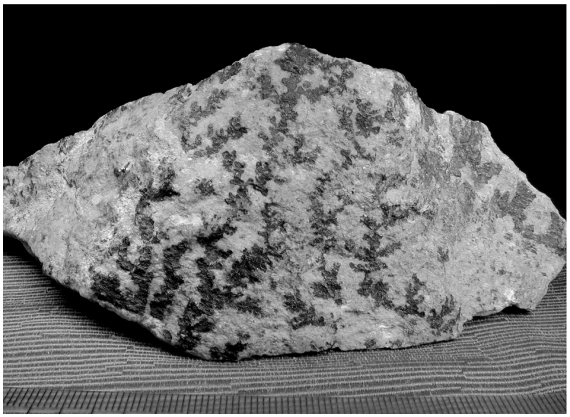


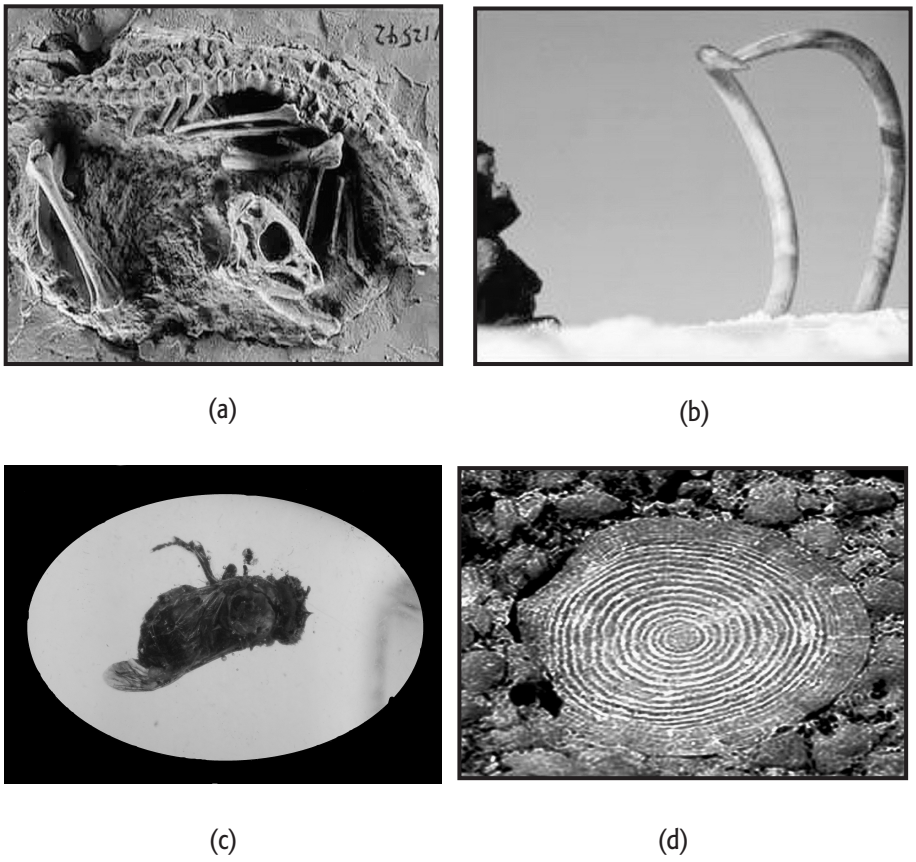
Figura 1.5. Dendritas.

Imagen tomada de: *(http://gealandpatrimonio.blogspot.mx/2013_05_01_archive.html)*.

Fósil extraordinario

Cuando se define la palabra fósil de manera general, se dice que es todo aquel registro de vida antigua que ha sido conservado en roca, gracias a que sus partes duras originales se fosilizaron (véase fósil verdadero). Sin embargo, existen fósiles que no cumplen exactamente con esta regla. Un fósil extraordinario puede mostrarse de distintas maneras, por ejemplo, cuando además de presentar partes duras (huesos, dientes u otros), también se encuentran estructuras que difícilmente se conservarían, como tejido, pelo, plumas, o incluso contenidos gástricos, como el caso de los fósiles encontrados en algunas canteras del noreste de China **(figura 1.6a).** Otro caso es el de los mamuts congelados en permafrost, que fueron encontrados en Siberia **(figura 1.6b).**

Existen otras formas de vida cuyos fósiles no cumplen con el requisito de las partes duras, pero el material donde se depositaron contribuyó a su conservación, tal es el caso de los insectos fosilizados en ámbar **(figura 1.6c)**, diversas



(a) (b)

(c) (d)

Figura 1.6. Ejemplos de fósiles extraordinarios. a) *Mei long;* **b)** *Mammuthus sp.*; **c)** insecto conservado en ámbar y **d)** foraminífero.

Imágenes tomadas de: **(a)** *(http://www.amnh.org/our-research/science-news/2004/first-ever-fossil-of-sleeping-dinosaur-found-in-china).* **(b)** *(http://www.vikingu.es/Qu%C3%A9-visitar/Rancho-La-Brea-Los-%C3%81ngeles_vi269903).* **(c)** y **(d)** *(http://fosil.com.es/Foraminiferos.html)*.

estructuras vegetales conservadas en carbón mineral, e incluso gránulos de polen, bacterias, protozoarios **(figura 1.6d)** u hongos, que debido a las condiciones tan finas del sedimento se encuentran en un alto estado de conservación.

Fósil "viviente" o ¿un representante del pasado?

Con base en el desarrollo de las teorías evolucionistas y en las descripciones existentes de los distintos fósiles, se pudieron establecer líneas de evolución al interior de los grupos de organismos, los cuales aparecieron como formas muy simples y sufrieron modificaciones corporales en la línea del tiempo. Estas modificaciones, que se explican en las teorías evolucionistas, permitieron que distintas especies pudieran adaptarse al medio en el que vivían, es decir, la especie "evoluciona" para poder sobrevivir mejor en el sistema.

Asimismo, se han descubierto especies actuales que, tras una comparación morfológica con fósiles de especímenes parecidos, se reportaron como iguales, es decir, se encontraron organismos del pasado viviendo actualmente, pero sin los cambios adaptativos que se explicaron anteriormente. Esto se debe al gran éxito de adaptación que mostraron algunas especies desde un principio, lo cual evitó casi por completo los cambios morfológicos o de comportamiento. A este tipo de organismos se les denomina pancrónicos (pan = todo; chronos = tiempo), relictos taxonómicos o remanentes.

Por otro lado, vulgarmente y de manera no científica, se les denomina "fósiles vivientes". Se describen como término no científico, debido a la incompatibilidad de utilizar en conjunto los términos fósil y viviente, ya que se produce un oxímoron. Como ejemplo, cabe mencionar el género *Nautilus* **(figura 1.7a)**, el cual es un remanente del grupo de los nautiloideos, taxón emparentado con los extintos ammonoideos. Otros ejemplos serían los géneros *Sphenodon* (tuátara) **(figura 1.7b)** y *Gingko* **(figura 1.7c)**, los cuales hoy en día son considerados incluso endémicos de algunas islas situadas frente a las costas de Nueva Zelanda y China, respectivamente.

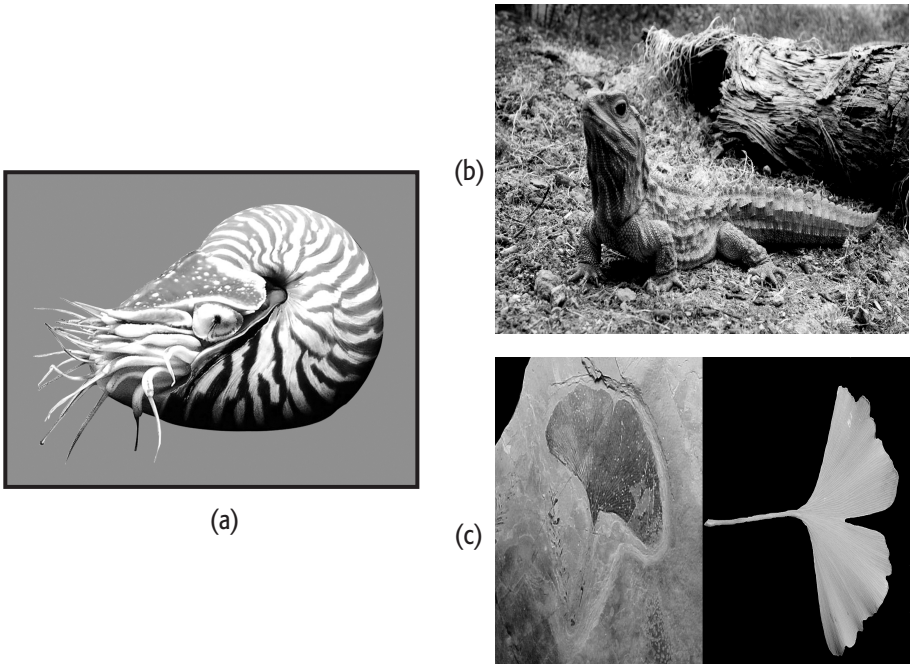


Figura 1.7. Ejemplos de relictos taxonómicos o "fósiles vivientes". (a) *Nautilus pompilus*; (b) *Sphenodon punctatus* y (c) *Ginkgo biloba.*

Imágenes tomadas de: (a) *(www.mw.com/mw/art/,mek.oszk.hu/03400/03408/html/1933.html).* (b) *(http://www.genesispark.com/exhibits/reptiles/tuatara/).* (c) *(www.homeherbs.com/.../0/7-Ginkgo_biloba.html).*

Un caso de probable extinción es el cefalópodo *Nautilus*. Los Nautilus (primos hermanos de los ammonoideos) aparecieron a mediados de la Era Paleozoica; durante el Mesozoico disminuyó su población, pero lograron sobrevivir a la crisis del Cretácico Superior. Los *Nautilus* sobrevivieron durante el Terciario y Cuaternario, y aunque no son fósiles "vivientes", el último de los Cefalópodos se encuentra en vías de extinción.

Huella

Es el registro físico dejado en cualquier sedimento, que indica la presencia de algún representante del reino animal capaz de desplazarse; para fines paleontológicos, el rastro debe estar consolidado en la roca. Esta clasificación comprende registros como huellas, galerías y madrigueras, entre otras.

Las huellas son indicadores indirectos de vida y, por ello, resultan poco precisas para determinar una jerarquía inferior a Familia, lo cual no demerita su importancia científica, ya que el hecho de haberse conservado hasta nuestros días las hace extraordinarias. Por ello existe una rama de la Paleontología —denominada Paleoicnología—, que se dedica estrictamente a su estudio, y que ha propuesto una clasificación artificial determinada como *Icnotipos*, los cuales funcionan de manera homóloga a las grandes jerarquías de clasificación biológica **(figuras 1.8 y 1.9).**



Figura 1.8. Huella de dinosaurio del Cretácico, cerca de Tehuacán, Puebla.

Imagen tomada por: Delfino Hernández Láscares (2005).

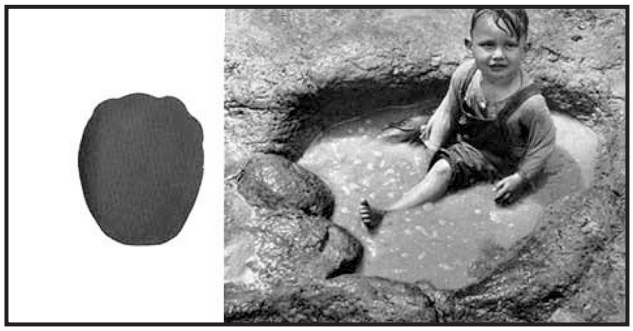


Figura 1.9. Huella asignada al grupo Sauropodomorpha.

Imagen tomada de: *(www.naturalhistorymag.com/.../1941_02_pick.html*).

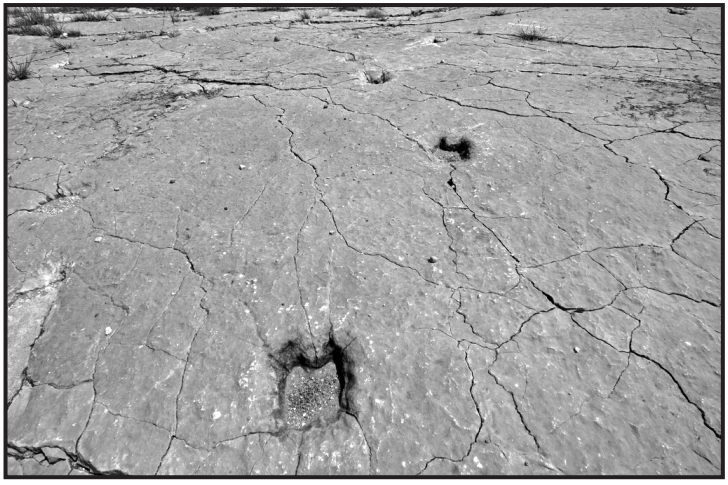


Figura 1.10. Ejemplo de un rastro: huellas en Tepexi de Rodríguez, estado de Puebla.

Imagen tomada por: Delfino Hernández Láscares (2000).

Rastro

Es un conjunto de huellas que conlleva un mismo patrón direccional, vectorial y un mismo sentido dejado en cualquier sedimento. Al igual que las huellas, la traza es considerada como un indicador indirecto. Sin embargo, su estudio puede revelar características de tipo etológicas.

De acuerdo con los especialistas de esta rama paleontológica, se considera que una traza debe estar compuesta por un número mínimo de tres huellas que cumplan con las características antes mencionadas y deben presentarse en un mismo estrato **(figura 1.10)**.

Impresión

De forma general, se define como la palabra homóloga a huella. La diferencia radica en que esta última es utilizada para registros zoológicos, mientras que el término impresión se aplica a las evidencias de formas afines al reino vegetal, principalmente material no lignificado (hojas, frondas, microfilas, etc.) **(figura 1.11)**.

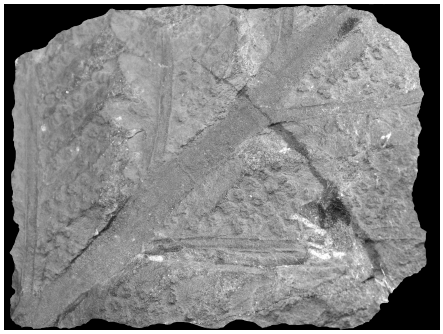


Figura 1.11. Impresión de soros de una filicophyta del periodo Carbonífero.

Muestra propiedad de la UAM-I.

Molde

Cuando un cuerpo o estructura anatómica de cualquier representante de la escala zoológica queda depositado o solo marcado en el sedimento, se dice que se trata de un molde, el cual funciona como una especie de negativo de la forma original **(figura 1.12).**



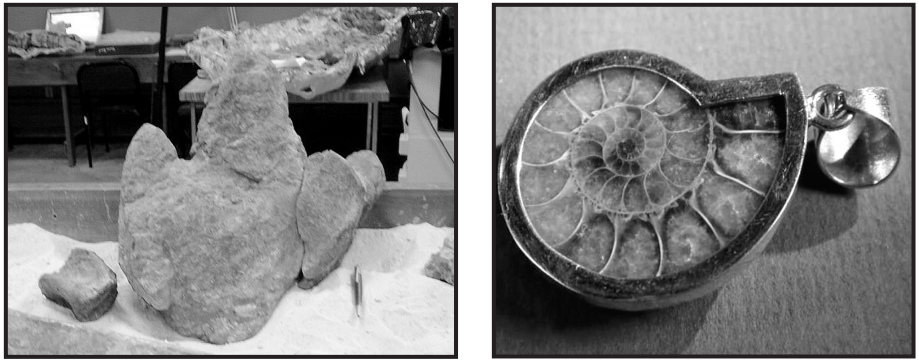
Figura 1.12. Molde de un espécimen de la Familia Ammonoidea.

Muestra propiedad de la UAM-I.

Relleno

En el caso de los invertebrados, relleno es todo aquel material consolidado en el interior de cualquier estructura de dureza considerable (principalmente conchas o exoesqueletos). El material de relleno puede presentar dos variantes:

1. Que se encuentre asociado de forma parcial o total al fósil verdadero.
2. Que el fósil haya desaparecido por completo y deje solo el material de relleno, lo que implica una mayor resistencia debido a su composición química.



(a) (b)

Figura 1.13. Dos distintos tipos de relleno. a) Relleno de la huella izquierda de un hadrosáurido y **b)** ammonites conservado con sus cámaras rellenas con caliza. Muestra propiedad del Laboratorio de Paleontología, Museo del Desierto, Saltillo, Coahuila, tomada por IESU.

Imagen tomada de: (*www.fossilmall.com/.../Jewelry/J2/J2.htm*).

En el caso de los vertebrados, el relleno se presenta cuando cualquier representante de la escala zoológica deja una huella (o rastro) sobre el sedimento, y posteriormente esa huella es cubierta en su totalidad por nuevo sedimento, ya sea de la misma clase que registró la huella o por otro de diferente naturaleza química. Aquí también se presentan dos casos **(figura 1.13)**:

1. Que el molde sea conservado junto con el relleno.
2. Que solo el relleno se conserve.

Marcas de oleaje (no orgánico)

Se puede definir de manera simple como toda aquella evidencia dejada en sedimento por factores paleoambientales y litificada posteriormente (marcas de oleaje, de lluvia, etc.) **(figura 1.14)**.

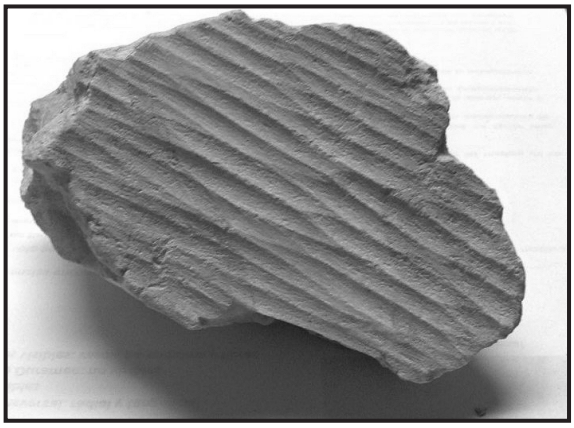


Figura 1.14. Marcas de oleaje.

Imagen tomada de: (*www.biblioweb.dgsca.unam.mx/.../html/sec_7.html*).

La formación San Juan Raya, estado de Puebla, es una unidad excelente para observar marcas de oleaje.

2. Conservación de los fósiles

Es fácil entender por qué la inmensa mayoría de los fósiles corresponden solamente a las partes duras de los organismos: conchas, huesos, partes dentarias y armaduras rígidas de algunos animales, como insectos y crustáceos. Las huellas fósiles revelan la actividad y presencia de organismos antiguos. Entre las trazas de invertebrados se cuentan pistas, tubos, perforaciones e impresiones de gusanos. A través de dichas trazas, difícilmente puede determinarse con exactitud las especies que las produjeron, pero a menudo proporcionan información acerca de la ecología del medio y de las estructuras de comunidades antiguas **(figura 1.15)**.

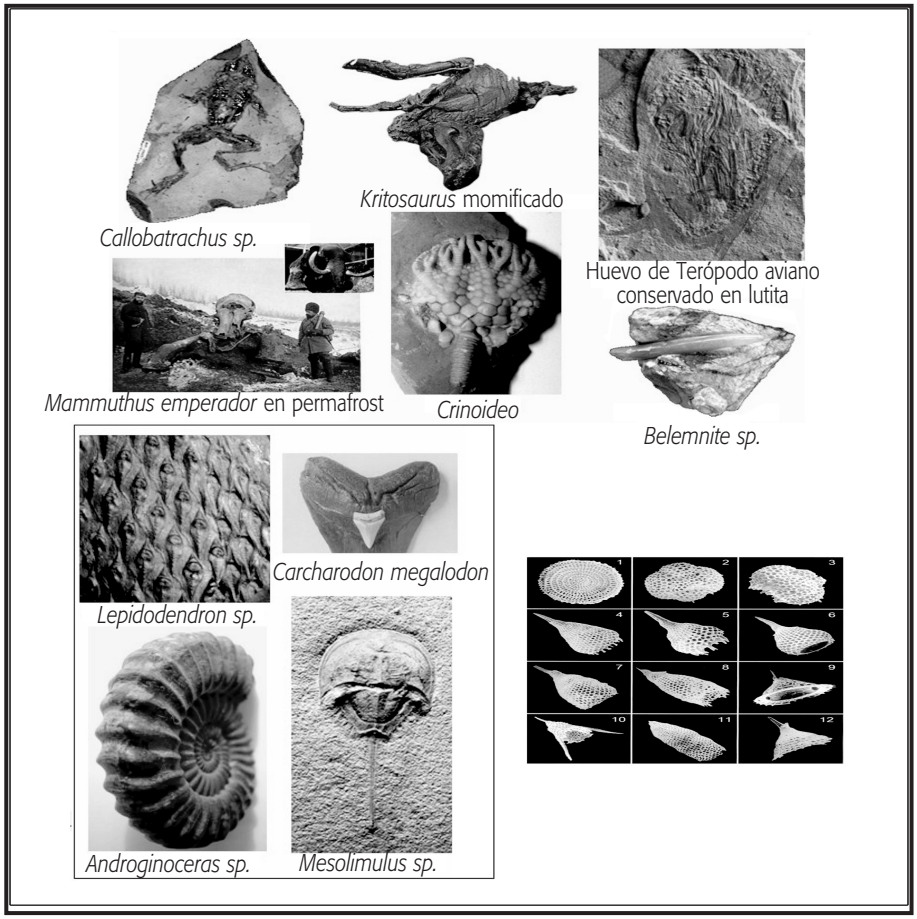


Figura 1.15. Diversos ejemplos de fósiles con distintos niveles de sedimentación y conservación. Un fósil no se debe interpretar solo por sus características individuales, ya que puede revelar importante información adicional, que va desde la explicación del posible paleoambiente hasta determinar la verdadera causa de su muerte.

Imágenes tomadas de: *(www.fieldmuseum.org.../NPI_web/models_coal.htm), (www.emol.com/noticias)*.

La mayoría de los rastros fósiles representan, en cierto sentido, un comportamiento petrificado, el cual se plasmó mientras el animal estaba todavía vivo; a diferencia de los demás fósiles que representan secuelas de la muerte. Ello confiere a los rastros un interés notable, cuyo estudio ha sido por mucho tiempo una de las especializaciones más activas dentro del campo general de la paleontología. Lo dicho vale, en particular, para el estudio de huellas y rastros de vertebrados que, a mediados del siglo XIX, recibió denominación propia: *icnología* (del griego *ichnos,* "huella o pista"). A partir de este tipo de registros tampoco pueden determinarse las especies con certeza, pero sí aportan mucha información acerca de las mismas.

En las plantas fósiles algunos tejidos y órganos son blandos y otros son duros. La madera fósil es bastante común, pero las hojas —aunque más débiles que aquella— son más abundantes y se encuentran en puntos muy distintos. Las esporas y el polen son de tamaño microscópico y no poseen partes esqueléticas o duras, por lo cual no se había tomado en cuenta su extraordinaria abundancia fósil. Sin embargo, a partir de la década de los cuarenta, se comenzaron a estudiar sobre sedimentos geológicamente recientes; y tras una actividad intensa y generalizada su análisis se ha ampliado en cientos de millones de años, remontándose hasta el Paleozoico superior.

Estos fósiles proporcionan buenos registros de la flora de un lugar en un momento dado, resultando de particular utilidad para deducir factores ecológicos y episodios de la historia de la vida. Su estudio se ha constituido en una especialidad muy activa, hasta el punto de erigirse en ciencia con nombre propio: *Palinología (palyno*, en griego, significa "rociar" con harina o, presumiblemente, con polen).

3. Procesos de fosilización por mineralización

Los seres que vivieron en el pasado y cuyos restos se preservan en distintos materiales de la corteza terrestre constituyen el objeto de estudio de la Paleontología.

Para que un organismo llegue a fosilizar debe pasar una serie de pruebas naturales casi imposibles de superar. A pesar de ello, muchos organismos se han conservado, dejando evidencias tan claras que hoy son el único documento que permite demostrar la existencia de vida hace cientos de millones de años.

En la actualidad los peces marinos mueren a menudo ahogados en gran número, asfixiados por un plancton demasiado rico en diatomeas; los bancos de ostreas desaparecen a veces bajo la abundancia de mejillones. Por el contrario, los cadáveres de los animales muertos en los desiertos, incluso sus esqueletos, desaparecen muy rápidamente expuestos al aire libre.

Muy a menudo, después de la muerte, los organismos son deformados o fragmentados, por lo que muchos de ellos llegan a fosilizar incompletos; durante el proceso, algunas partes de su cuerpo se separan, o bien, los restos pueden estar afectados por las rocas que los contienen y que alteran su forma.

Los fósiles conservan especialmente las partes duras, como conchas o huesos, pero también los organismos blandos han sido fosilizados; por ejemplo, las medusas del Precámbrico de Ediacara. En el caso de la formación Matzitzi, estado de Puebla, México, se han conservado soros y prefoliación circinada (callados), con una edad de 300 millones de años (Carbonífero superior).

En los casos de momificación, los organismos han sido conservados casi en su totalidad, como ocurrió en el ámbar del Báltico —resina fósil oligocénica—, donde quedaron aprisionados numerosos animales. En México, existe una localidad (Simojovel, Chiapas) con formaciones de ámbar, donde se han hallado principalmente insectos y pequeñas plantas. EI ámbar, que contiene aún ácido succínico, ha conservado en gran parte la composición de estos organismos. Igualmente clásicos son los mamuts conservados en el hielo, con carne y pelo; uno de estos ejemplares se exhibe al público en el Museo de Leningrado, Rusia.

Es un hecho excepcional que la fosilización haya podido registrar verdaderas escenas de vida. En las condiciones normales imperantes sobre la corteza terrestre, los restos de los organismos no se conservan y, en consecuencia, no llegan

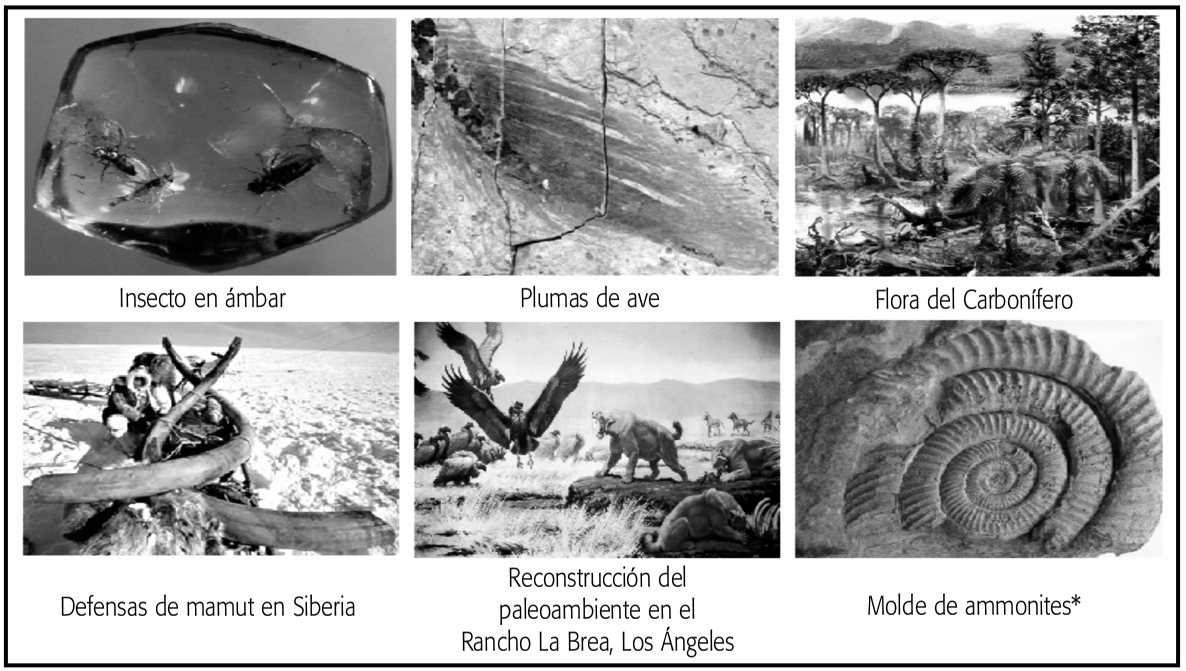


Figura 1.16. Algunos ejemplos de procesos de fosilización. (*) Molde de espécimen de la Familia Ammonoidea. Muestra propiedad del Laboratorio de Paleontología y Riesgos Geológicos, UAM-I.

Imágenes tomadas de: *(http://latrola.net/blok/foto-imagenes-de-insectos-atrapados-en-resina-de-ambar), (http://es.paper-blog.com/similicaudipteryx-y-las-plumas-extintas-121399/), (http://www.telefonica.net/web2/paleontologiaernesto/Paleo-botanica/paleobotanica1.html), (http://www.20minutos.es/noticia/1340089/3/cientificos-rusos/clonar/mamut/), (http://divulgacionbiologica.blogspot.mx/2010/08/los-resucitadores.html)*.

a convertirse en fósiles. Es una condición imprescindible para la formación de éstos que los restos del organismo sean sustraídos a los efectos destructivos de la corteza terrestre, antes de llegar a la descomposición definitiva **(figura 1.16)**.

Sobre tierra firme predominan el desgaste y la erosión, solo en puntos locales tiene lugar la sedimentación, es decir, la formación de nuevas rocas. Por el contrario, los mares y cuencas son lugares que favorecen la fosilización. Las sustancias químicas presentes en este proceso pueden ser muy variadas, pero las más comunes son: carbonato de calcio, sílice, carbono y sulfuro de hierro; con menos frecuencia, también se encuentran fosfato y sulfato cálcicos y ciertos silicatos.

4. Procesos químicos de fosilización

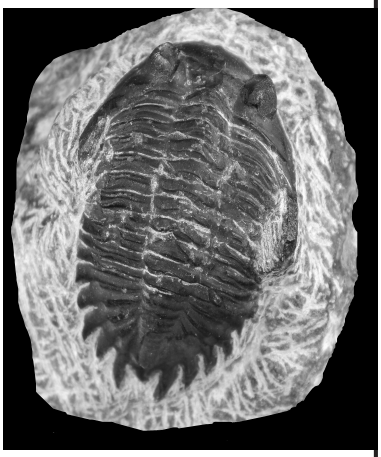
Cuando los organismos quedan enterrados en el sedimento, lo primero que sucede es la destrucción de la materia orgánica blanda. Si es de origen animal, se forma una masa rica en nutrientes que es consumida por bacterias y, ocasionalmente, puede dar lugar a la formación de petróleo; si la materia blanda es de origen vegetal, forma humus, el cual bajo ciertas circunstancias puede llegar a convertirse en carbón.

Las partes duras de los organismos, como huesos y conchas, sufren un proceso de mineralización por intercambio de sustancias químicas con el sedimento que los contiene. Este proceso puede tomar varias formas, pero las principales son: carbonatación, carbonización, silicificación, piritización y fosfatación **(figuras 1.17, 18, 19, 20 y 21,** respectivamente). En muchas ocasiones, estos procesos están relacionados con el tipo de estrato en que el fósil se encuentre depositado **(figuras 1.22, 23 y 24).**

Carbonatación

Es un proceso de fosilización que consiste en la sustitución de los restos orgánicos duros del cuerpo por carbonato cálcico ($CaCO_3$) en forma de calcita, que es su forma más estable. Es el proceso más habitual de fosilización debido a la gran abundancia del mineral calcita, el cual se puede encontrar tanto en las rocas sedimentarias como en las conchas y caparazones de muchos invertebrados.

La abundancia de calcita en los esqueletos y exoesqueletos de los organismos, en su mayoría de procedencia marina, produce una fosilización muy rápida, pero respeta una gran cantidad de las características del animal. En este caso, los fósiles son de rápida creación y poseen una extraordinaria conservación de sus detalles.



Trilobite

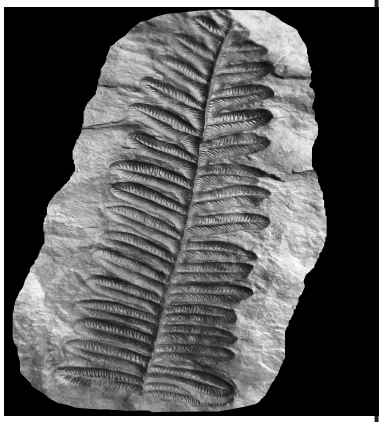
Figura 1.17. Carbonatación.

Muestra propiedad de la UAM-I.

Carbonización

Es el proceso habitual de fosilización de los restos vegetales formados por celulosa, y de los artrópodos cuyo esqueleto está formado por quitina. La acumulación de troncos y hojas en un ambiente con ausencia de oxígeno, en primer lugar, produce humus. Si el proceso continúa aumentando la presión, y con una progresiva sustitución del resto de los componentes orgánicos por carbono, acaba formándose carbón.

Durante el periodo Carbonífero, la Tierra estaba poblada por densos bosques que propiciaron que este proceso se produjera durante 50 millones de años, lo que da nombre a este periodo. De él procede la mayoría de las minas de carbón.



Pteridophytas fósiles

Figura 1.18. Carbonización.

Muestras propiedad de la UAM-I.

Silicificación

La silicificación de los fósiles se distingue por la aparición de pequeñas estructuras circulares llamadas anillos silícicos. Este proceso, lo mismo que la aparición de los pedernales, es típico y generalizado en aquellas formaciones en que tuvieron gran importancia los organismos de esqueleto silíceo, como ocurrió en los periodos Jurásico y Cretácico, en que las esponjas sílicas se desarrollaron enormemente. Además de los tres medios fosilizantes más generalizados (carbonatación, silicificación y piritización), pueden aparecer ocasionalmente otros agentes, en función de la situación química, por ejemplo, yeso, fosfatos y otros más.

En determinadas situaciones, como el vulcanismo, el sílice da lugar a soluciones químicas que actúan como agente fosilizante, su forma más habitual y estable es la calcedonia. Se pueden encontrar fósiles silíceos incluso en rocas calizas, fénomeno frecuente con foraminíferos, equinoideos, ammonites, braquiópodos y gasterópodos; hay que destacar también los jaspes xiloides procedentes de la fosilización de troncos y ramas de árboles.

La solubilidad del óxido silícico (SiO_2) es extraordinariamente reducida. A pesar de ello, pequeñas cantidades de óxido silícico disuelto, procedente de procesos erosivos, son transportadas hacia los mares. Las esponjas silíceas (*Hexactinellida* y *Demospongiae*), algas unicelulares (diatomeas) y radiolos unicelulares (protozoa) construyen estructuras a partir de este compuesto, y durante la descomposición del cuerpo blando del animal, el óxido silícico procedente de estas estructuras pasa al sedimento en forma de óxido silícico calcedónico.



Madera fósil silicificada

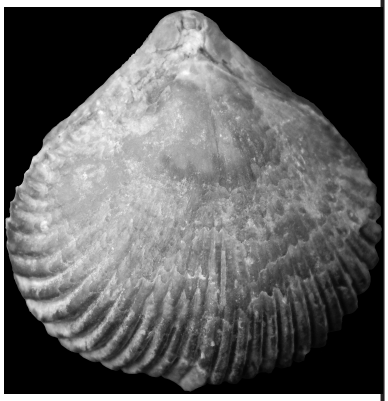
Figura 1.19. Silicificación.

Imágenes tomadas de: (*http://www.sernageomin.cl/), (http://www.esacademic.com*).

Piritización

Cuando la materia orgánica se descompone en un ambiente carente de oxígeno, se produce ácido sulfhídrico, el cual reacciona con las sales de hierro del agua marina produciendo sulfuros de hierro, generalmente marcasita y pirita, compuestos que sustituyen la materia de origen orgánico de conchas y esqueletos.

Si la pirita se conserva inalterada, los fósiles presentan un aspecto metálico, pero esto no sucede habitualmente. En particular, los organismos fosilizados en marcasita suelen aparecer limonitizados y, en este caso, se oxidan y destruyen rápidamente en contacto con la atmósfera.



Braquiópodo

Figura 1.20. Concepto de piritización.

Muestra propiedad de la UAM-I.

Fosfatación

Es una de las formas frecuentes de fosilizar los restos de vertebrados, sobre todo cuando se produce gran acumulación de ellos.

El fosfato cálcico, principal componente de los huesos y dientes, actúa como agente fosilizante, y es reforzado por el aporte de carbonato cálcico del sedimento que rellena los poros internos de los huesos.

Las minas de fosfatos explotadas comercialmente son auténticas graveras de fósiles, formadas por infinidad de huesos y dientes.



Falanges de Terópodo



Diente de *Carcharodon megalodon*

Figura 1.21. Concepto de fosfatación.

Imágenes tomadas de: *(http://antiguaymedieval.blogspot.mx), (http://perso.wanadoo.es).*

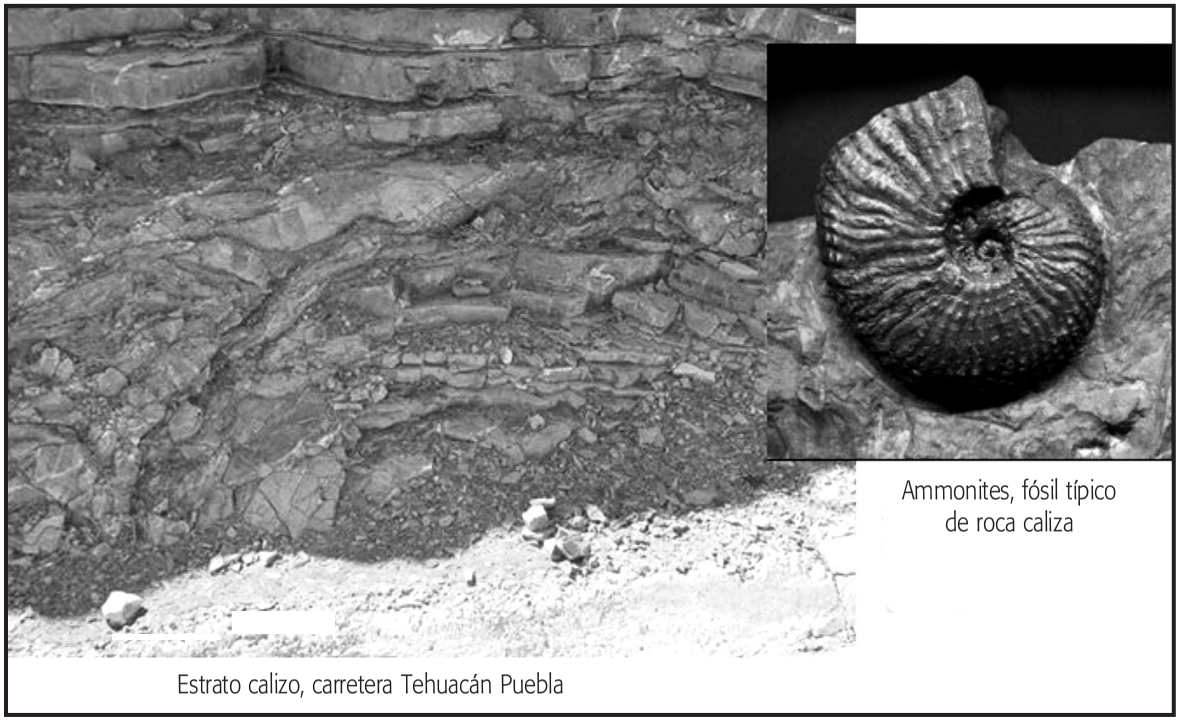


Figura 1.22. Estrato de caliza. Hace 100 millones de años, Tehuacán, Puebla, era parte de un mar. Esto se sabe debido a los numerosos estratos ricos en carbonato de calcio ($CaCO_3$), además de la presencia de fauna marina, principalmente pelecípodos, ammonoideos, gasterópodos, equinoideos, entre otros.

Fotografía del estrato tomada por DHL e imagen tomada de: *(berg.heim.at/.../Neoprotrach-attila.htm)*.



Estrato de arenisca, región de Santiago Coatepec, estado de Puebla

Fragmento del crecimiento primario con forma arborescente de *Lepidodendron cf. obvatum*

Figura 1.23. Afloramiento de arenisca. Hace 320 millones de años, la región suroeste del estado de Puebla funcionaba paleoecológicamente como los humedales y pantanos de la actualidad. Esto se sabe, en primer lugar, por el tipo de material que dio origen al afloramiento de arenisca presente en el lugar; y se reafirma rotundamente por la presencia de flora rica en pteridophytas y grupos afines.

Fotografía del estrato tomada por Delfino Hernández Láscares; muestra propiedad de la UAM-I.



Estrato de lutita carbonatada, carretera Tehuacán-Huajuapan de León



En muchas ocasiones el sedimento es tan fino, que permite una perfecta conservación del fósil, tal y como se muestra con esta tortuga y los peces.

Figura 1.24. Afloramiento de lutita carbonatada. Evidencia de un ambiente marino somero hace 100 millones de años en Tehuacán, Puebla. Esto queda comprobado por la variedad de fauna marina conservada en la roca. El sedimento es tan fino que la conservación es muy completa, como en la localidad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, donde se han encontrado peces y reptiles parecidos a los de la imagen que se anexa. Fotografía del estrato tomada por Delfino Hernández Láscares. La imagen del quelonio es una muestra de cómo un organismo puede fosilizarse.

Imagen tomada de: *(reptilians.org/home/show_con.php?p_id=7).*

5. Tafonomía

El término *Tafonomía* deriva del griego *taphos* ("enterramiento") y *nomos* (literalmente "ley", pero usado algunas veces en vocablos modernos con el sentido de "ciencia"). Tafología sería un término más adecuado, pero Tafonomía es el uso habitual. En un sentido limitado, la Tafonomía se ocupa de las circunstancias y procesos por los que pasa un organismo fosilizado desde su muerte hasta el enterramiento. En un sentido más amplio, la Tafonomía incluye todos los procesos por los que atraviesa un fósil, desde la muerte del organismo hasta el momento en que sus restos están listos para el análisis sobre la mesa de trabajo de un paleontólogo **(figura 1.25)**. Así, se distinguen tres fases en la Tafonomía: la primera, desde la muerte hasta el enterramiento; la segunda, que es enormemente más larga, abarca el periodo en que el organismo permanece enterrado; finalmente, la tercera fase incluye el descubrimiento, extracción y preparación del fósil para su estudio.

El análisis tafonómico se basa en la información conservada en el registro fósil y no en la información perdida, tal registro es muestra de la vida pasada y las muestras presentan sesgos. El estudio de la historia de la vida a partir de muestras no solo está justificado y es altamente informativo, sino que también es necesario. Si tuviésemos un registro completo —una imposibilidad evidente—, su investigación desbordaría a todos los paleontólogos y todos los ordenadores del mundo. Que las muestras están sesgadas, es obvio. El asunto es que para hacer interpretaciones de la vida debemos admitir la existencia de sesgos, juzgar la clase y extensión de los mismos y tenerlos siempre en cuenta. Esa es una de las funciones principales de la Tafonomía, y una de las razones de la creciente atención que se presta a ese aspecto de la Paleontología.

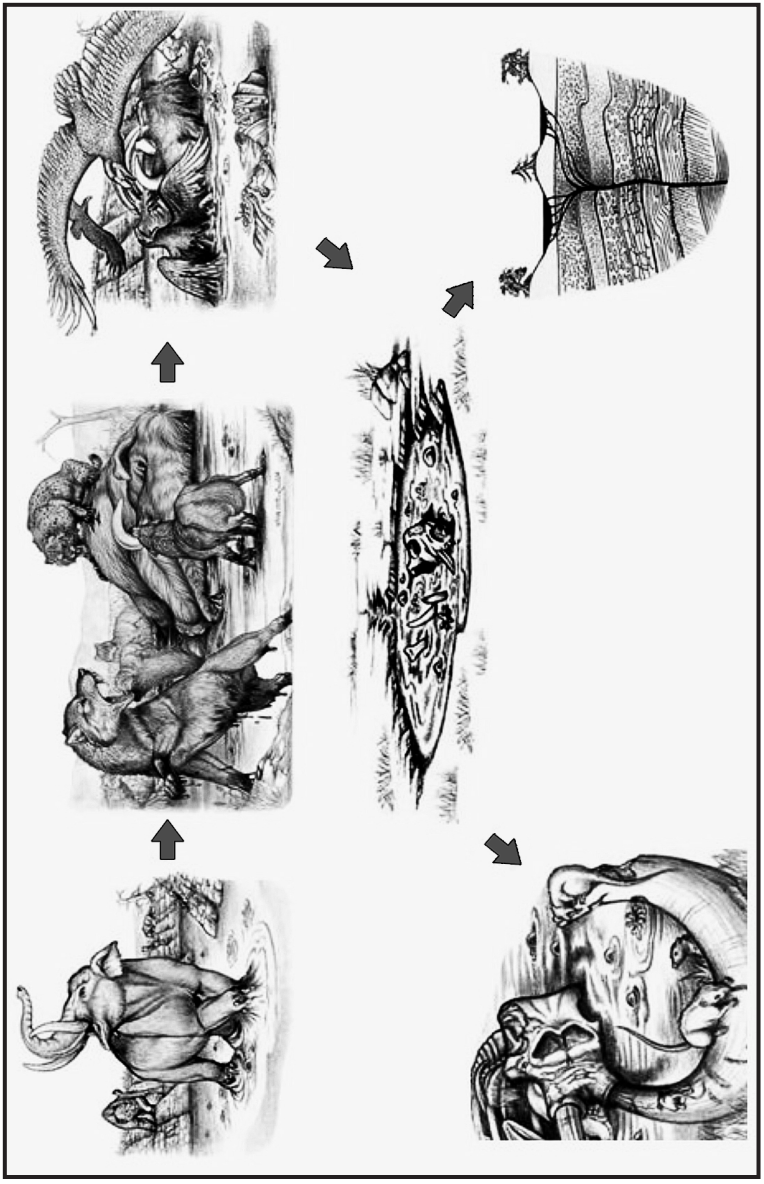


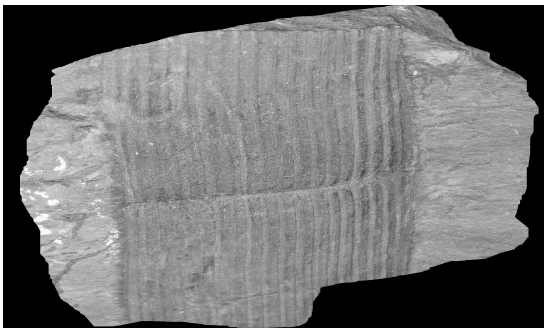
Figura 1.25. Diagrama tafonómico.

Imágenes tomadas de: (*www.tarpits.org/.../guide/geology/entrap.html*).

6. Técnicas para el estudio de los fósiles

Aproximación fotográfica

Se debe efectuar un acercamiento suficiente para hacer notar el mayor número posible de características del fósil. De preferencia debe hacerse con película en blanco y negro de grado fino, para obtener mayor detalle y poder conseguir ampliaciones de buena calidad. Al tomar la fotografía, la muestra debe estar sobre un fondo que contraste con el color de ella misma; y la imagen deberá acompañarse de una regleta graduada (en dm, cm o mm, según se requiera) que nos dé una idea aproximada del tamaño **(figura 1.26)**. La iluminación del fósil será tal que resalte la mayor parte de las estructuras cruciales del espécimen; para ello, se pueden usar 1, 2, 3 o más lámparas (ya sean de luz blanca, amarilla o roja, según convenga), pantallas traslúcidas situadas entre el fósil y la lámpara (luz difuminada), para variar el ángulo de incidencia de la luz, y otras técnicas especializadas. (Aconsejamos consultar a un fotógrafo profesional para estos menesteres).



I---------I 1 cm

Figura 1.26. Muestra de *Calamites sp.* Tomada bajo los términos de aproximación fotográfica.

Muestra propiedad de la UAM-I.

Dibujo de línea

Esta técnica dependerá mucho de la pericia, gusto y observación del dibujante por hacer trabajos muy artísticos o muy simples; lo más importante es que el dibujo muestre el mayor número de detalles posible, ya sea que se trate de un fósil completo o solo de una porción específica del mismo. El dibujo, a lápiz o tinta, debe ser lo más fiel posible al original, con trazos bien definidos y proporcionados, tratando de indicar texturas o rasgos importantes. De ser necesario se harán dos o más dibujos de un mismo espécimen en diferentes perspectivas (frontal, superior, lateral, posterior u otras), para denotar estructuras importantes **(figura 1.27).**

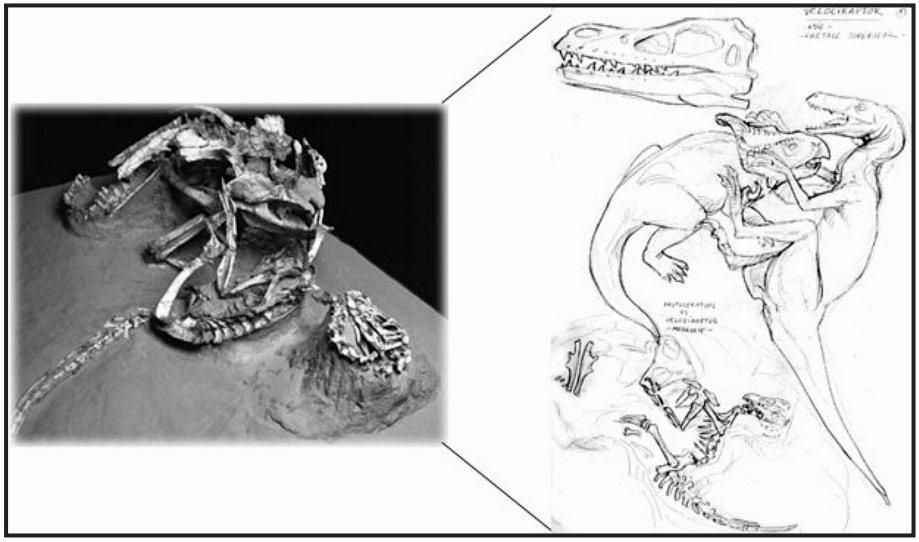


Figura 1.27. Fósil de un *Velociraptor* y un *Protoceratops*, así como su reconstrucción en forma de boceto.

Imágenes tomadas de: *(www-geology.ucdavis.edu/.../CH12images.html)* y (*perso.wanadoo.fr/online.portfolio/Raptorsx.html)*, respectivamente.

Descripción escrita

El lenguaje usado deberá ser claro y conciso, evitando los términos ambiguos e innecesarios que puedan producir confusiones. En la descripción de un organismo, de preferencia debe usarse la terminología propia del grupo al que pertenece. Como en las herramientas anteriores, deberán resaltarse los rasgos importantes para la identificación del espécimen. Una buena sugerencia para realizar la descripción es redactarla pensando no en "cómo lo entiendo mejor yo", sino en "cómo lo van a entender mejor los demás".

Descripción por medidas

Es importante resaltar que todas las medidas deberán anotarse basándose en el Sistema Internacional. Hay que tomar todas las medidas posibles: largos, anchos, altos, profundidades, diámetros, separación entre una estructura y otra (entre venas, costillas, dientes, valvas, ramas, etc.), ángulos que se forman entre una estructura y otra (por ejemplo, pinas y pínulas con respecto a raquis y tallos). Recuerde que ningún dato es superfluo y que el límite de datos dependerá de lo que esté estudiando, y del grupo que se describe (se sugiere consultar la bibliografía para determinar qué medir, de acuerdo con el grupo que se estudia) **(figura 1.28)**.

Descripción de estructuras internas

Aquí se describirán las estructuras internas observables de acuerdo con la terminología particular de cada grupo (por ejemplo, presencia, posición y tamaño de órganos, músculos, etc.) **(figura 1.29).**

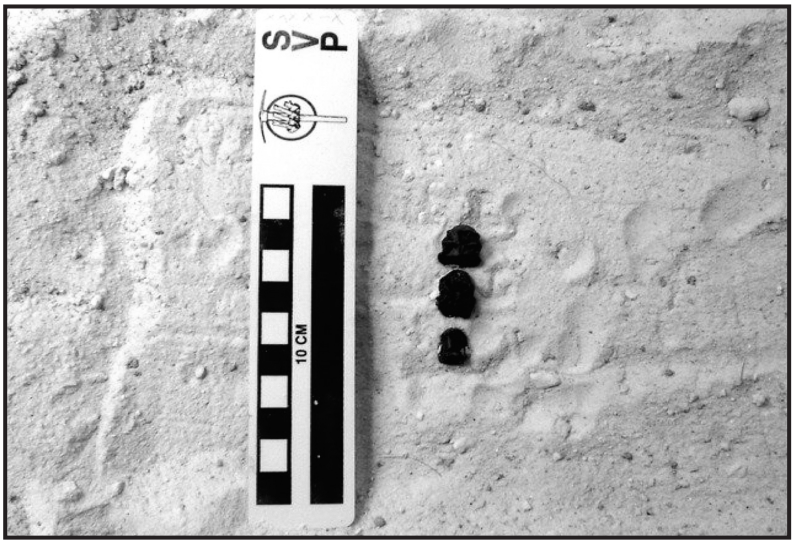


Figura 1.28. Tres vértebras de cocodrilo del Cretácico. Cuando se elabora la descripción por medidas de una muestra, hay dos formas de hacerla. La primera es gráfica, con un campo de referencia (en este caso, se trata de una reglilla de 10 cm), tal y como se muestra en la imagen. La segunda técnica es escrita, y en ella, dependiendo del tamaño de la muestra, puede variar la herramienta de medición, desde una regla graduada, un vernier, una cinta métrica e incluso reglillas para microscopio, etc. (Sánchez, 2005).

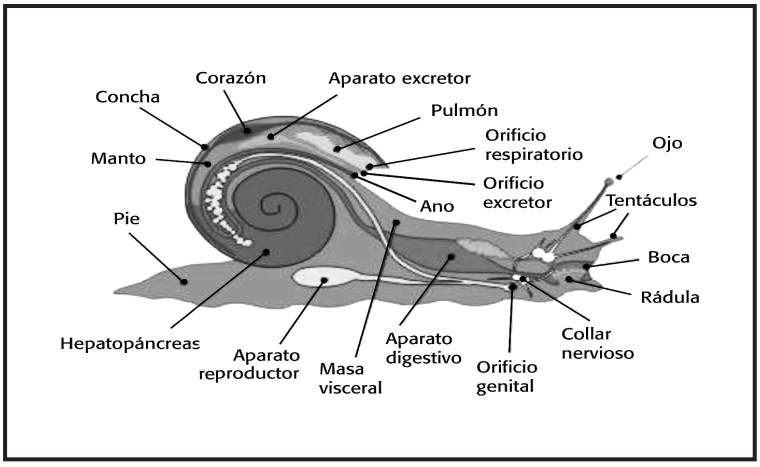


Figura 1.29. Anatomía general de un gasterópodo terrestre.

Imagen tomada de: *(http://jvilchez2009.blogspot.mx).*

Código Internacional de Nomenclatura Zoológica

De los tipos en el nivel de especie

Serie tipo: Todos los ejemplares sobre los cuales su autor basó la especie.

Holotipo: El ejemplar único designado o indicado como "el ejemplar-tipo" de un taxón nominal del nivel especie en el momento de su publicación original.

Paratipo: Cada uno de los ejemplares de una serie tipo que no sea el holotipo.

Sintipo: Cada uno de los ejemplares de una serie tipo en que no se ha designado holotipo.

Lectotipo: Uno de varios sintipos designado —con posterioridad a la publicación original de un nombre del nivel especie— como "el ejemplar-tipo" del taxón que lleva su nombre.

Neotipo: El ejemplar único designado como "el ejemplar-tipo" de un taxón nominal del nivel especie, cuyo holotipo (o el lectotipo) y todos los paratipos o todos los sintipos se han perdido o destruido.

De los taxones del nivel de familia y de sus nombres

Desde tiempos antiguos, el hombre ha tratado de clasificar, inventariar y contabilizar la biodiversidad presente en el planeta. Por esta razón, existe una rama de la ciencia que se encarga de clasificar a los grupos de organismos (taxones), utilizando las características de cada uno de ellos para agruparlos en categorías de ordenamiento llamadas Categorías Taxonómicas.

Existen 12 categorías en total, aunque las más importantes, ordenadas de mayor a menor nivel genérico, son: Reino, Filum (zoología) o División (botánica), Clase, Orden, Familia, Género y Especie. Además de las categorías principales, se cuenta con posiciones intermedias que utilizan los prefijos Súper-, Sub- e Infra- para indicar su posición en relación con las categorías principales.

Por otro lado, se estableció un convenio estándar, llamado nomenclatura binomial, para denominar los diferentes tipos de organismos, tanto vivos como extintos. Tal nomenclatura utiliza dos palabras para identificar a los individuos, formando lo que sería su "nombre y apellido". La primera palabra corresponde al género, y la segunda es un epíteto latino que identifica a la especie.

Categoría	Sufijo	Ejemplos
Reino		Animalia
Phylum o División	————————	Arthropoda
Clase	————————	Trilobita
Orden	-ida	Agnostida
Superfamilia	-oidea	Agnostoidea
Familia	-idae	Agnostidae
Subfamilia	-inae	————————
Género	————————	*Agnostus*
Especie	————————	*Agnostus pisiformis*

Capítulo 2

Phylum Arthropoda (Cámbrico - Reciente)

Los artrópodos son invertebrados protóstomos e hiponeuros de simetría bilateral, cuyo cuerpo está formado por anillos o artejos de tegumento quitinoso, los cuales portan órganos también articulados; su crecimiento se efectúa mediante mudas y metamorfosis. EI cuerpo de un adulto suele presentar tres regiones: cabeza, tórax y abdomen (Case, 1982).

Los organismos que integran el Phylum de los artrópodos son —indudablemente— los animales con mayor éxito biológico; son los más numerosos, viven en una mayor variedad de hábitats y consumen una amplia gama de alimentos, más que cualquier miembro de otro Phylum. Entre sus características más destacadas se pueden mencionar las siguientes:

- Apéndices articulados pares, de los cuales se derivó el nombre del grupo (artrópodos significa "con patas articuladas").
- Exoesqueleto duro, parecido a una armadura medieval, que cubre el cuerpo por completo y está formado por quitina.
- Cuerpo segmentado parecido al de los anélidos.
- Sistema circulatorio abierto con corazón dorsal.

EI movimiento de los artrópodos es por medio de los apéndices segmentales articulados y no por deformación del cuerpo. La simetría es bilateral, el exoesqueleto es flexible en las uniones entre los distintos segmentos (Murray, 1985).

Los artrópodos, a pesar de las limitaciones que son consecuencia de su especial organización (exoesqueleto, sistema nervioso ganglionar ventral, respiración traqueal, circulación sanguínea abierta), han conquistado prácticamente todos los ambientes con sus innumerables nichos ecológicos, que incluyen tanto ambientes continentales (terrestres, aéreos y acuáticos), como ambientes marinos **(figura 2.1a)**.



(a) (b)

Figura 2.1 a) Artrópodo y b) Anélido *arenícola*.

Imágenes tomadas de: **(a)** *(www.proaxis.com/~dpm/fullbeetle.html)* y **(b)** (*http://www.asturnatura.com/especie/arenicola-marina.html*).

Los organismos que tienen caparazón calcificado, es decir, los que viven en el mar, fosilizan bien sus tegumentos, debido a procesos de ecdisis. Los exuvios nos permiten conocer detalles del desarrollo ontogenético de estos animales, información que de otra forma se hubiera perdido. Entre los artrópodos fosilizados se encuentran numerosas especies características, principalmente los trilobites y los crustáceos, en los que hace énfasis este libro.

1. Origen y filogenia de los Artrópodos

Todo parece indicar que los artrópodos han tenido un origen relacionado con los anélidos **(figura 2.1b)**, por un proceso que esencialmente habría consistido en:

1. Fusión de nuevos segmentos al prostoma, para formar la región cefálica diferenciada.
2. Transformación de los parápodos en apéndices articulados.

3. Pérdida de la disposición segmentaria en la mayoría de los órganos internos, con lo que se alcanza una organización fisiológica más efectiva.

Aunque no se puede demostrar esta relación de dependencia entre Artrópodos y Anélidos, por lo menos, los escasos documentos disponibles no solo no contradicen, sino más bien sugieren esta misma hipótesis.

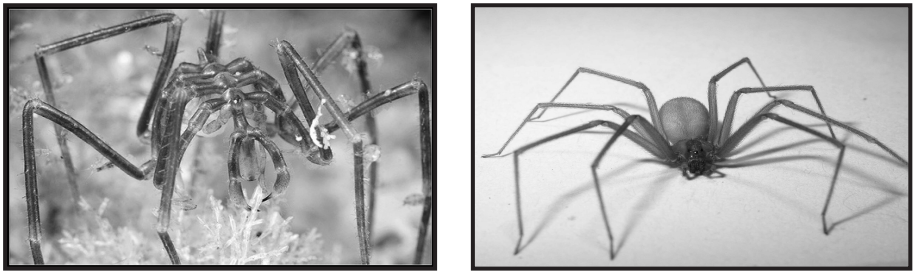
El Phylum de los artrópodos es el grupo más antiguo en todo el eón Fanerozoico y su enlace estratigráfico abarca desde el periodo Cámbrico al Reciente. Barnes (1990) divide a los artrópodos en los siguientes Subphyla: Trilobitomorpha; Chelicerata (Clases Merostomata, Arachnida y Pycnogonida); Subphylum Crustácea y Subphylum Uniramia (Clases: Insecta, Chilopoda, Diplopoda, Symphyla y Pauropoda). Los artrópodos fósiles pertenecen a las siguientes taxa:

Subphylum Cheliceratha

Es una de las tres líneas evolutivas de los artrópodos vivientes; es el único subphylum que carece de antenas, lo que constituye la característica más notoria del grupo. El primer par de apéndices se denomina quelíceros y son estructuras que sirven para la alimentación; el segundo par, los pedipalpos, se modifican para realizar diferentes funciones según las distintas clases; a los pedipalpos le siguen normalmente cuatro pares de patas.

Clase Pycnogonida (opiliones). Debido al parecido que algunas especies de estos animales tienen con las arañas, son conocidas como arañas de mar. Los picnogónidos reptan lateralmente con sus patas, el cuerpo es estrecho y compuesto por segmentos bien diferenciados que forman parte del prosoma; el opistosoma es muy reducido **(figura 2.2a)**.

Clase Arachnida (arañas). Constituyen la clase más numerosa de los artrópodos. Presentan muchos rasgos comunes con los Merostomas, no solo por la semejanza externa de los representantes de ambos grupos, sino también por



(a) (b)

Figura 2.2. Representantes de las clases: a) Pycnogonida y b) Arachnida.

Imágenes tomadas de: **(a)** (*http://www.flickriver.com/photos/a_semenov/tags/pycnogonida/*) y **(b)** (*http://www.botanical-online.com/animales/listaaracnidos.html).*

la concordancia entre la estructura hojosa de las branquias de los merostomas y la de los sacos pulmonares de escorpiones y otros arácnidos. Los arácnidos solo tienen ojos simples, pero en número y posición diversa, normalmente presentan un par al centro del cefalotórax, los demás (hasta cinco pares) son laterales; son animales terrestres que solo en algunos casos han regresado al medio acuático; en su mayoría son carnívoros, aunque también los hay herbívoros o parásitos **(figura 2.2b)**.

Clase Merostomata. Son la superclase más antigua y –paleontológicamente– más interesante de los quelicerados, pese a ser fósiles bastante escasos. Su cuerpo se compone de cefalotórax (prosoma), abdomen (opistosoma) y termina en una larga espina (telson). El cefalotórax está provisto de seis pares de miembros, de los cuales el primero está situado delante de la boca con una función esencialmente prensora (quelícero); el segundo par lo constituyen las mandíbulas, seguidas de otros cuatro pares de patas destinadas al desplazamiento. El opistosoma es largo y está formado por doce segmentos. Son organismos exclusivamente acuáticos.

Subclase Eurypterida (Escorpiones marinos). Presentan un cuerpo alargado con cefalotórax casi cuadrado, y un largo abdomen segmentado donde se distingue una parte anterior y una posterior. El cefalotórax presenta, en su parte dorsal, un par de ojos compuestos en posición lateral y un par de ojos pequeños en posición central (ocelos). Por detrás de los reducidos quelíceros posee cinco pares de patas natatorias articuladas; sobre los tres primeros, cada artejo está provisto de espinas; en el cuarto par solo el artejo terminal las presenta; el último de estos pares está ensanchado en forma de paleta, constituyendo auténticas aletas natatorias, y su base está protegida, en la parte ventral, por un pequeño escudo ovalado (el metastoma) **(figura 2.3)**.

Subclase Xiphosura (Limulus polyphemus, como único representante actual). Caracterizados por un caparazón dorsal y ovalado con tres lóbulos. Las límulas de los mares actuales se pueden considerar como auténticos "fósiles vivientes".

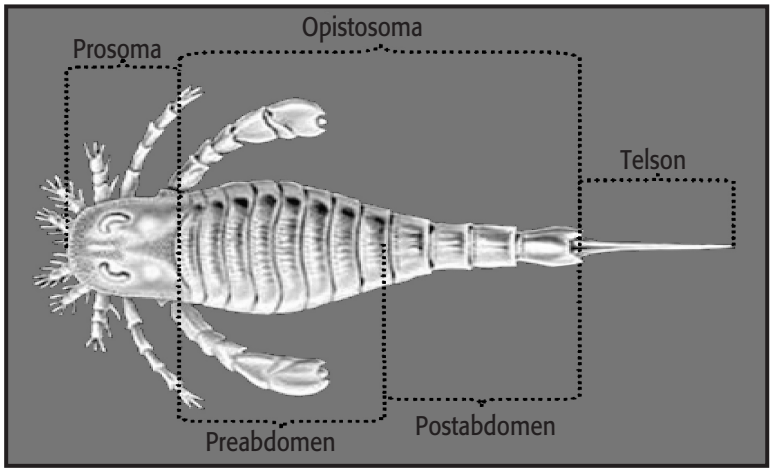


Figura 2.3. ***Eurypterus lacustris.*** Especie fósil representante de la Clase Eurypterida, dominante durante el Silúrico.

Imagen tomada de: *(tolweb.org/Eurypterida).*

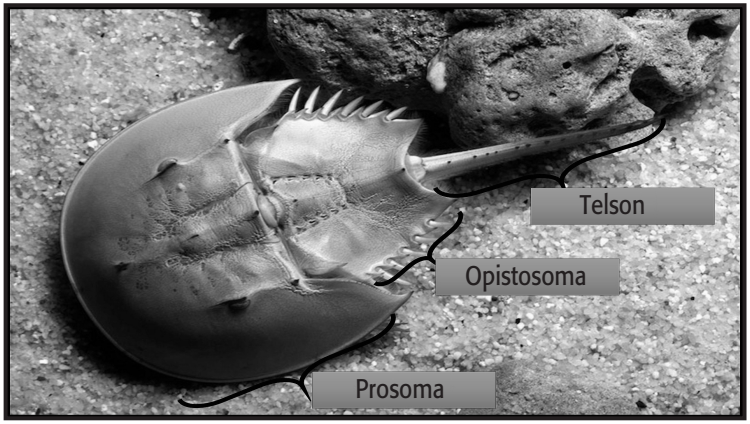


Figura 2.4. ***Limulus polyphemus y partes simples.*** Único representante vivo de la subclase Xiphosura, típica del Cretácico inferior.

Imagen tomada de: (*http://www.sciencevirale.com/la-limule-de-mer-celle-qui-sauve-des-millions-de-vies-chaque-annee/*).

El caparazón del cefalotórax es ligeramente abombado, la parte central forma la glabela, flanqueada por dos mejillas; en la parte anterior presenta dos ojos simples y tras ellos, sobre los lados de la glabela, grandes ojos compuestos. Los apéndices del cefalotórax forman un par de quelíceros y cinco pares de patas locomotoras, el abdomen se prolonga en una larga y aguda espina. Estos organismos se alimentan de algas marinas, pequeños crustáceos y peces muertos; son muy tolerantes a la salinidad **(figura 2.4)**.

Subphylum Myriapoda

Son artrópodos terrestres que raramente se han conservado en estado fósil. Su cuerpo se divide en dos regiones, cabeza y tórax, ambas formadas por numerosos segmentos indiferenciados y provistos de apéndices unirrámeos.

Clase Diplopoda (milpiés). En estos organismos se diferencia, algunas veces, un abdomen. Los representantes de este grupo respiraban mediante tráqueas o a través de toda la superficie del cuerpo; se alimentaban de vegetales **(figura 2.5)**.

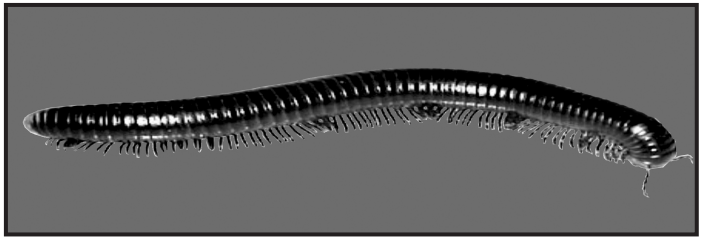


Figura 2.5. ***Narceus americana.*** Especie representativa de la Clase Diplopoda.

Imagen tomada de: (*biodidac.bio.uottawa.ca/thumbnails/filedet.html*).

Clase Chilopoda (ciempiés). Poseen una cabeza achatada dorsalmente, su cuerpo se divide en varios segmentos y cada uno de ellos cuenta con un par de extremidades; son animales terrestres y carnívoros **(figura 2.6)**.



Figura 2.6. ***Scolopendra morsistans.*** Especie representativa de la Clase Chilopoda.

Imagen tomada de: (*http://www.arkive.org/scolopendra/scolopendra-morsitans/image-G138253.html*).

Superclase Hexapoda

Su cuerpo se divide en cabeza, tórax y abdomen; poseen seis extremidades toráxicas y el abdomen carece de ellas.

Clase Paleóptera. Es la clase más numerosa con 12 órdenes (Barnes, 1990) **(figura 2.7).**

Clase Crustácea (cangrejos, gambas y ostrácodos). En esta clase encontramos a los **Ostrácodos:** pequeños crustáceos aplastados lateralmente, cuyo caparazón quitinoso y más o menos calcificado encierra un cuerpo de segmentación poco marcada. Presentan siete pares de mandíbulas sobre la parte cefálica y tres pares de patas sobre el tórax; la concha bivalva, formada por una valva izquierda y una



Figura 2.7. Representante del grupo Paleóptera.

Imagen tomada de: *(www.cunninghamland.com/ photopage.htm)*.

derecha, que no siempre son simétricas, se articula mediante una charnela —diversamente modificada—, situada en una posición dorsal. Para la Paleontología, los **Concostráceos** son otro grupo importante, perteneciente a los braquiópodos; habitan en aguas dulces y excepcionalmente en aguas salobres; presentan una concha bivalva, comprimida lateralmente, que cubre casi por completo el cuerpo y los apéndices, y que por su forma recuerda a la concha de ciertos moluscos.

Los **Cirrípedos** constituyen otra gran subclase de los crustáceos, caracterizada claramente por un hábitat marino; su modo de vida fijo ha determinado considerables modificaciones anatómicas; las larvas, en un primer momento planctónicas, se fijan posteriormente a un soporte y fabrican una concha bivalva y quitinosa. El grupo de los **Malacostráceos** está especialmente representado

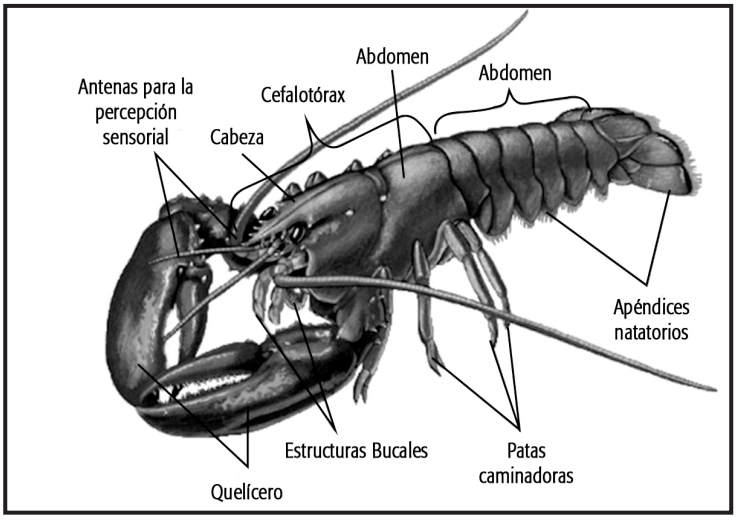


Figura 2.8. Representante de la clase Crustácea.

Imagen tomada de: *(www.mun.ca/biology/ scarr/Arthropoda.htm).*

por los **Filocáridos**, este grupo comparte con los Malacostráceos una serie de características comunes, como son un caparazón bivalvo que protege la cabeza y el tórax; dos ojos compuestos con pedúnculos móviles; cinco pares de apéndices cefálicos, de los cuales el primero lo constituyen las antenas birrámeas; tórax y abdomen netamente separados, con segmentos provistos de pares de apéndices. Los **Eucáridos** son Malacostráceos que —a diferencia de los Filocáridos— poseen un caparazón que cubre todo el cefalotórax. El orden más importante es el de los **Decápodos**, así llamados por poseer varios pares de apéndices locomotores, son generalmente grandes ya que su caparazón alcanza hasta 60 cm **(figura 2.8)**.

Subphylum Trilobitomorpha (trilobites)

Los trilobites **(figura 2.9)** serán estudiados con mayor detalle en los siguientes apartados.



Figura 2.9. Muestra representativa de la Clase Agnostida. Edad: Cámbrico inferior; Localidad: Hermosillo, Sonora. Colectado por Hernández - Láscares, en 1991.

Muestra propiedad de la UAM-I. Imagen tomada de: *(http://trilobiteame.jimdo.com/los-trilobites/morfolog%C3%ADa/cefal%C3%B3n/).*

2. Subphylum Trilobitomorpha*

Este Subphylum es exclusivamente marino y en Paleontología es el más importante. Los organismos pertenecientes al mismo se caracterizan por tener un exoesqueleto quitinoso parcialmente mineralizado; cuerpo dividido longitudinalmente en tres partes: una axial y dos regiones laterales **(figura 2.10)**; en un plano transversal, presentan segmentos agrupados en tres regiones: cefalón, tórax y pigidio **(figura 2.11)**. Su tamaño oscila entre 2 y 10 cm en estado adulto, pero los más pequeños no sobrepasan los 2 mm, y los más grandes alcanzaron hasta 75 cm.

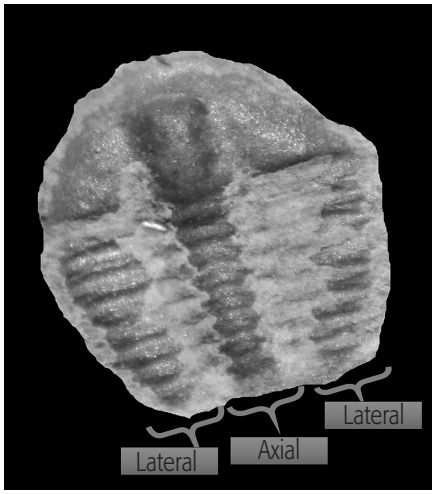


Figura 2.10. Muestra representativa del Subphylum Trilobitomorpha (Pensilvánico). Localidad de Santiago Ixtaltepec, Municipio de Nochixtlán, estado de Oaxaca, México.

Imagen tomada de: *(http://www.bioscripts.net/zoowiki/temas/19B.html).*

* (Cámbrico - Pérmico).

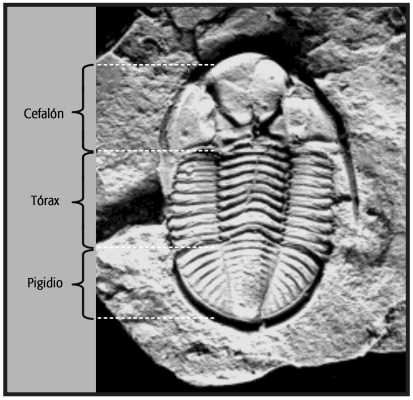


Figura 2.11. Trilobite del Pensilvánico - Pérmico inferior. Localidad Nochixtlán, Oaxaca, México.

Muestra propiedad de la UAM-I

Este Subphylum existió exclusivamente durante la era Paleozoica, desde el Cámbrico inferior hasta el Pérmico medio, y la mayor parte de sus especies vivieron en aguas superficiales. La clasificación de los trilobites se basa en diferentes caracteres: presencia o no de ojos compuestos, estructura de los ojos, número de segmentos torácicos, forma de las pleuras, talla del pigidio y recorrido de estructuras faciales.

Estos organismos aparecen en número considerable y son los fósiles dominantes en las rocas del Cámbrico. Su población alcanzó un máximo en el periodo Ordovícico medio, disminuyendo gradualmente durante el Silúrico y el Devónico; al final de este último quedaban pocas familias. Fueron escasos en el Carbonífero y desaparecieron en el Pérmico (Case, 1982; Zunino y Zullini, 2003).

Actualmente la clasificación de los trilobites plantea ciertos problemas, debido al desconocimiento anatómico de sus partes blandas y de su desarrollo ontogenético desde el estado larvario, además de los frecuentes casos de convergencia morfológica.

3. Morfología de los trilobites

El nombre de trilobites deriva de las tres partes bien diferenciadas que componen su cuerpo: región cefálica (cefalón), región central torácica de numerosos segmentos (tórax) y región caudal (pigidio) (Briggs, Thomas y Furtey, 1985) **(figura 2.12).** Existe también una clara diferenciación tripartita en sentido transversal: un eje central (raquis o lóbulo axial) y, a ambos lados, dos lóbulos pleurales unidos al eje central.

El escudete cefálico (cefalón) es de forma más o menos simple. Esta parte central se llama glabela y puede hallarse dividida por algunos surcos dorsales en sentido transversal. La parte de la glabela situada por delante del primer surco dorsal se llama lóbulo frontal. A cada lado de la glabela están situadas unas áreas planas denominadas mejillas, en ellas se halla el promontorio de los ojos, compuestos por facetas (Briggs *et al*., 1985).

Una fina sutura facial (que arranca del borde anterior y discurre para el lado interno del promontorio ocular) divide la mejilla en una mejilla fija (entre la glabela y el promontorio ocular) y una mejilla lateral, libre. Si la sutura facial alcanza hasta el borde posterior se denomina opistoparia; si se desplaza hacia el borde lateral, se denomina proparia; cuando termina en el ángulo formado por los bordes posterior y lateral, se denomina gonatoparia (Futuyma, 2006). Si el ojo se atrofia desaparece la sutura facial en la parte superior, desplazándose hacia la parte inferior, en cuyo caso se denomina hipoparia.

Para la clasificación e identificación de los trilobites, el trazado de la sutura facial es de gran importancia. El ángulo formado por los bordes lateral y posterior a menudo toma la forma de una púa vuelta hacia atrás, denominada punta genal. Se encuentra siempre un surco paralelo al borde posterior, denominado surco occipital, el cual conecta con el anillo occipital. Los restos fósiles más frecuentes de los trilobites son los escudetes cefálicos aislados. Generalmente les falta la mejilla libre, que se ha desprendido, quedando solo la glabela y la mejilla fija **(figura 2.13)**.

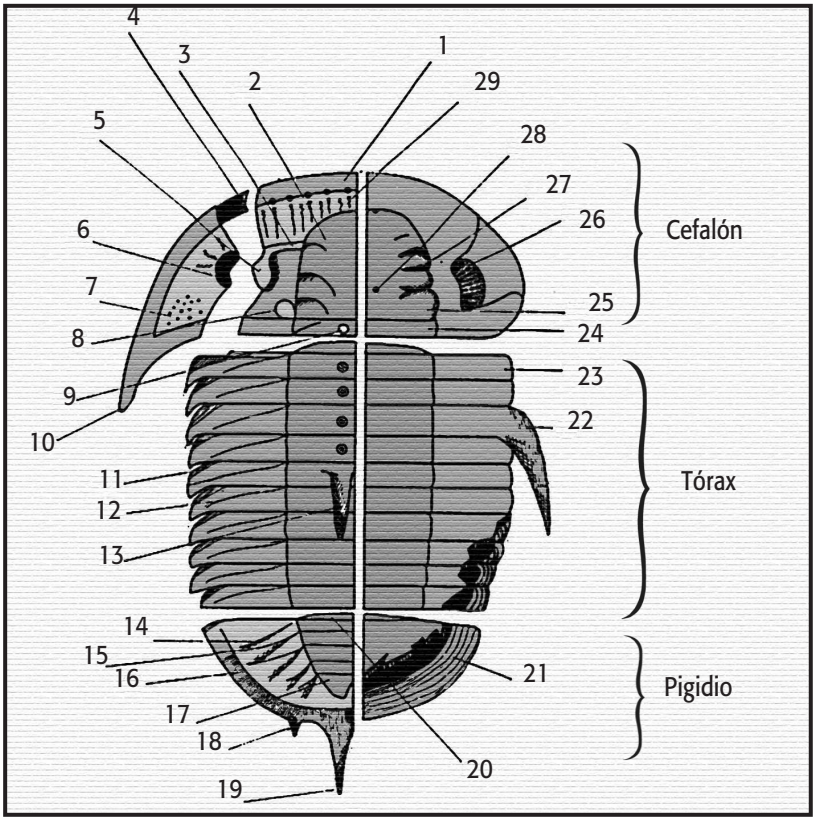


Figura 2.12. Resumen de los rasgos más importantes de un trilobite. 1. Borde del cranidio. **2.** Lóbulo frontal de la glabela. **3.** Borde del ojo. **4.** Doble línea cefálica. **5.** Lóbulo palpebral. **6.** Ojo en el opisthoparion de la sutura facial. **7.** Mejilla libre. **8.** Bácula. **9.** Tubérculo occipital. **10.** Espina genal. **11.** Faceta articulada. **12.** Surco pleural (del segmento toráxico). **13.** Espina axial. **14.** Surco pleural (del campo pleural del pigidio). **15.** Surco interpleural. **16.** Borde del pigidio. **17.** Pieza terminal del eje del pigidio. **18.** Espina marginal. **19.** Espina terminal. **20.** Medio círculo articulado. **21.** Doble línea del pigidio. **22.** Segmento macropleural. **23.** Pleura. **24.** Anillo occipital. **25.** Lóbulo glabelar basal. **26.** Sutura proparion con ojo shizochroal. **27.** Segundo surco lateral glabelar. **28.** Tubérculo glabelar. **29.** Campo preglabelar. (Asociación Paleontológica, 1985).

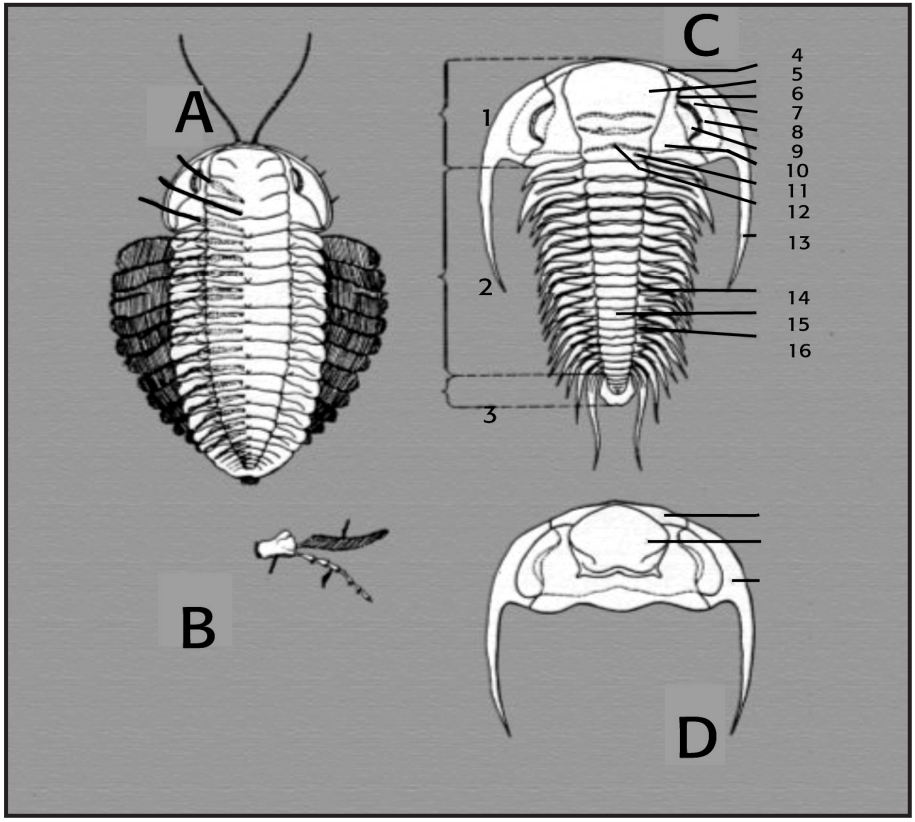


Figura 2.13. Terminología básica de la anatomía de un trilobite. A. Reconstrucción de un trilobite del Cámbrico, especie *Triasthrus eatoni.* **B.** Estructura de apéndices birrámeos: **1.** Coxa, **2.** Exopodito, **3.** Telopodito. C. Morfología del caparazón de la especie *Paradoxis gracilis* en vista dorsal. **D.** Escudo cefálico en vista ventral: **1.** Escudo cefálico (cefalón), **2.** Tórax, **3.** Pigidio, **4.** Borde cefálico, **5.** Glabela, **6.** Sutura yugal, **7.** Mejilla libre, **8.** Ojo, **9.** Lóbulo palpebral, **10.** Mejilla fixígena, **11.** Segmento occipital, **12.** Surco glabelar, **13.** Punta genal, **14.** Surco axial, **15.** Segmento axial, **16.** Pleura, **17.** Rostro, **18.** Hipostoma, **19.** Forro cefalón. (Turek *et al.,* 1989).

Imagen tomada de: *(http://trilobiteame.jimdo.com/los-trilobites/morfolog%C3%ADa/cefal%C3%B3n/).*

La región torácica consta de un número variable de segmentos unidos entre sí, mediante tergitas membranosas. EI surco que delimita lateralmente a la glabela tiene su continuación sobre los segmentos torácicos y delimita la parte central (lóbulo axial o raquis). A ambos lados de este surco la tergita se prolonga en forma de pleuras planas.

EI escudete caudal (pigidio) tiene contorno semicircular o alargado y engloba un número variable de segmentos caudales. EI raquis o lóbulo axial se prolonga en el pigidio, pudiendo alcanzar hasta el borde posterior, o bien, quedar muy recortado. La parte pleural del pigidio, de diversos tamaños, presenta surcos transversales paralelos al borde anterior, doblándose lateralmente hacia atrás y adoptando forma de abanico cuando el raquis es muy corto; puede ser más o menos lisa.

La parte ventral del esqueleto y las extremidades de los trilobites son menos resistentes, de modo que solo en casos excepcionales se han conservado. A cada segmento marcado por una tergita le corresponde un par de extremidades. Cada extremidad consta de un miembro basal (precoxis), del que arranca la extremidad propiamente dicha (telepodito), misma que consta de siete artejos. En el precoxis se encuentra un apéndice de desarrollo variable, que se dirige hacia atrás y cuya función bien pudo haber sido la de branquia.

En la cara ventral del cefalón se implanta una antena flagelar y cuatro pares de extremidades, cuya constitución es la misma que la de los segmentos torácicos. A la cabeza primitiva se le han unido cuatro segmentos anteriores, cuyas extremidades todavía no están adaptadas a la función de órganos bucales. Por lo tanto, sigue existiendo la homonomía primitiva; solo en el esqueleto dorsal se advierte ya la heteronomía. Las extremidades del pigidio son iguales a las del tórax, con la salvedad de que se acortan a medida que ocupan posiciones más atrasadas **(figura 2.14)**. La homonomía de sus extremidades distingue a los trilobites del resto de los artrópodos, en los cuales las extremidades de los segmentos englobados en el cefalón se han convertido en extremidades cefálicas, en aparatos o piezas bucales (mandíbulas y maxilares y, en algunos casos, antenas).

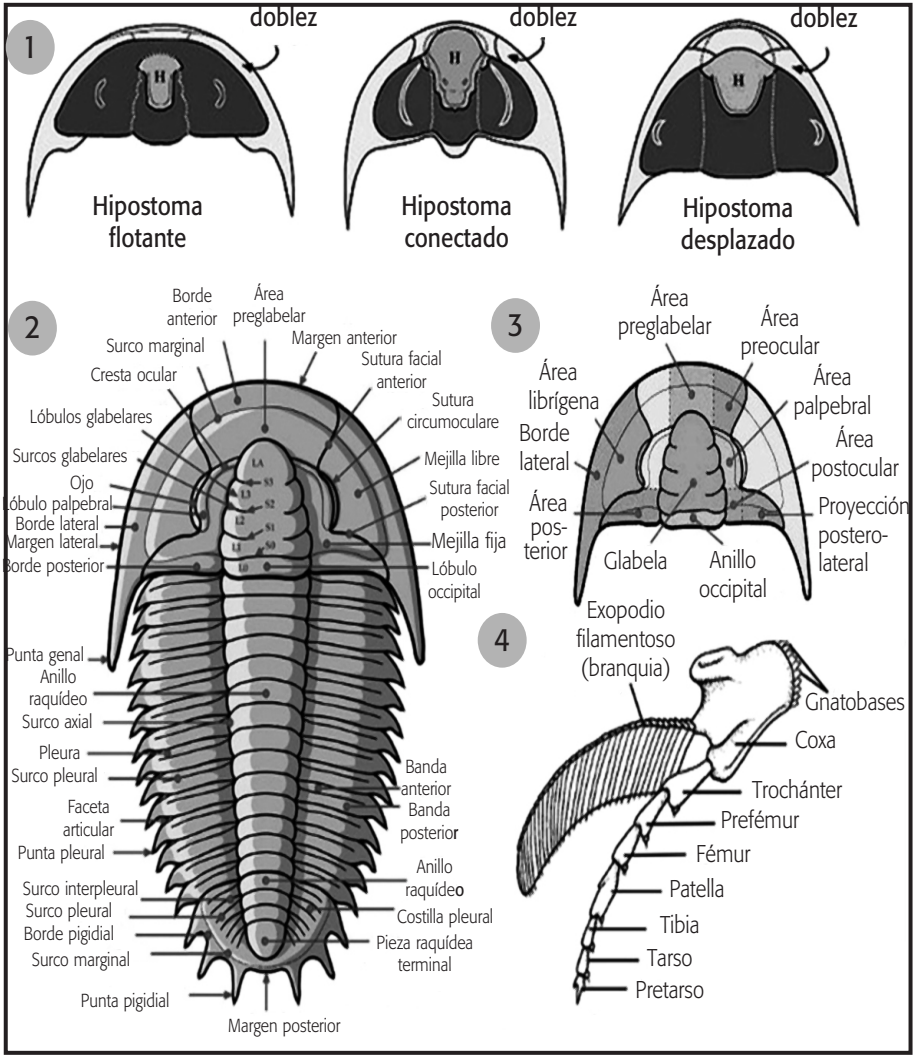


Figura 2.14. A. Esquema de la morfología básica de los trilobites.

Imagen tomada de: *(https://prezi.com/owpxvnhqygq8/copy-of-artropodos/).*

Los trilobites son un grupo de artrópodos que permaneció en uno de los primeros estadios organizativos, lo cual concuerda con su temprana aparición dentro de la historia terrestre y con su propagación en los albores del Arqueozoico.

Como el resto de los artrópodos, los trilobites presentaron varias mudas en el transcurso de su desarrollo ontogenético, lo que multiplica extraordinariamente el número de fósiles en los yacimientos. El primer estadio de crecimiento que se puede estudiar paleontológicamente es la llamada fase *protaspis*, la cual se caracteriza por la formación del primer caparazón, que mide de 0.25 a 1 mm. El estadio *meraspis*, se caracteriza por la aparición de las suturas genales y la separación del pigidio mediante otra sutura; el número de segmentos torácicos aumenta hasta una unidad menos del número característico de la especie considerada. En el estadio *holaspis,* el tórax adquiere su número definitivo de segmentos, y solo se diferencia del adulto por su tamaño y algún detalle ornamental.

Entre los trilobites ocupan una posición peculiar los Agnóstidos, que vivieron del Cámbrico medio hasta el Ordovícico. Estos fósiles se hallan agrupados bajo los siguientes caracteres comunes: dimensiones reducidas, dos o tres segmentos torácicos (trilobites miómeros), cefalón relativamente grande y pigidio muy semejante a él. Los verdaderos Agnóstidos carecen de suturas faciales, hipostoma y ojos dorsales, por lo que es probable que fueran ciegos (sin descartar la idea de que poseyeran ojos ventrales). Son fósiles que se encuentran con frecuencia y cada vez son más utilizados en estratigrafía. Se piensa que vivían formando parte del plancton y que, posados sobre algas, pudieron ser arrastrados por corrientes marinas a grandes distancias. La forma aplastada del cuerpo quizás sea una adaptación a un modo de vida epiparásita.

4. Modificaciones adaptativas

Los trilobites tuvieron la misma importancia en la fauna de los mares paleozoicos que los crustáceos en los mares modernos y, como ellos, los trilobites pudieron introducirse en resquicios y rincones muy diferentes de su medio marino, adaptándose debidamente a sus hábitats respectivos. En general, son raros en las rocas ásperas y en los depósitos planctónicos, pero son más frecuentes en los estratos arcillosos y calizos. Algunas de las características en que los especímenes modificados adaptativamente —como el *Triarthrus*— diferían del tipo normal, son muy semejantes a las que presentan artrópodos existentes de hábitos más o menos conocidos. Esto nos da una buena clave interpretativa de las condiciones de vida de tales formas extintas.

Los trilobites en México son muy escasos. Hasta el momento se han reportado oficialmente en determinados estados de la República: en la región de Caborca y Hermosillo, Sonora, de edad cámbrica; en la región de Santiago Ixtaltepec, Oaxaca, de edad Cámbrico-Ordovícico y del Carbonífero superior (Pensilvánico); y en el estado de Hidalgo. Es posible que existan otras localidades, pero aún no se conocen sus estudios. Por consiguiente, las posibilidades de encontrar nuevas localidades son muy reducidas. Esto se debe a que el Paleozoico en México —y particularmente el Paleozoico inferior— aflora de manera muy escasa.

Durante el cierre del Ordovícico, el grupo perdió una gran cantidad de especies, surgiendo grupos nuevos y diferentes que prosperaron en esta época. El inicio de su declinación se dio en el Silúrico superior, con un periodo de crisis en el Devónico y Carbonífero.

5. Extinción de los trilobites

Los trilobites son uno de los grupos de invertebrados fósiles más importantes para la Paleontología. Durante el periodo Cámbrico constituyeron el 60% de la

fauna marina. Aunque excesivamente raros en las rocas del Precámbrico, estos fósiles son abundantes en la base del Cámbrico, revelando una vida altamente variada, como si una cortina se hubiera levantado mostrando un drama que hacía mucho había comenzado. Gracias a su abundancia, diversidad, distribución mundial y por estar fijados en un tiempo específico, al Paleozoico le correspondió el nombre de la Era de los Trilobites.

Sin duda alguna una de las primeras extinciones de los trilobites ocurrió en la etapa de transición entre el Cámbrico y el Ordovícico **(figuras 2.15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22)**, fenómeno que se presenta precisamente cuando aparecen casi todos los invertebrados (Equinodermos, Briozoarios, Braquiópodos, Moluscos, Graptolitos). Entre las causas que pueden explicar la extinción de los primeros trilobites, se pueden contar las variaciones de temperatura, salinidad, cambios en el nivel del mar, la actividad volcánica y —según los últimos estudios realizados por la investigadora Danita Brandt—, "el fin de los trilobites está sujeto a su especialización en la manera de mudar de coraza calcárea" **(figuras 2.23 y 24).**

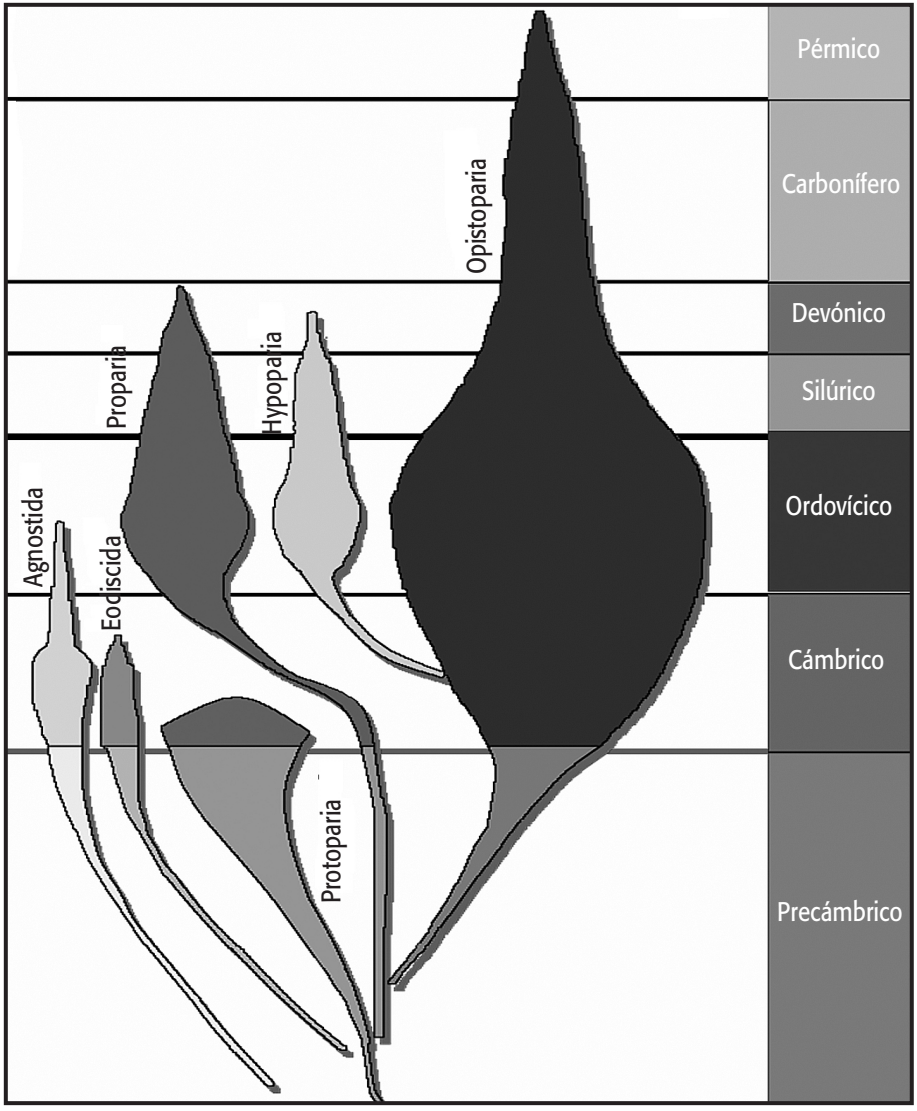


Figura 2.15. Alcances estratigráficos de los trilobites. (Moore, Lalicker y Fischer, 1952).

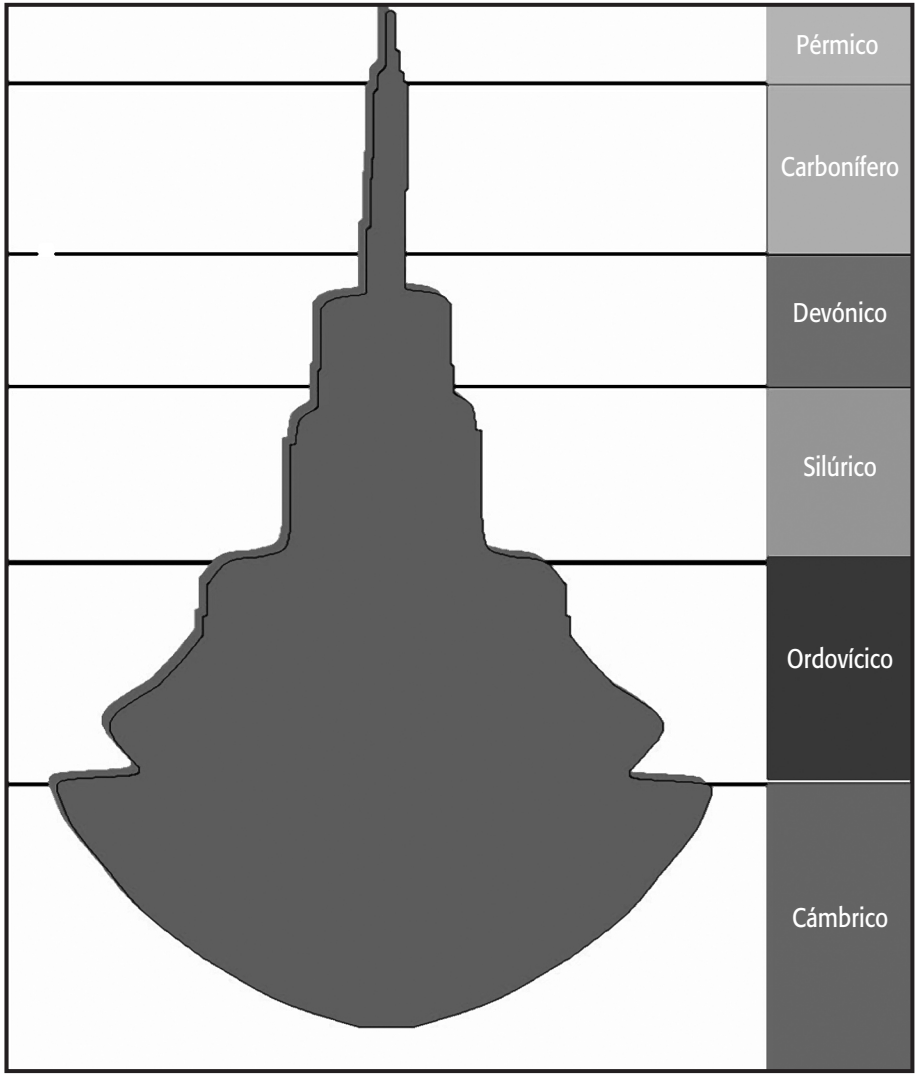


Figura 2.16. Diversidad de familias de los trilobites a través del tiempo.
(Asociación Paleontológica, 1985).

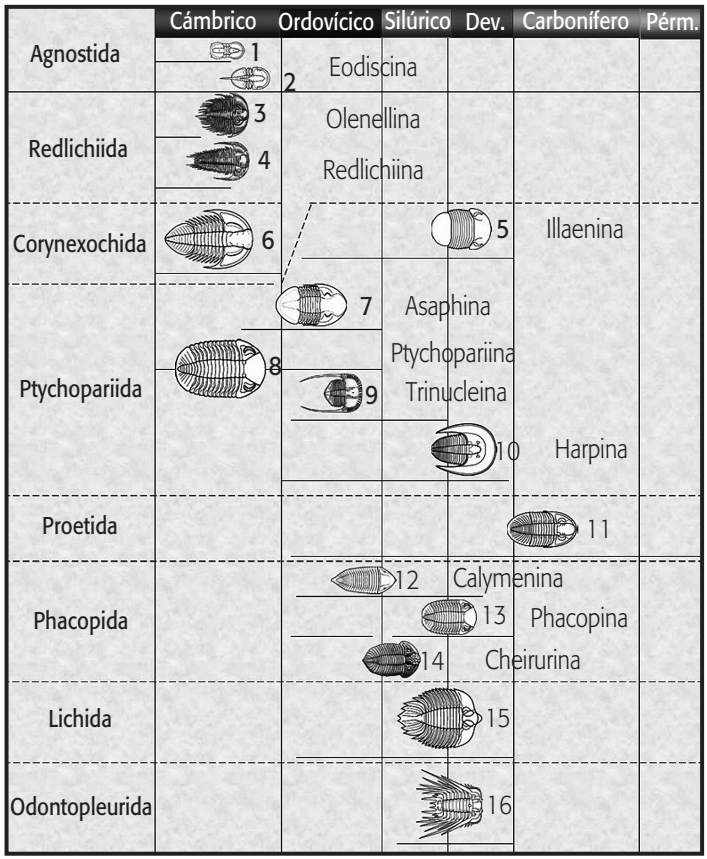


Figura 2.17. Duración de los órdenes y subórdenes de los trilobites. Los géneros ilustrados son: **1.** *Eodiscus* [Cam. medio (M)]; **2.** *Homagnostus* (Cam. superior tar.); **3.** *Paedumias* (Cam. tem.); **4.** *Paradoxides* (Cam. M.); **5.** *Scutellum* (Dev. tem.); **6.** *Kootenia* (Cam. M.); **7.** *Asaphellus* (Cam. sup. / Ord.); **8.** *Olenus* (Cam. tem.); **9.** *Cryptolithus* (Ord.); **10.** *Harpes* (Dev. M.); **11.** *Weberis* (Carb. tem.); **12.** *Calymene* (Sil. / Dev.); **13.** *Acaste* (Sil.); **14.** *Cheirurus* (Ord. tar. / Sil.); **15.** *Trochurus* (Ord. tar. / Sil. M.); **16.** *Dicranur.* (Dev. tem.).

Imágenes tomadas de: *(http://www.trilobites.info/eyes.htm, www.es.mq.edu y http://www.palaeos.com).*

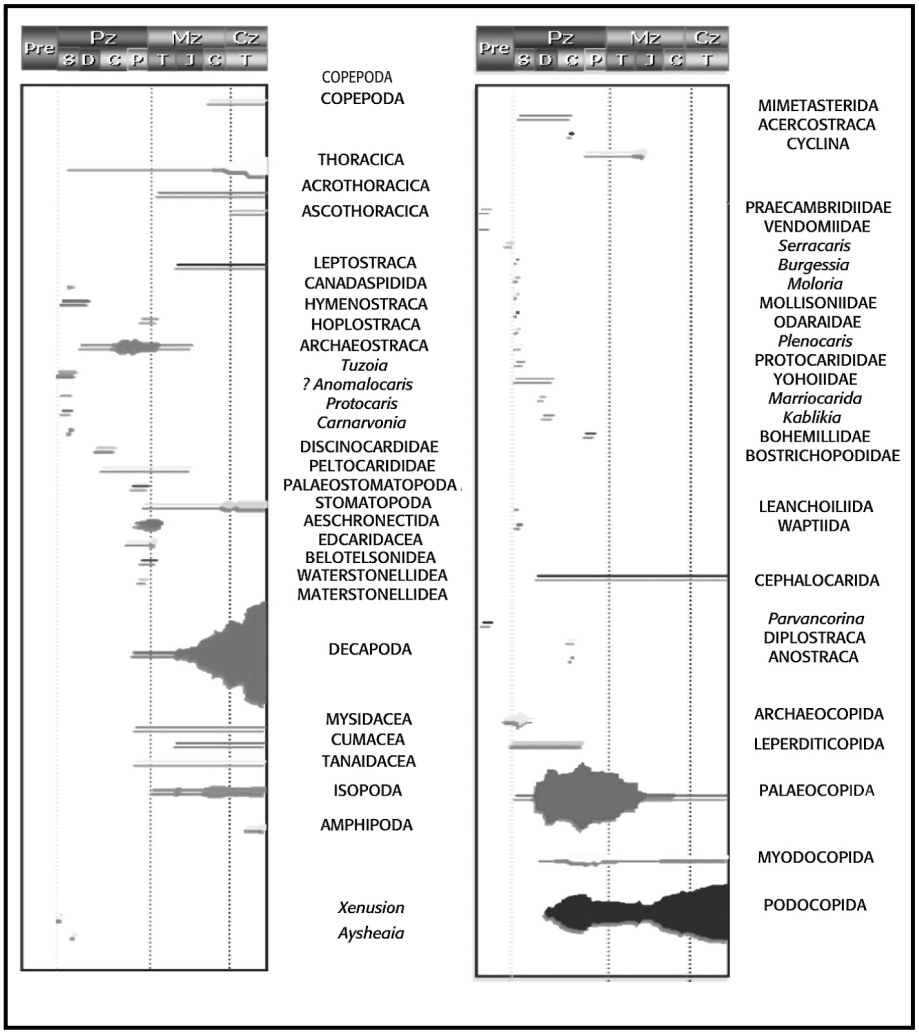


Figura 2.18. Familias incluidas en órdenes de Artrópodos fósiles marinos. Pre = Precámbrico; Pz = Paleozoico; Mz = Mesozoico; Cz = Cenozoico; S = Silúrico; D = Devónico; C = Carbonífero; P = Pérmico; T = Triásico; J = Jurásico; C = Cretácico; T = Terciario (Sepkoski, 1985).

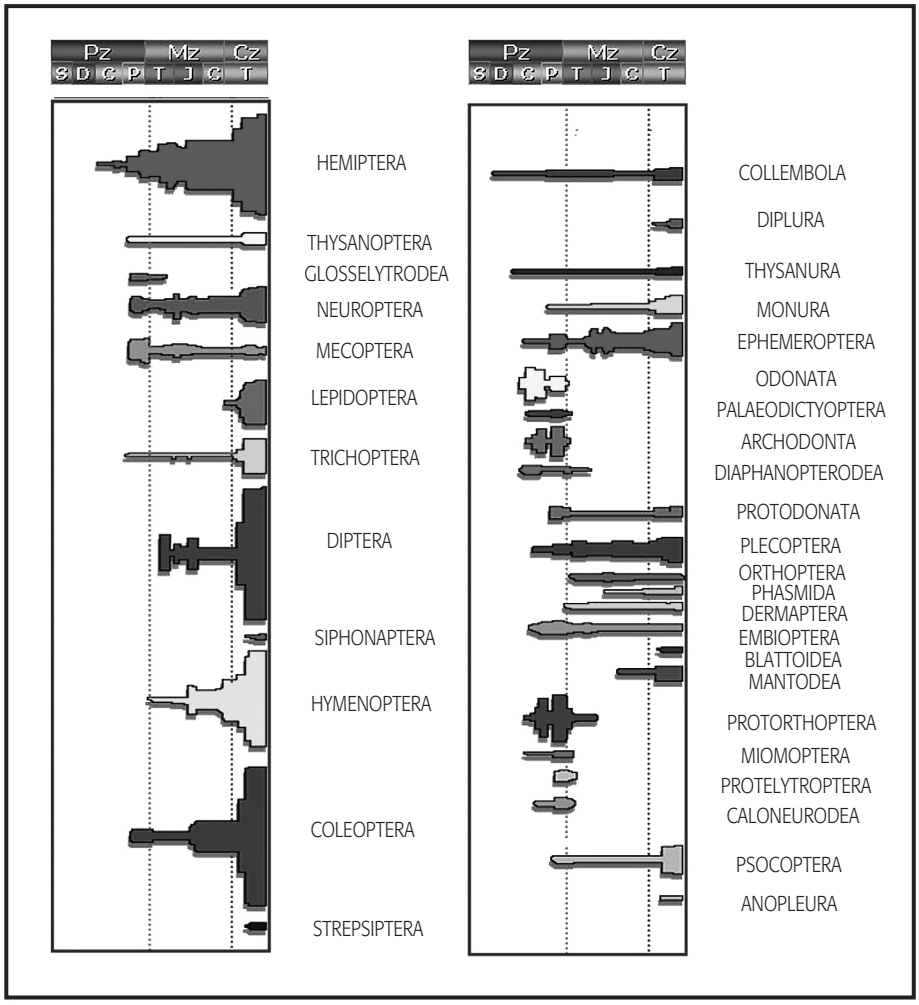


Figura 2.19. Familias incluidas en órdenes de Artrópodos fósiles no marinos. Pre = Precámbrico; Pz = Paleozoico; Mz = Mesozoico; Cz = Cenozoico; S = Silúrico; D = Devónico; C = Carbonífero; P = Pérmico; T = Triásico; J = Jurásico; C = Cretácico T = Terciario. (Sepkoski, 1985).

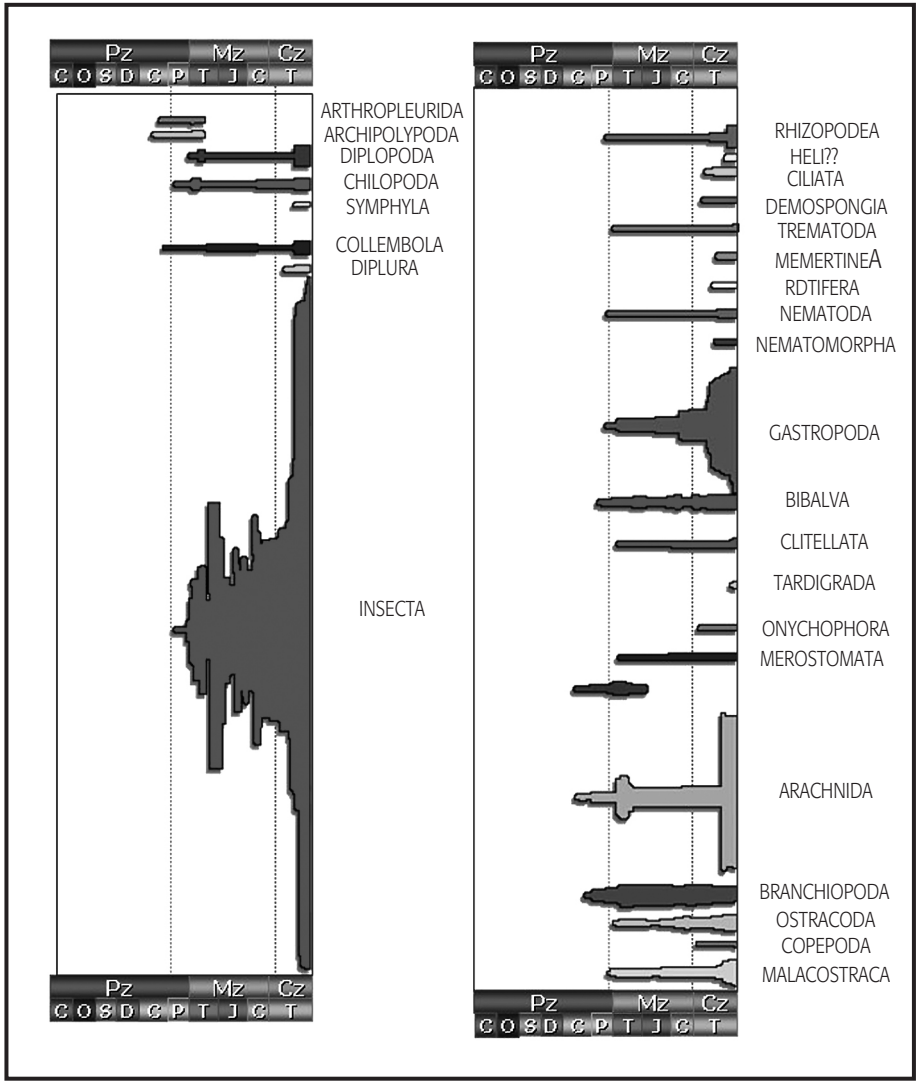


Figura 2.20. El registro fósil continental. (Sepkoski, 1985).

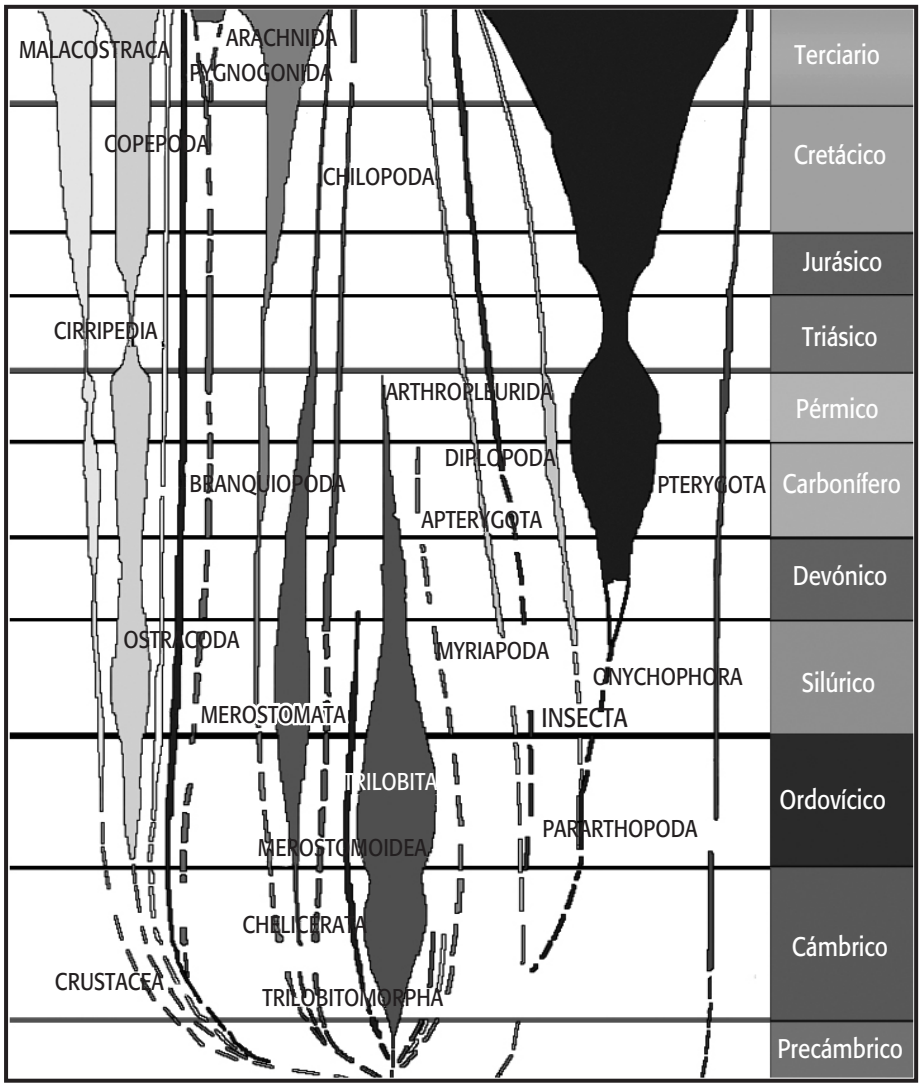


Figura 2.21. Distribución de los Artrópodos. (Moore *et al.,* 1952).

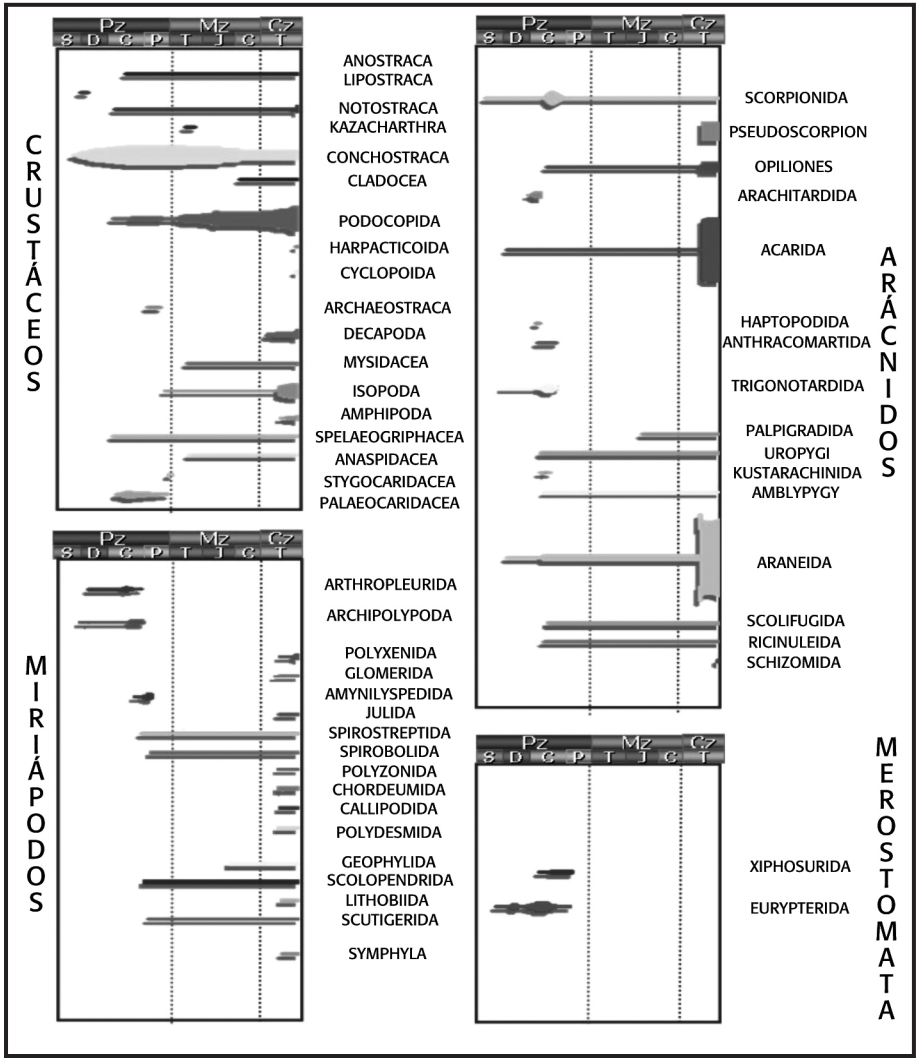


Figura 2.22. El registro fósil continental de los Artrópodos (Familias).
(Sepkoski, 1985).

Eras	Periodos		Tiempo (m. a.)	Eventos
Cenozoica	Cuaternario	Holoceno	Hasta el presente	Las plantas con flores dominan la Tierra. Los Andes Colombinos alcanzan su altura actual. Ocurren las glaciaciones. Aparecen simios antropoides y el hombre.
		Pleistoceno	1.8	
	Terciario	Plioceno	6.5	Mayor complejidad y especialización de las plantas con flores (angiospermas). Se diversifican ampliamente los mamíferos. Surgen los primeros primates.
		Mioceno		
		Oligoceno		
		Eoceno		
		Paleoceno		
Mesozoica	Cretácico		144	**Extinción en masa: Fin de los dinosaurios**
				Aumenta en gran proporción la diversidad en grupos como: angiospermas, mamíferos y aves.
	Jurásico		206	Aumenta la diversidad de dinosaurios. Aparecen las primeras aves.
	Triásico		251	Surgen los primeros dinosaurios. Las gimnospermas dominan la Tierra. Aparecen los primeros mamíferos.
Paleozoica	Pérmico		290	**Extinción en masa**
				Los continentes se unen y forman una sola masa de tierra llamada PANGEA. El clima en toda la Tierra es cálido y húmedo. Formación de arrecifes coralinos.
	Carbonífero		355	Licopodios gigantes. Formación del carbón y el petróleo. Los anfibios se diversifican ampliamente. Surgen los primeros reptiles.

Eras	Periodos	Tiempo (m. a.)	Eventos
Paleozoica			**Extinción en masa**
	Devónico	409	Aparecen los primeros licopodios y helechos. Surgen los ammonites, los anfibios y las plantas con semillas.
	Silúrico	439	Primeras plantas terrestres. Hepáticas y musgos. Aparecen los insectos y las arañas. Surgen los primeros peces en los mares.
			Extinción en masa
	Ordovícico	450	Radiación de incontables formas de equinodemos.
	Cámbrico	540	Aparecen múltiples formas de animales marinos y algas.

Figura 2.23. Eras geológicas y extinción en masa.

Información tomada de: *(http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=310).*

EXTINCIONES			
No.	**Periodo**	**m. a.**	***spp*. afectadas**
Primera	Ordovícico	445	Braquiópodos, trilobites y corales
Segunda	Devónico	365	Arrecifes, braquiópodos y ammonites
Tercera	Pérmico	251	95 % de las *sp.* en la Tierra
Cuarta	Cretácico	65	Dinosaurios, ammonites y rudistas
Quinta	Pleistoceno	11 y 10	Mastodontes, mamuts, tigre dientes de sable, perezosos terrestres y gliptodontes.

Figura 2.24. Extinciones.

Capítulo 3

Phylum Brachiopoda (Cámbrico - Reciente)

El grupo de los lofoforados incluye a tres diferentes Phyla, uno de ellos es el llamado Brachiopoda, que aparece en el periodo Cámbrico. Estos organismos poseen una estructura tentacular ciliada, denominada lofóforo, y cada tentáculo contiene una extensión del celoma. Al igual que los Bivalvos, presentan una concha formada por dos mitades, motivo por el cual Linneo primitivamente los había clasificado juntos. Sin embargo, a mediados del siglo XIX, este Phylum fue separado de los Moluscos.

Los braquiópodos son organismos estrictamente marinos, ampliamente distribuidos y abundantes en los arrecifes (Turek, Marek y Benes, 1989). Las formas modernas se encuentran por todo el mundo en aguas cálidas y templadas; la mayoría habita en la zona nerítica y muy pocas especies se encuentran a profundidades superiores al borde de la plataforma continental. Casi todas las especies viven adheridas a rocas o a otros sustratos firmes, pero algunas formas —como *Lingula*— pasan su existencia en galerías verticales excavadas en la arena y lodo de las profundidades.

En la actualidad existen aproximadamente 280 especies de braquiópodos vivos, una mínima parte de las 30 000 especies fósiles descritas que florecieron en los mares de las eras Paleozoica y Mesozoica.

Las conchas de los braquiópodos están divididas por un plano de simetría (bilateral) que divide cada una de las valvas, las cuales crecen del extremo corporal posterior hacia adelante, como valvas dorsal y ventral (Cocks, 1985) **(figura 3.1).** La primera es conocida como valva del pedúnculo, ya que éste suele salir por ella; la valva dorsal es la braquial y toma su nombre del aparato braquial: prolongaciones en forma de brazos que forman el lofóforo **(figura 3.2).**

Como ya se mencionó, los braquiópodos poseen una concha externa de dos valvas (dorsal y ventral), que según la posición en que se encuentran recuerdan las antiguas lámparas de aceite romanas. En un extremo hay un agujero por el que sale, durante la vida del animal, un pedúnculo carnoso que le sirve para fijarse sobre algún objeto del fondo del mar **(figura 3.4)**. Este agujero recuerda

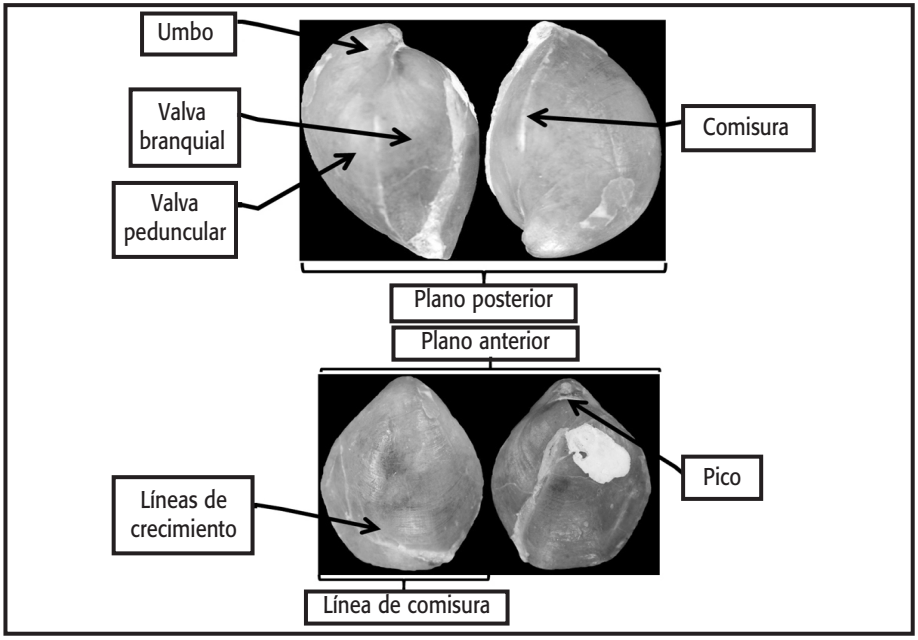


Figura 3.1. Rasgos externos generalizados de un braquiópodo en todas las posiciones y partes simples.

Imagen tomada de: *(http://www.fossilmall.com/Science/Sites/Chengjiang/Lingulella/Lingulellab.html).*

también el orificio por donde sale la mecha en las lámparas de aceite, de lo cual deriva el término vulgar inglés *lamp - shell* (concha - lámpara) con que se denomina a estos individuos.

Los cambios de esta abertura durante la evolución de los braquiópodos han sido una base muy útil para su clasificación. En los Arremata, como su nombre lo indica, no existe esta abertura. En cambio, en los Telotremata alcanza su más perfecto desarrollo. La anatomía del animal es bastante sencilla y, además, sus principales características pueden inferirse haciendo un detenido estudio y com-

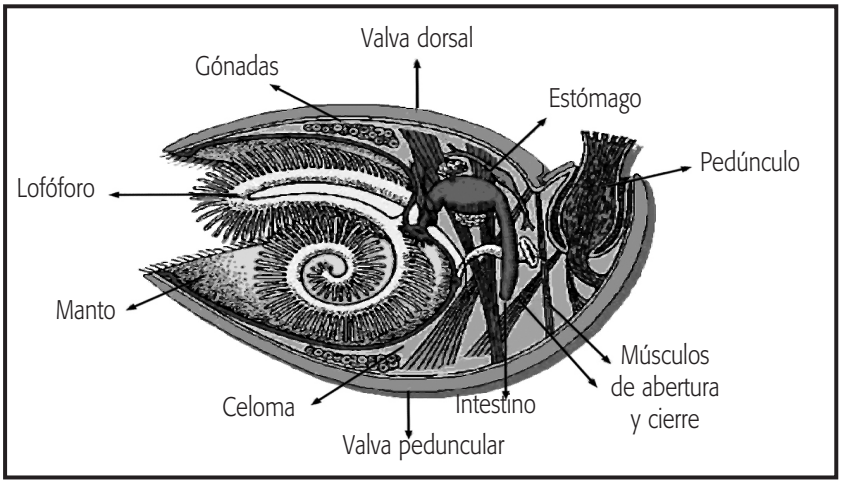


Figura 3.2. Esquema anatómico de un braquiópodo (articulado) en sección longitudinal.

Imagen tomada de: *(http://www.palaeos.com)*.

paración del desarrollo de dos representantes vivos actuales: *Terebratulina* y *Lingula*, pertenecientes a los órdenes Telotremata y Atremata, respectivamente.

Durante el crecimiento del individuo se van agregando sucesivas capas en la concha, las cuales se distinguen en la superficie exterior por medio de finas líneas concéntricas (líneas de crecimiento). A través de ellas, puede apreciarse que la concha crece mucho más rápido por su borde anterior y que se deposita muy poco material adicional en su parte posterior. El centro común de las curvas se halla cerca del margen posterior —o en éste— y se denomina umbo **(figura 3.3).** El de la valva ventral es mucho más grande que el de la dorsal **(figura 3.2)**.

Entre el umbo y el borde posterior de la valva, el crecimiento de la concha experimenta una reversión de atrás hacia delante, ocasionando que esta porción del margen se doble hacia la cavidad de la concha. Esta porción plegada recibe

los nombres de palintropo, interárea o área cardinal, y es mucho más extensa en la valva ventral que en la dorsal.

Durante el crecimiento aparece una muesca triangular, el *delthyrium*, en el palintropo ventral y a través de ella pasa el pedúnculo. Las conchas que muestran tal característica se llaman mixoperiféricas. Al principio, el pedúnculo es grande en relación con el animal completo y ocupa todo el delthyrium, pero al continuar el crecimiento no guarda relación con el resto del cuerpo, viniendo a ocupar un espacio deltirial cada vez menor. Este espacio está cubierto por las llamadas placas deltidiales.

El foramen peduncular es ovalado en un principio, pero con el crecimiento posterior de las láminas o placas deltidiales, y la extensión de la línea de unión de ambas, se hace algo más pequeño y de forma circular.

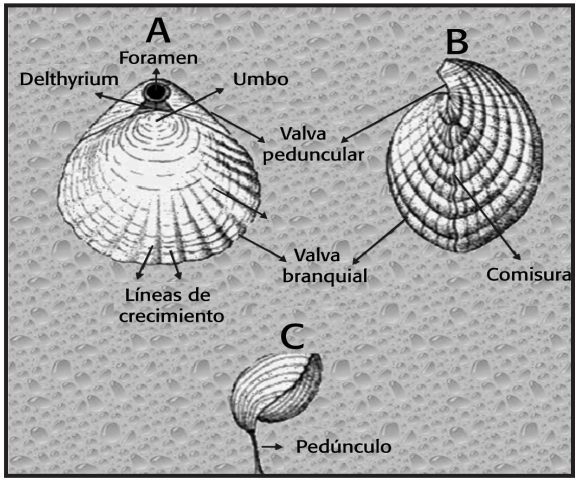


Figura 3.3. Anatomía de la especie *Magellania flavescens:* A. Valva dorsal en su parte externa. **B.** Vista lateral. **C.** Posición en vida del pedúnculo adherido.

Imagen tomada de: *(www.uc.pt/fossil/pags/fbm_braquipode.dwt).*

En las dos puntas en que las valvas están en contacto a cada lado del delthyrium **(figura 3.3A)**, crecen desde el borde de la valva central un par de excrescencias llamadas dientes que penetran en unas fosillas de la valva dorsal. Así se produce una charnela o gozne, por lo cual la línea que pasa por estas dos puntas se denomina "línea de charnela". Entre las antedichas fosillas, se desarrolla una excrescencia maciza, la cual crece y penetra en la cavidad de la concha y recibe el nombre de saliente cardinal. En la concha adulta, al borde interior de las fosillas, se adhiere una especie de montura calcárea que soporta la base del lofóforo y es llamada brachidium **(figura 3.4B).**

El animal está provisto de dos juegos de músculos. Uno mueve el pedúnculo, permitiendo al individuo cambiar de posición dentro del radio de alcance de este órgano. El otro juego de músculos abre y cierra las valvas. Están adheridos a la superficie interna de la concha y dejan huellas que pueden apreciarse en los fósiles y utilizarse para fines de sistematización y clasificación.

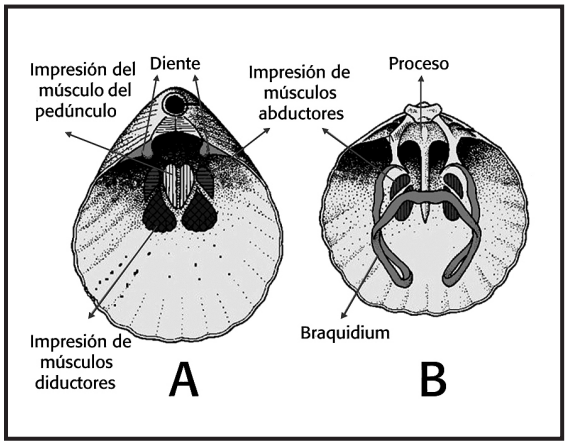


Figura 3.4. Anatomía de un braquiópodo. A. Vista interna de la valva peduncular. **B.** Valva dorsal.

Imagen tomada de: *(www.uc.pt/fossil/pags/fbm_braquipode.dwt).*

Las dos valvas se articulan entre sí a lo largo de la línea posterior de contacto, llamada línea de charnela, y la naturaleza de la articulación constituye la base para dividir el Phylum en dos Clases: **Articulata** e **Inarticulata.**

1. Clase Inarticulata*

Esta clase apareció desde la base del Cámbrico, con organismos poco evolucionados que poseían valvas quitinofosfatadas unidas por músculos. El lofóforo está sostenido por un braquioesqueleto y el tubo digestivo termina en un orificio anal. El género más representativo de esta clase es *Lingulida (Lingulidae)*, que aparece en el Ordovícico. Algunas especies actuales presentan muchas semejanzas con este género. Son animales marinos litorales y sublitorales, que viven principalmente en sedimentos arenosos dentro de profundos conductos verticales, su anclaje se da mediante un largo pedúnculo retráctil (Turek *et al*., 1989).

Los organismos de esta clase carecen tanto de charnela entre sus valvas, que tienen una forma muy similar, como de esqueleto branquial. Los Braquiópodos inarticulados se dividen en dos órdenes: Atrematha y Neotrematha.

Orden Atremados

El pedúnculo sale por entre los bordes posteriores de ambas valvas, es largo y móvil. La concha es quitinofosfática.

Actualmente dentro de este Orden encontramos a *Lingula* (Ordovícico - actual), que presenta una silueta ovalada, las valvas un poco arqueadas y semejantes entre sí. Estos especímenes viven en zonas litorales con sedimentos arcillo-arenosos. EI pedúnculo, largo y grueso, se halla anclado profundamente dentro del sedimento.

* (Cámbrico - Reciente).

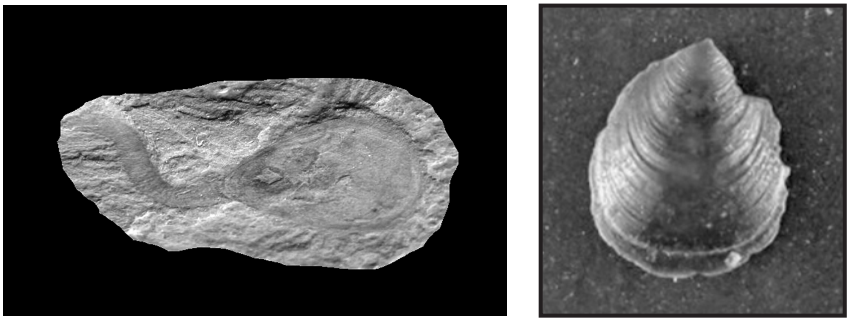


Figura 3.5. *Lingulella rosa,* género representativo del Orden Atremada (Cámbrico - Ordovícico).

Imagen tomada de: (*http://fossiilid.info/1938*).

Lingulella (Cámbrico - Ordovícico) **(figura 3.5)**. Este género se diferencia por una región umbal algo puntiaguda y por presentar en la valva peduncular un surco plano, junto al borde posterior para la salida del pedúnculo.

Obulus (Cámbrico - Ordovícico inferior). Este braquiópodo posee una silueta circular u ovalada. La concha es quitinosa o calcárea. El borde posterior de la valva peduncular resalta por encima de la valva branquial hacia atrás, presentando un surco para el pedúnculo.

Orden Neotremados

La valva peduncular se apoya sobre el fondo del sustrato y presenta un orificio para el pedúnculo que se sitúa directamente delante del umbo. La concha crece a partir de este último en todas direcciones, por lo cual logra una silueta más o menos circular, quedando el umbo en el centro. Lo mismo se dice para la valva superior o branquial.

2. Clase Articulata*

Al igual que los inarticulados, esta clase posee formas muy evolucionadas, pese a su aparición a principios del Paleozoico. Los organismos articulados experimentaron un gran desarrollo en el periodo Devónico, pero en la actualidad son un grupo muy reducido con respecto a la demás fauna marina **(figura 3.6).**

Estos animales carecen de ano, sus valvas —compuestas de carbonato de calcio con quitina o escleroproteína— son muy distintas entre sí y están unidas por una charnela. Algunas especies de esta clase carecen de pedúnculo. Los bordes posteriores de las dos valvas encajan para formar un borde cardinal, que en los grupos más primitivos era rectilíneo y posteriormente se acortó y arqueó.

Los bordes posteriores de las valvas se articulan entre sí, por lo cual en la región umbal de la valva peduncular existe un orificio triangular de donde sale el pedúnculo; este orificio, denominado deltirio, se ensancha en el sentido que va desde el umbo hacia el borde cardinal. En los grupos más evolucionados se va redondeando por las placas calcáreas que se forman a partir de los bordes, con lo cual el deltirio termina siendo un orificio redondo. Las placas calcáreas que reducen el orificio se denominan deltidiales.

Para la clasificación de estas especies son importantes: el tipo y forma de las placas, la posición y el tamaño del orificio peduncular, detalles que solo son apreciables si se conserva bien el fósil.

A cada lado del deltirio se presenta un diente cardinal, que encaja con una foseta del borde cardinal de la valva branquial; entre las fosetas hay un proceso cardinal dirigido hacia atrás.

EI músculo aductor se inserta en la valva peduncular en posición central. Al extenderse a la valva branquial se bifurca, insertándose por tanto en dos impre-

* (Cámbrico - Reciente).

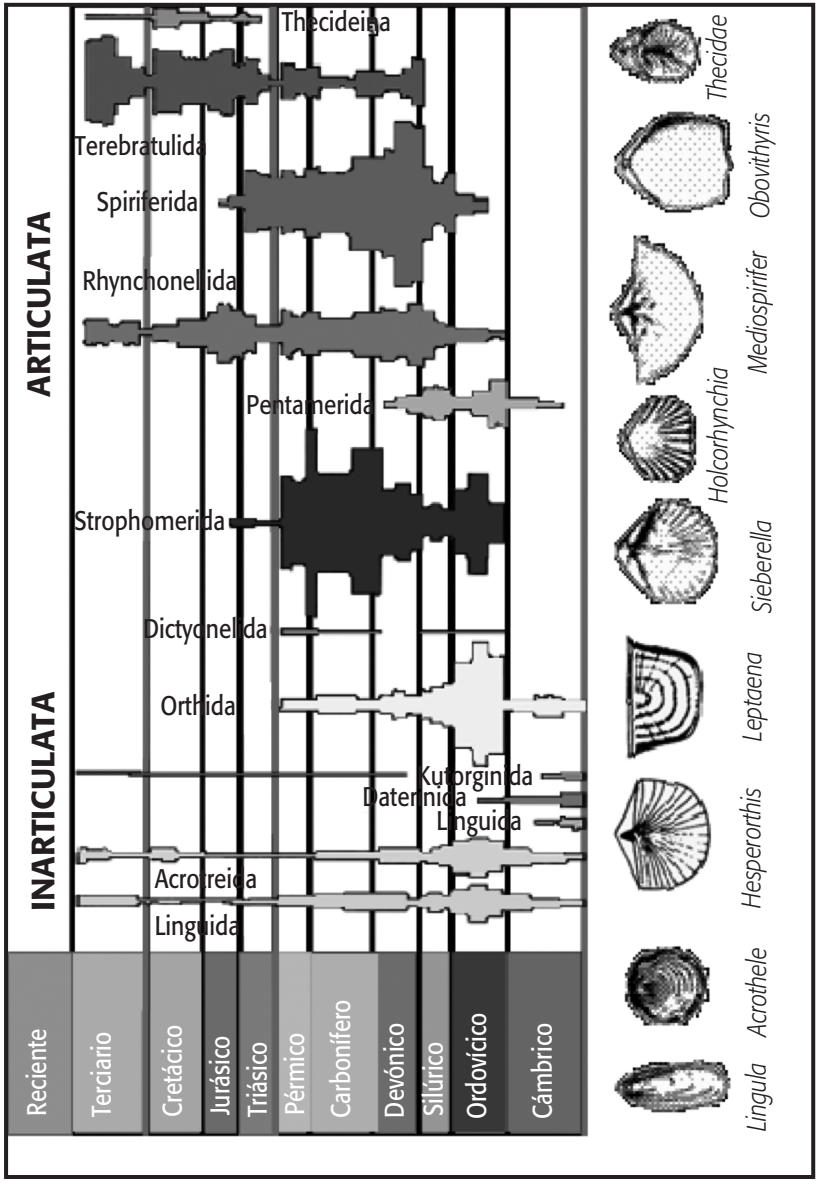


Figura 3.6. Alcance estratigráfico y abundancia de órdenes de Braquiópodos, con géneros representativos ilustrados. (Asociación Paleontología 1985).

siones musculares. EI músculo diductor arranca del proceso cardinal y se desplaza sesgado hacia adelante, hacia la valva peduncular, bifurcándose en dos ramas que se sitúan a ambos lados del músculo aductor. Por lo tanto, en el interior de la valva peduncular se observan tres impresiones musculares: una central del músculo aductor y dos laterales del músculo diductor. Junto al borde cardinal de la valva branquial se inserta el esqueleto branquial.

En la clasificación de esta clase se toman en cuenta las siguientes características: el lofóforo, pedúnculo y tipo de concha (línea de charnela, braquioesqueleto, posición del foramen, configuración del esqueleto branquial, comisuras), entre otras.

Dentro de los braquiópodos articulados, el Orden Orthida fue el primero que hizo su aparición en el Cámbrico, extinguiéndose durante el Pérmico inferior. En este grupo las conchas son ligeramente convexas, con finas costillas radiales y una charnela muy amplia. Después de los Orthida, los Pentamerida constituyen el orden más antiguo de braquiópodos articulados. Su distribución estratigráfica comprende desde el Cámbrico medio hasta el Pérmico superior. Sus conchas suelen ser fuertemente convexas y la charnela corta. Es muy característico de los Pentamerida, el spondyfum, formación esquelética en relación con los músculos, que se halla en la parte posterior de la valva ventral.

EI grupo de los *Rhynchonelida* **(figura 3.7)** se remonta al Ordovícico, pero a diferencia de los grupos paleozoicos descritos, perdura hasta la actualidad **(figura 3.4)**. La descripción taxonómica es: organismo con concha biconvexa de pequeña talla, de perfil redondo a triangular con anchura aproximadamente igual a la longitud del organismo. La parte posterior (umbo) es gibosa en ambas valvas (más observable en la valva peduncular), y la parte frontal normalmente es aguda. EI borde cardinal es corto y arqueado. EI deltirio es obstruido por el deltidio solo en parte, de tal manera que debajo del umbo queda libre un foramen moderadamente grande y redondo.

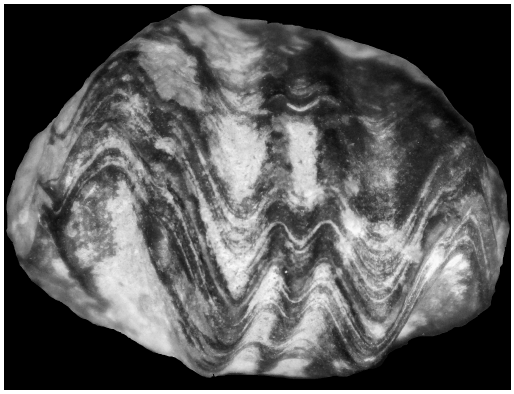


Figura 3.7. *Rynchonellida*. Género que da nombre al grupo de los rinconélidos (Ordovícico).

Imagen tomada de: *(www.fossils-japan.com/Rhynchonellida.htm)*.

La ornamentación de las valvas consiste básicamente en costillas muy marcadas. Por ello, presentan costillas radiales notorias, formadas por pliegues radiales alternos en ambas valvas, lo cual provoca que el borde frontal tenga forma zigzagueante. La forma generalizada de la concha tiene relativamente pocas variaciones. Las distintas especies se diferencian por las características de su charnela (cruras, septos medianos), que son apreciables solo si se dispone de mucha experiencia.

Lamellaerhynchia cf. Renauxiana es un braquiópodo rinconélido del Cretácico inferior, hallado en la parte superior de la Formación San Juan Raya (Aptiano), estado de Puebla, México. Esta especie mexicana también se reporta en rocas del Valanginiano, Hauteriviano y Barremiano en América del Norte y Europa Occidental (Hernández-Láscares y Galván, 1990). Su distribución estratigráfica es muy amplia.

3. Alcance estratigráfico

Los braquiópodos tuvieron su aparición en el Cámbrico inferior, siendo los más comunes los de la clase Inarticulata. Su radiación fue exitosa debido a su buena adaptación a los entornos marinos. Durante el Paleozoico inferior (Ordovícico), se produjo un incremento importante en su población, cuyo mayor apogeo se dio en los periodos Silúrico y Devónico de la Era Paleozoica. En el Paleozoico superior, la población se redujo gradualmente y se vio muy mermada durante la extinción del Pérmico. En la actualidad estas especies son muy escasas **(figuras 3.8 y 3.9).**

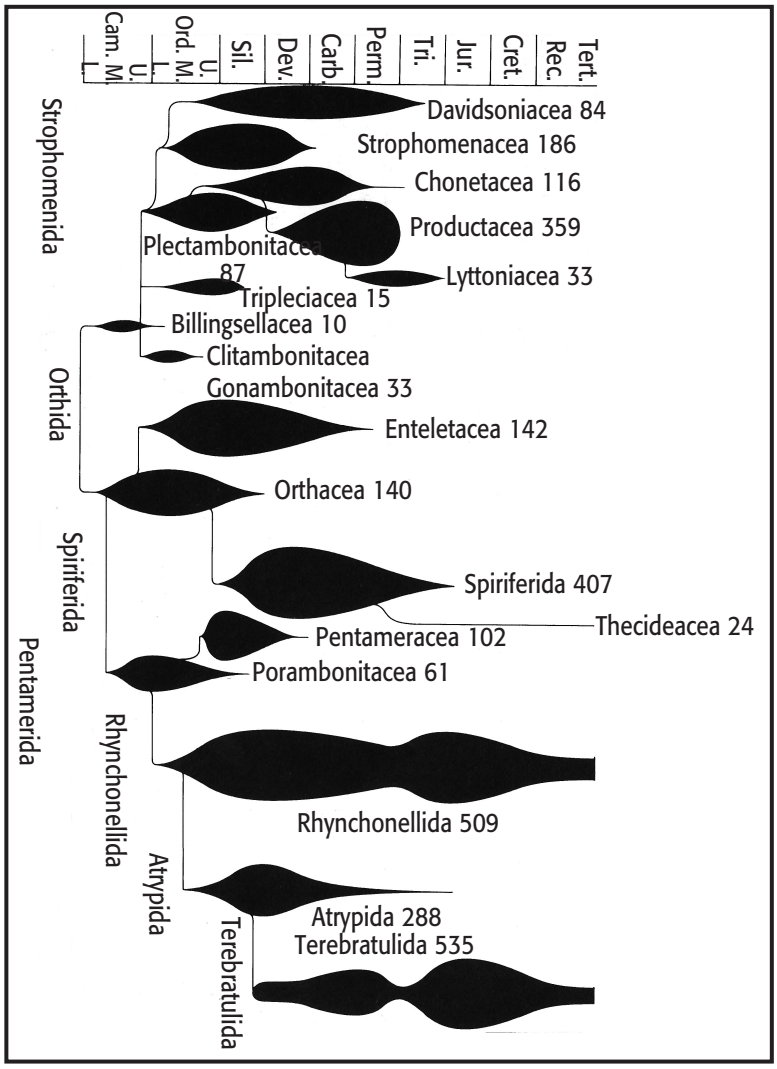


Figura 3.8. Diagrama que representa la diversidad y el alcance estratigráfico de los órdenes y superfamilias de la clase Articulata. (Asociación Paleontológica 1985).

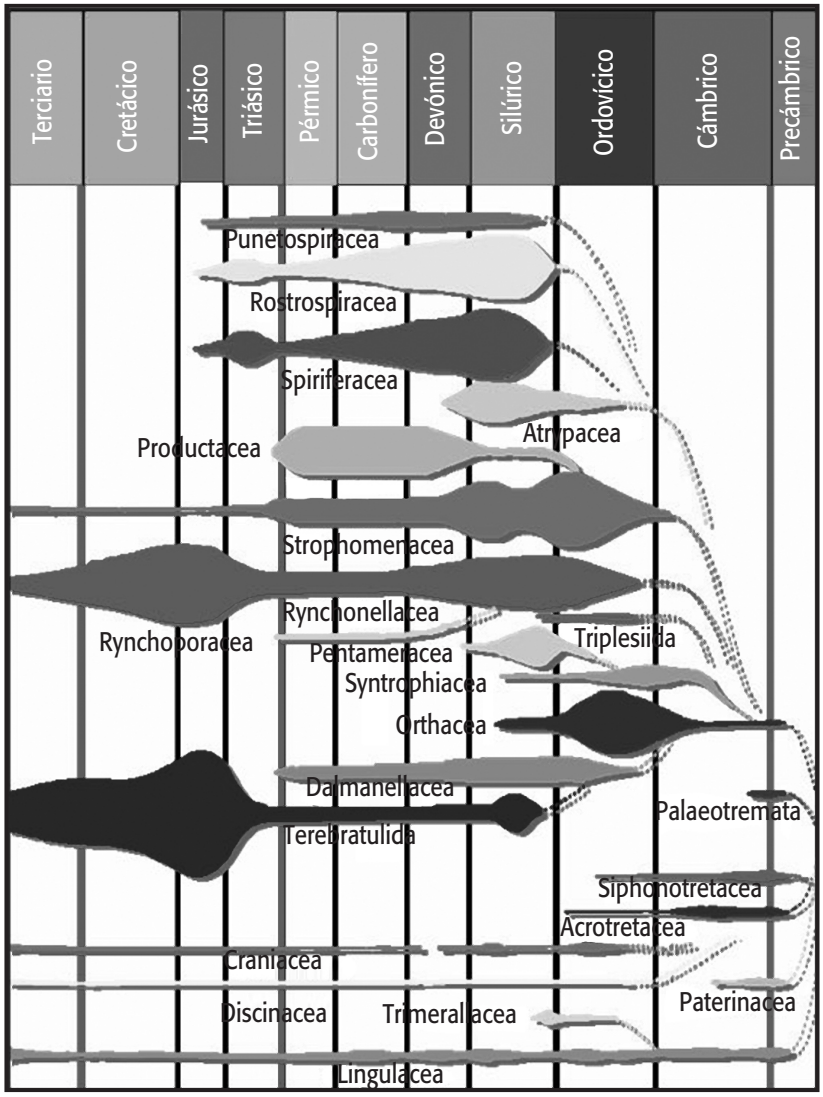


Figura 3.9. Alcance estratigráfico del grupo de los Braquiópodos. Los Inarticulados están indicados del lado izquierdo de la línea discontinua y los Articulados del lado derecho. (Asociación Paleontológica, 1985)

Capítulo 4

Phylum Echinodermata (Cámbrico inferior - Reciente)

Los equinodermos son un Phylum muy antiguo de invertebrados exclusivamente marinos que tienen sus raíces en el Precámbrico superior **(figura 4.1).** Por su evolución y algunas peculiaridades de su organización, se cree que se aproximan más a los vertebrados que a los invertebrados.

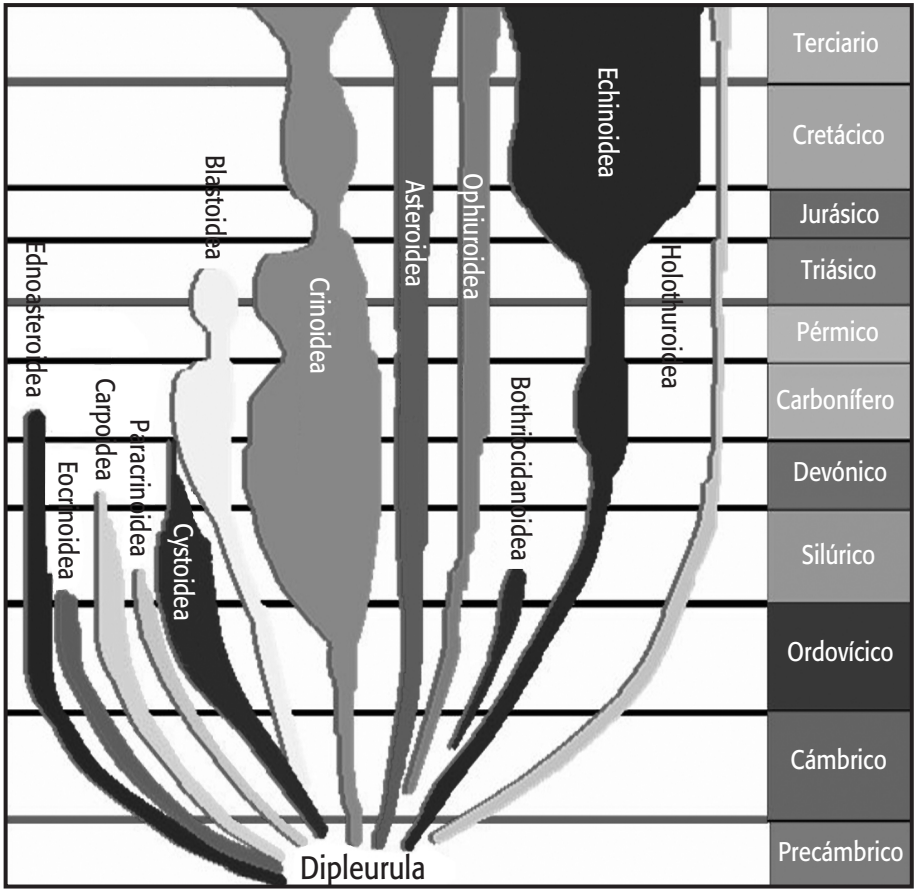


Figura 4.1. Alcance estratigráfico representando la aparición de los equinodermos en el Precámbrico. (Moore *et al.*, 1952).

Se distinguen por su simetría radial pentámera. La organización de su cuerpo es muy compleja: bajo una piel extremadamente sensible, todos los equinodermos presentan un esqueleto de origen dérmico, formado por placas calcáreas que se desarrollan a partir de un grupo de espículas; éstas crecen en continuidad originando un enrejado cristalino, cuyos intersticios quedan ocupados por el tejido vivo. En general, presentan sexos separados y suelen nacer como una larva planctónica de simetría bilateral. En cuanto a la locomoción, ésta se realiza mediante órganos cilíndricos eréctiles que se hinchan por la inyección de un líquido sanguíneo bajo presión variable.

El interior del cuerpo está ocupado por una cavidad de tamaño variable, según los grupos, la cual se encuentra rellena por un líquido. El sistema nervioso se compone de un anillo peribucal y cinco nervios radiales, en estrecha relación con la piel.

Los equinodermos presentan dos formas de vida: fija (pelmatozoos) y libre (eleutorozoos). Su alcance estratigráfico es Cámbrico - Reciente **(figura 4.2).**

El autor sugiere usar la clasificación presentada en Moore *et al.*, 1952, por ser una de las más completas:

Subphylum Homalozoa: Carpoideos. Equinodermos paleozoicos que carecen de todo vestigio de simetría radial.

- Clase Homostelea (Cámbrico medio).
- Clase Honloiostelea (Cámbrico medio - Devónico medio).
- Clase Stylophora (Ordovícico superior).
- Clase Ctenocystoidea (Cámbrico - Devónico medio).

Subphylum Crinozoa: Equinodermos radialmente simétricos con una teca globoide o en forma de copa o cáliz, y braquiolos o brazos. Presentan una forma de vida fija, con la superficie oral dirigida hacia arriba y una distribución geológica del Cámbrico al Reciente **(figura 4.3).**

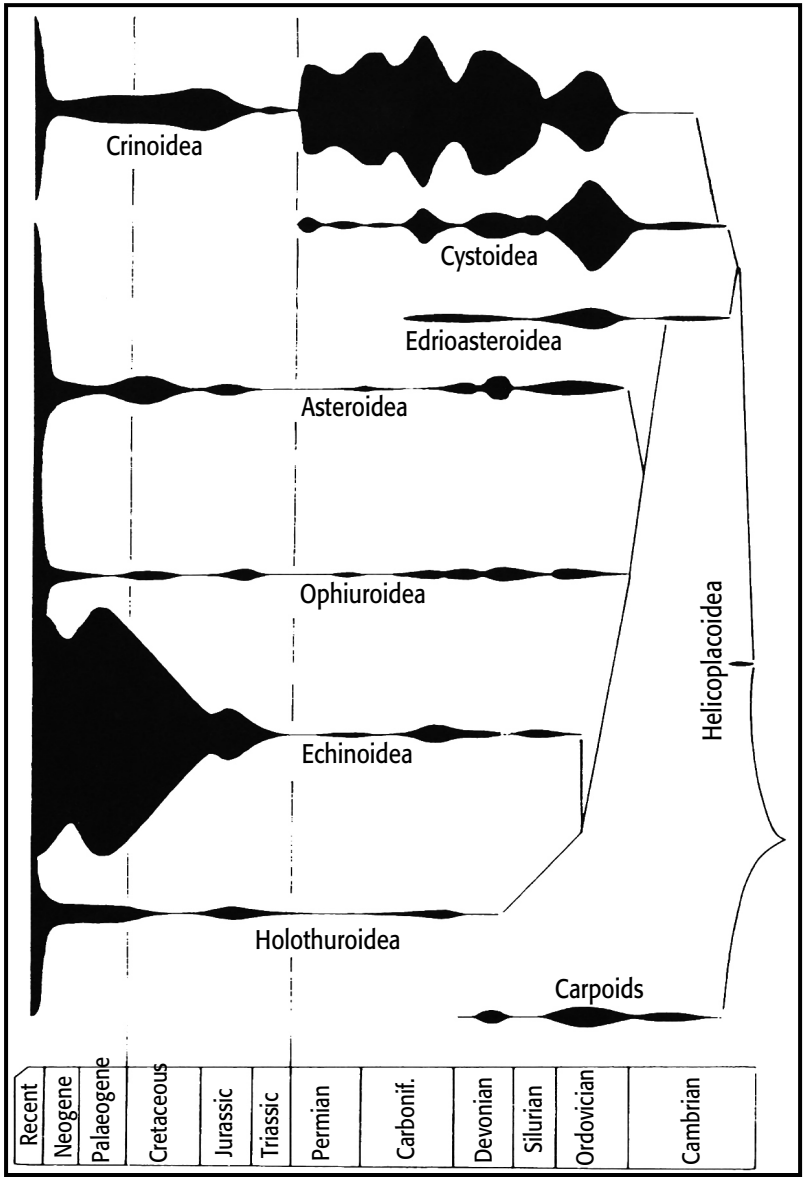


Figura 4.2. Diagrama que representa la diversidad y el rango estratigráfico de los equinodermos y carpoideos. (Asociación Paleontológica, 1985).

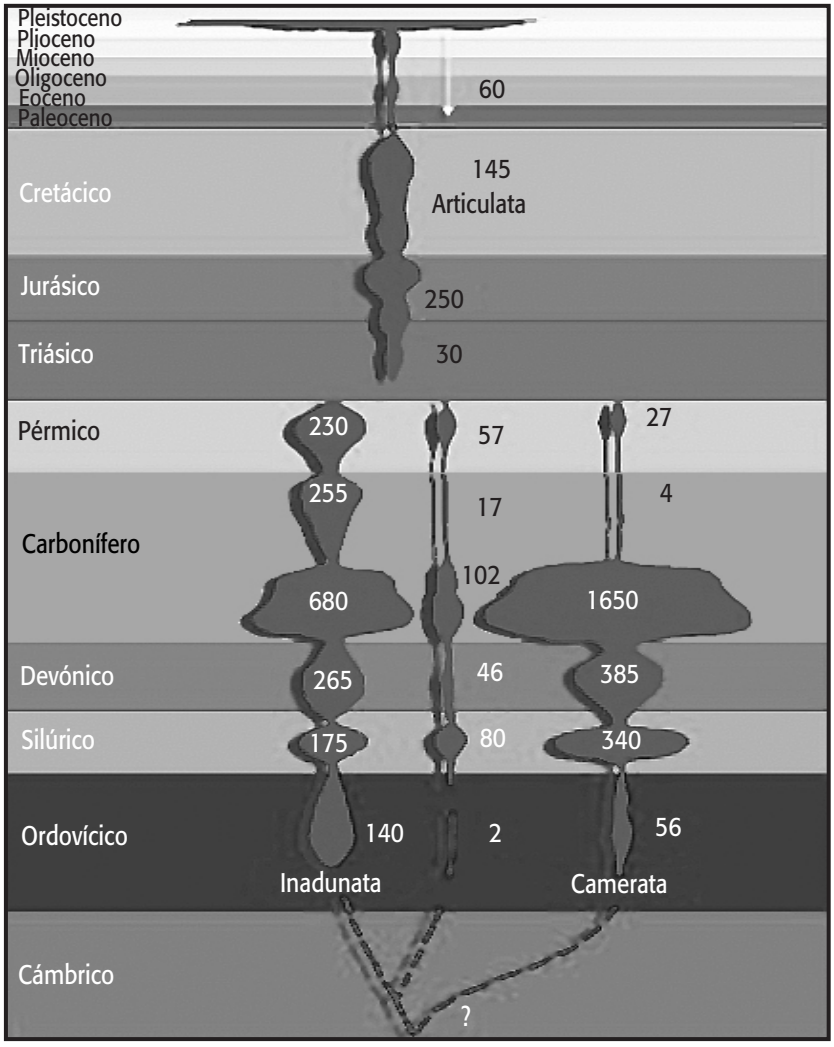


Figura 4.3. Distribución geológica de los crinoideos. La duración de cada subclase está delineada separadamente. Los números acompañantes indican el número de especies descritas en todo el mundo. (Moore *et al.*, 1952).

- Clase Eocrinoidea (Cámbrico medio - Ordovícico medio). Crinoideos primitivos.
- Clase Paracrinoidea (Ordovícico medio). Crinoideos primitivos.
- Clase Crinoidea (Ordovícico inferior - Reciente).
- Clase Cystoidea (Ordovícico medio - Devónico superior). Dividida actualmente en las clases Rhombifera y Diploporita.
- Clase Blastoidea (Ordovícico medio - Pérmico medio).
- Clase Parablastoidea (Ordovícico medio).

Subphylum Asterozoa: Equinodermos libres, radialmente simétricos con forma de estrella.

- Clase Stelleroidea (Ordovícico - Reciente). Estrellas de mar y estrellas quebradizas.

  Subclase Somasteroidea (Ordovícico). Estrellas de mar primitivas.

  Subclase Asteroidea (Ordovícico - Reciente). Estrellas marinas.

  Subclase Ophiuroidea (Ordovícico - Reciente). Estrellas quebradizas.

Subphylum Echinozoa: En su mayoría, equinodermos libres radialmente simétricos, con formas globoides o discoides y sin brazos o braquiolos.

- Clase Cyclocystoidea (Ordovícico inferior - Devónico superior).
- Clase Helicopiacoidea (¿Precámbrico?, Cámbrico inferior - Cámbrico superior).
- Clase Edriosteroidea (Precámbrico - Mississípico).
- Clase Holothuroidea (¿Cámbrico medio?, Mississípico - Reciente).
- Clase Echinoidea (Ordovícico - Reciente).
- Clase Ophiocistioidea (Ordovícico - Devónico).

A continuación se describen los grupos más importantes para el registro fósil: las clases **Crinoidea** y **Echinoidea**.

1. Clase Crinoidea*

Los Crinoideos son la más antigua y, en algunos aspectos, la más primitiva de las clases de Equinodermos vivientes. Los representantes más antiguos se remontan al Cámbrico medio. Son la clase más diversificada de los equinodermos sedentarios. Los crinoideos permanecen anclados en el fondo del mar mediante un pedúnculo que, a menudo, es muy largo y se compone de numerosos segmentos. El pedúnculo o tallo es algo móvil. Sobre él descansa el cáliz o teca que envuelve las partes blandas **(figura 4.4).**

Los miembros de esta clase, entre los cuales se incluyen los "lirios de mar" pedunculados y sésiles —que alcanzaron su máxima diversidad en la era Paleozoica—, así como las "plumas de mar" no pedunculadas libres nadadoras, son los únicos Equinodermos vivientes que tienen la superficie oral dirigida hacia arriba. Esta condición se observa también en la mayor parte de los Equinodermos paleozoicos. La corona de los Crinoideos pedunculados y no pedunculados está formada por brazos múltiples, dispuestos en torno a un grueso cáliz central cubierto por una pared oral membranosa, el tegmen **(figura 4.4).**

El esqueleto de un crinoideo fijo comprende dos partes: la corona (o disco) y el tallo. La corona comprende el cáliz y los brazos. El cáliz muestra una parte inferior, la cápsula, y una parte superior en forma de tapadera, el tegmen. Encima del último segmento del tallo se observan en la cápsula cinco placas basales, y encima de éstas y en alternancia con ellas, cinco placas radiales. Cuando hay un solo ciclo de basales, se trata de un crinoideo monocíclico; pero cuando existe un ciclo de placas suplementarias debajo de las basales, las placas infrabasales, entonces se trata de un crinoideo dicíclico.

* (Ordovícico inferior - Reciente).

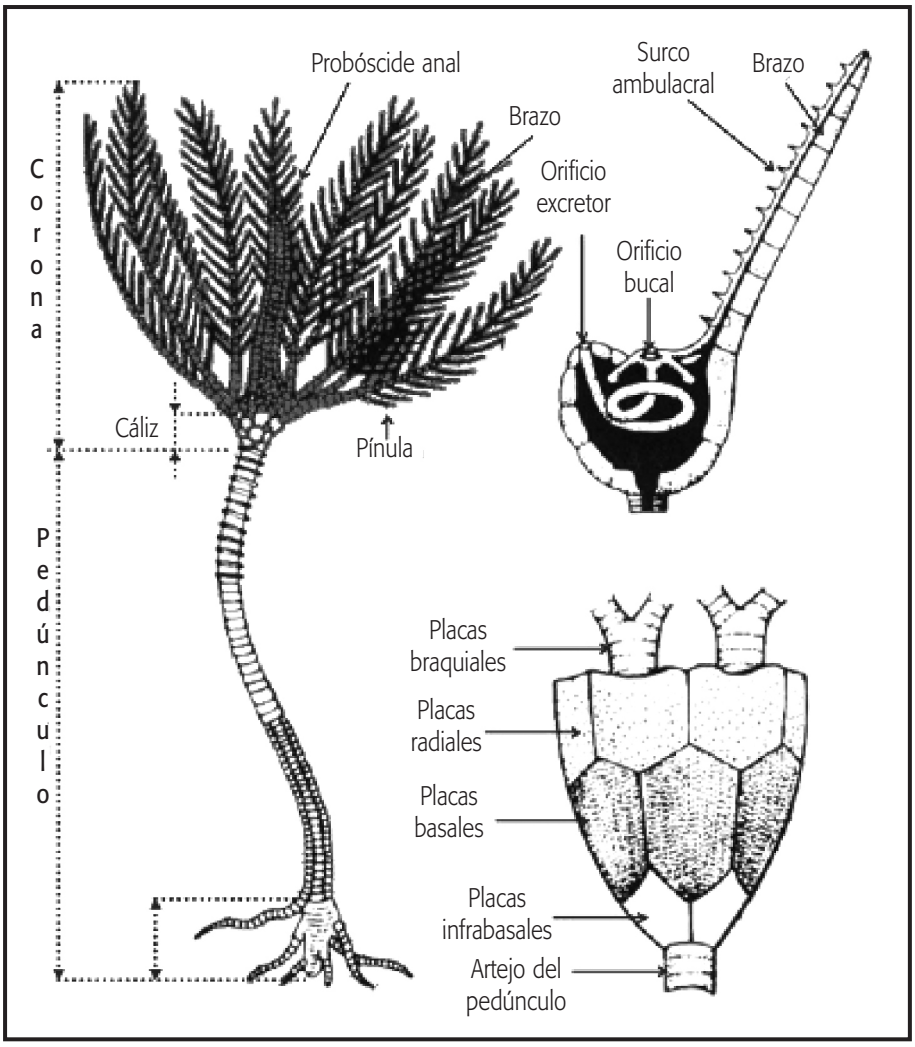


Figura 4.4. Principales características morfológicas de los Crinoidea. A. Esquema estructural de un crinoideo. **B.** Corte esquemático del cáliz y de un brazo. **C.** Cáliz dicíclico con la base de los brazos y tres artejos del pedúnculo. (Turek, 1989).

El tallo está formado por placas superpuestas llamadas columnales, y se encuentra perforado por un canal axial de algunos decímetros. En sección puede ser circular, elíptico, cuadrado, pentagonal, estrellado, lobulado, etc.

Según Aubouin *et al*., 1981, entre los Crinoideos se distinguen:

1. Los Inadunados (subclase **Inadunata**), con placas primibraquiales libres (no unidas al cáliz en el sentido etimológico de este término). Aparecieron en el Ordovícico y subsisten en la actualidad.
2. Otros grupos con placas primibraquiales incorporadas al cáliz son:

   Los Flexibles (subclase **Flexibilia**), con cáliz en parte flexible (Ordovícico - Carbonífero).

   Camerados (subclase **Camerata**), con placas del cáliz unidas por suturas rígidas.

   Articulados (subclase **Articulata**), conocidos desde el Mesozoico, presentan brazos con articulaciones muy móviles aseguradas por músculos.

La evolución de los Crinoideos está marcada por una crisis en el Pérmico. Con excepción de los Inadunata, que persisten aunque con menos apogeo, todos los órdenes desaparecieron en el Pérmico y son reemplazados en el Mesozoico por los Articulata. En seguida se indican los órdenes que comprende cada una de las siguientes subclases:

Inadunata: Disparida (Ordovícico medio - Pérmico superior); Hybocrinida (Ordovícico medio - Silúrico inferior) y Ciadida (Ordovícico inferior - Pérmico superior).

Flexibilia: Taxocrinida (Ordovícico medio - Pennsilvánico superior) y Sagenocrinida (Silúrico medio - Pérmico superior).

Camerata: Diplobathrida (Ordovícico medio - Mississípico superior) y Monobathrida (Ordovícico medio - Pérmico superior).

Articulata: Isocrinida (Triásico inferior - Reciente); Millericrinida (Triásico medio - Eoceno); Cytocrinida (Jurásico inferior - Reciente); Uintacrinida (Cretácico superior); Roveacrinida (Triásico superior - Cretácico superior) y Comatulida (Jurásico inferior - Reciente).

2. El declive de los Crinoideos

Para los crinoideos —como para otros tipos de organismos marinos—, la terminación del Paleozoico fue un espacio de rápido declive, y éste fue tan generalizado que no se conoce ningún género que haya sobrevivido al tránsito del Paleozoico al Mesozoico. Los crinoideos mesozoicos tienen que haber descendido, naturalmente, de antecesores paleozoicos, pero no ha habido manera de establecer las líneas de descendencia. Con excepción de algunos géneros aparentemente monocíclicos, todos estos crinoideos son tan esencialmente similares en estructura que pueden ser considerados como derivados de una estirpe paleozoica; probablemente los inadunados dicíclicos sean afines a los eocrínidos. Este hecho constituye nueva información acerca de la mortandad extraordinaria sufrida por los tipos primitivos, durante el tiempo representado por las rocas del Carbonífero superior y del Pérmico.

El pequeño grupo que superó aquel periodo de gran mortandad, estaba aparentemente bien adaptado a las condiciones de vida de los mares mesozoicos y posteriores, pues antes de la terminación del Cretácico había presentado adaptaciones a los diferentes modos de vida existentes en épocas anteriores. Esto queda bien ilustrado por la amplia gama de particularidades que muestran los géneros *Apiocrinus, Pentacrinus, Millericrinus, Marsupites* y *Uintacrinus.*

Los crinoideos entraron así en una nueva etapa de su vida, pero no volvieron a presentar la amplia variedad estructural mostrada por los diversos órdenes de crinoideos de la edad paleozoica. En los mares modernos se conoce la existencia de casi 700 especies, sin embargo, la mayoría de ellas se limita a la estructura presentada por *Pentacrinus* o por *Antedon*.

3. Clase Echinoidea*

Los Equinoideos también llamados "erizos de mar" constituyen la clase más conocida de los Equinodermos. Sus representantes más antiguos se remontan al Ordovícico y en los mares actuales existen más de 800 especies. Son formas bentónicas gregarias, móviles hasta cierto punto o inmersas en el sedimento. Viven en la mayor parte de las aguas costeras. Las especies fósiles se encuentran en sedimentos de aguas poco profundas, mientras que las especies actuales —por el contrario— viven hasta los 4 000 metros de profundidad.

Los organismos de esta clase poseen un cuerpo esférico o plano carente de brazos; su esqueleto es una estructura rígida que puede ser hemisférica, en forma de disco o corazón, y consiste de muchas placas entrelazadas que están recubiertas por el ectodermo. La superficie está cubierta con una testa de osículos suturados. Los ambulacros, en los cuales están los pies ambulacrales, se alternan con interambulacros dispuestos como meridianos en todo su cuerpo.

Principales caracteres de la anatomía de los erizos

La boca —situada en la cara inferior del caparazón— está rodeada por un peristoma membranoso cubierto de pequeñas placas. En numerosos géneros, el periprocto que rodea al ano se encuentra en la parte superior de la concha. Un sistema acuífero asegura la circulación del agua en el interior del animal: comprende una placa madreporita, a través de la cual el agua penetra en el canal hidroporito o canal del estómago; éste, a su vez, entra en comunicación con un anillo oral periesofágico, donde se abren cinco canales ambulacrales cuyas prolongaciones penetran en los pies ambulacrales, órganos de fijación y locomoción del animal **(figura 4.5).** Las gónadas alternan con estos canales y comunican con el exterior por los orificios de las placas genitales situadas alrededor del periprocto.

* (Ordovícico - Reciente).

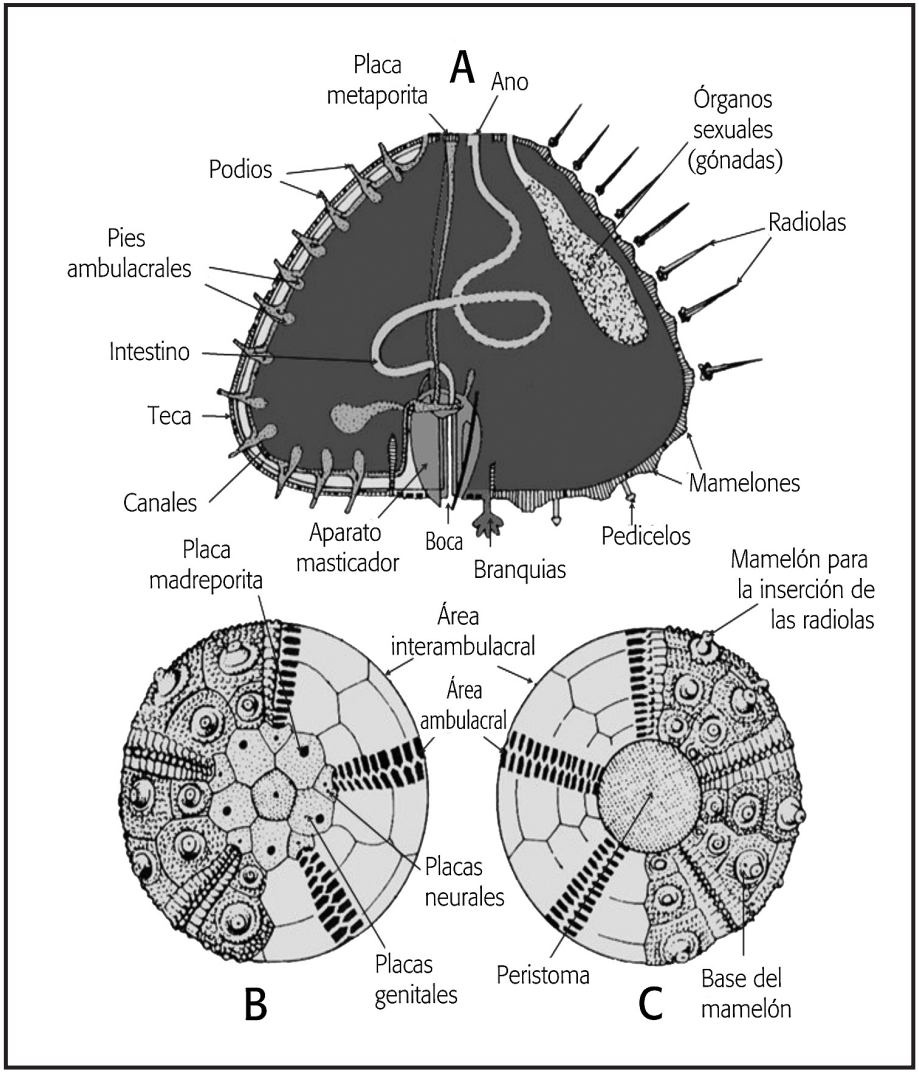


Figura 4.5. Morfología de los equinoideos (erizos de mar). A. Corte esquemático de un erizo de mar. **B.** Cara dorsal (aboral). **C.** Cara ventral (oral) del caparazón. (Turek, 1989).

La concha y el periprocto están formados por placas. El periprocto se encuentra rodeado por el sistema apical, que comprende cinco placas llamadas "oculares" y cinco placas genitales. Los dos tipos de placas están perforadas por un poro que, en el primer caso, es el punto de donde parten las zonas ambulacrales; y en el segundo, es un poro de evacuación de los productos genitales.

La madreporita es una placa genital frecuentemente más grande que las otras. La corona comprende cinco series o columnas de placas ambulacrales y cinco series de placas interambulacrales. Las primeras se encuentran en número de dos por columna, perforadas por poros que dejan pasar los canales acuíferos que van a los pies ambulacrales y aseguran su turgencia.

El origen de los equinoideos es discutido. ***Bothriocidaris*** (Ordovícico) está considerado como un cistoideo o como un género próximo a los primeros equinoideos. Este género posee solo una fila de placas por interambulacro; el caparazón no comprende más que placas hexagonales poco diferenciadas y no imbricadas; el periprocto y el peristoma son pequeños y poco diferenciados.

El primer equinoideo aparece en el Ordovícico superior, pero son raros en el Carbonífero. Su número se redujo drásticamente al final del Paleozoico, aumentando de nuevo en el Mesozoico. Son comunes en el periodo Terciario y en la actualidad son un grupo floreciente.

La clase Echinoidea se divide en las siguientes subclases:

Subclase Perischoenoidea (Ordovícico - Reciente). Erizos de mar primitivos, en su mayor parte fósiles de la era Paleozoica, que aparecieron durante el Ordovícico con Bothriocidaris.

Subclase Euechinoidea (Triásico - Reciente). Esta subclase reúne a los equinoideos más evolucionados, y también a la mayor parte de las especies marinas actuales de la clase Echinoidea.

Los primeros ejemplares hallados de Euechinoidea proceden de los sedimentos depositados a finales del Triásico. Desde entonces, muchos de los equi-

noideos de esta subclase presentaron una serie de modificaciones anatómicas que les han permitido vivir a distintas profundidades bajo la superficie del sedimento, lo que explica la gran radiación que experimentaron durante el periodo Jurásico.

4. Desarrollo geológico de los Echinoideos

Los Echinoideos aparecieron en el Ordovícico medio; durante el Silúrico y Devónico tuvieron un desarrollo incipiente; en el Carbonífero y Pérmico empezaron a desarrollarse, pero con poco éxito. Fue durante el periodo Triásico cuando el grupo empezó a notarse de manera importante siendo su despegue en este periodo. Durante el Jurásico y Cretácico alcanzaron su máximo desarrollo, aunque algunas especies declinaron en el Cretácico superior. Durante el Cenozoico, el grupo se mantiene y presenta un ligero desarrollo. En la actualidad los equinoideos son muy abundantes y ocupan particularmente las zonas litorales **(figuras 4.6 y 4.7).**

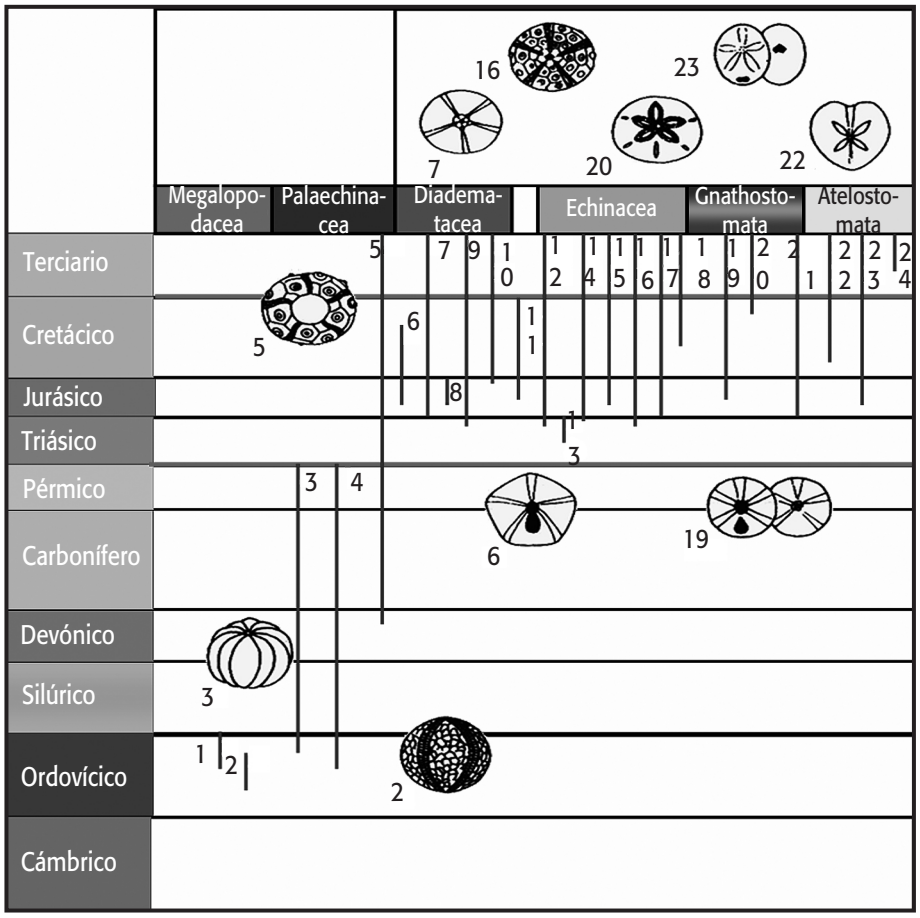


Figura 4.6. Duración y clasificación de la clase Echinoidea: (1) Megalopoda; (2) Bothriocidaroida; (3) Palaechinoida; (4) Echinocystitoida *(Aulechinus)*; (5) Cidaroida *(Cidaris)*; (6) Pygasteroida *(Pygaster)*; (7) Pedinoida *(Pedina)*; (8) Heterocidaridae; (9) Diadematoida; (10) Echinothuroida; (11) Orthopsida; (12) Arbacoida; (13) Pleisiocidaroida; (14) Salenoida; (15) Temnopleuroida; (16) Hemicida *(Hemicidaris)*; (17) Phymosomatoida; (18) Echi *(Echinus)*; (19) Holectypoida *(Holectypus)*; (20) Clypeasteroida *(Mellita)*; (21) Holasteroida; (22) Spatangoida *(Micraster)*; (23) Cassiduloida *(Catop)*; (24) Neolampadoida. (Clarkson, 1986).

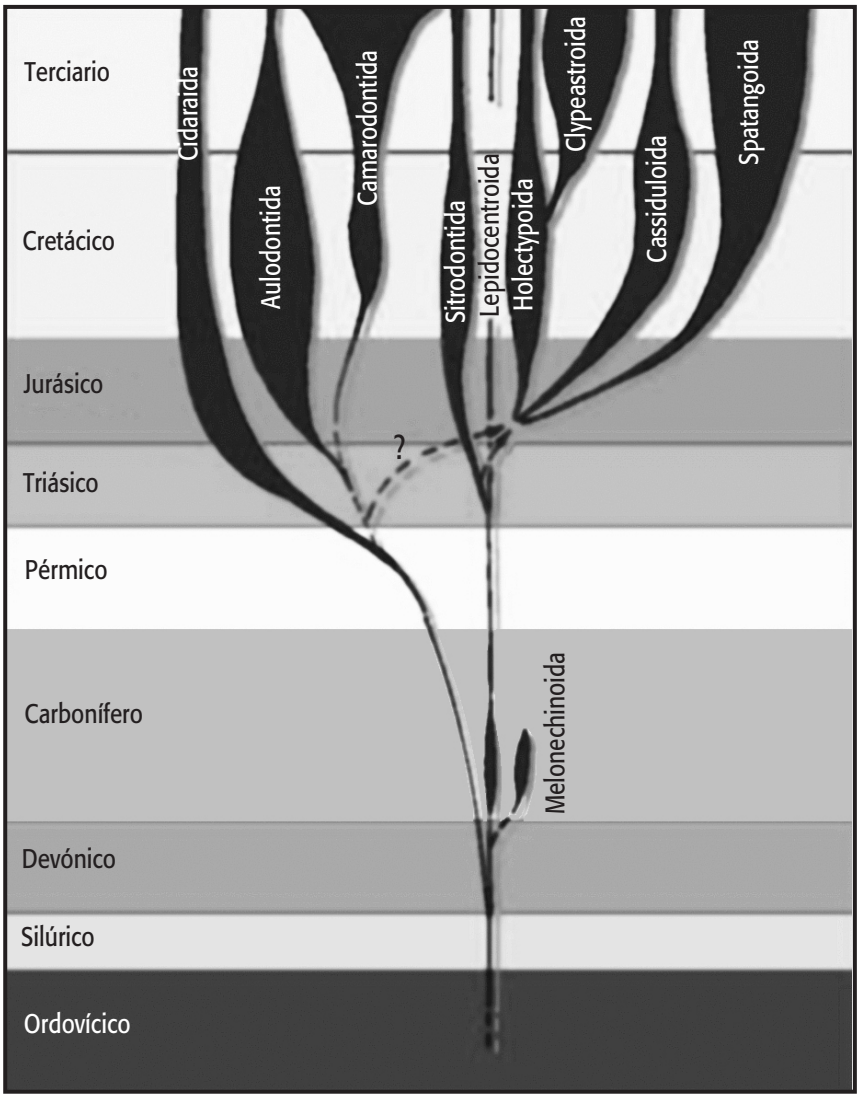


Figura 4.7. Distribución geológica de los equinodermos. (Moore *et al*., 1952).

INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

IUGS

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2016/04

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
						present
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene			0.0117
			Pleistocene	*Upper*		0.126
				Middle		0.781
				Calabrian		1.80
				Gelasian		2.58
		Neogene	Pliocene	Piacenzian		3.600
				Zanclean		5.333
			Miocene	Messinian		7.246
				Tortonian		11.63
				Serravallian		13.82
				Langhian		15.97
				Burdigalian		20.44
				Aquitanian		23.03
		Paleogene	Oligocene	Chattian		28.1
				Rupelian		33.9
			Eocene	Priabonian		37.8
				Bartonian		41.2
				Lutetian		47.8
				Ypresian		56.0
			Paleocene	Thanetian		59.2
				Selandian		61.6
				Danian		66.0
	Mesozoic	Cretaceous	Upper	Maastrichtian		72.1 ±0.2
				Campanian		83.6 ±0.2
				Santonian		86.3 ±0.5
				Coniacian		89.8 ±0.3
				Turonian		93.9
				Cenomanian		100.5
			Lower	Albian		~ 113.0
				Aptian		~ 125.0
				Barremian		~ 129.4
				Hauterivian		~ 132.9
				Valanginian		~ 139.8
				Berriasian		~ 145.0

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
						~ 145.0
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian		152.1 ±0.9
				Kimmeridgian		157.3 ±1.0
				Oxfordian		163.5 ±1.0
			Middle	Callovian		166.1 ±1.2
				Bathonian		168.3 ±1.3
				Bajocian		170.3 ±1.4
				Aalenian		174.1 ±1.0
			Lower	Toarcian		182.7 ±0.7
				Pliensbachian		190.8 ±1.0
				Sinemurian		199.3 ±0.3
				Hettangian		201.3 ±0.2
		Triassic	Upper	Rhaetian		~ 208.5
				Norian		~ 227
				Carnian		~ 237
			Middle	Ladinian		~ 242
				Anisian		247.2
			Lower	Olenekian		251.2
				Induan		252.17 ±0.06
	Paleozoic	Permian	Lopingian	Changhsingian		254.14 ±0.07
				Wuchiapingian		259.8 ±0.4
			Guadalupian	Capitanian		265.1 ±0.4
				Wordian		268.8 ±0.5
				Roadian		272.3 ±0.5
			Cisuralian	Kungurian		283.5 ±0.6
				Artinskian		290.1 ±0.26
				Sakmarian		295.0 ±0.18
				Asselian		298.9 ±0.15
		Carboniferous	Pennsylvanian	Upper		Gzhelian 303.7 ±0.1
						Kasimovian 307.0 ±0.1
				Middle		Moscovian 315.2 ±0.2
				Lower		Bashkirian 323.2 ±0.4
			Mississippian	Upper		Serpukhovian 330.9 ±0.2
				Middle		Visean 346.7 ±0.4
				Lower		Tournaisian 358.9 ±0.4

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
						358.9 ± 0.4
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian		372.2 ±1.6
				Frasnian		382.7 ±1.6
			Middle	Givetian		387.7 ±0.8
				Eifelian		393.3 ±1.2
			Lower	Emsian		407.6 ±2.6
				Pragian		410.8 ±2.8
				Lochkovian		419.2 ±3.2
		Silurian	Pridoli			423.0 ±2.3
			Ludlow	Ludfordian		425.6 ±0.9
				Gorstian		427.4 ±0.5
			Wenlock	Homerian		430.5 ±0.7
				Sheinwoodian		433.4 ±0.8
			Llandovery	Telychian		438.5 ±1.1
				Aeronian		440.8 ±1.2
				Rhuddanian		443.8 ±1.5
		Ordovician	Upper	Hirnantian		445.2 ±1.4
				Katian		453.0 ±0.7
				Sandbian		458.4 ±0.9
			Middle	Darriwilian		467.3 ±1.1
				Dapingian		470.0 ±1.4
			Lower	Floian		477.7 ±1.4
				Tremadocian		485.4 ±1.9
		Cambrian	Furongian	*Stage 10*		~ 489.5
				Jiangshanian		~ 494
				Paibian		~ 497
			Series 3	Guzhangian		~ 500.5
				Drumian		~ 504.5
				Stage 5		~ 509
			Series 2	*Stage 4*		~ 514
				Stage 3		~ 521
			Terreneuvian	*Stage 2*		~ 529
				Fortunian		541.0 ±1.0

Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	GSSP	GSSA	numerical age (Ma)
					541.0 ±1.0
Precambrian	Proterozoic	Neoproterozoic			~ 635
					~ 720
					1000
		Mesoproterozoic			1200
					1400
					1600
		Paleoproterozoic			1800
					2050
					2300
					2500
	Archean	Neoarchean			2800
		Mesoarchean			3200
		Paleoarchean			3600
		Eoarchean			4000
		Hadean			~ 4600

Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website http://www.stratigraphy.org. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Permian,Triassic, Cretaceous and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Permian, Triassic and Cretaceous were provided by the relevant ICS subcommissions.

Coloring follows the Commission for the Geological Map of the World (http://www.ccgm.org)

Chart drafted by K.M. Cohen, S.C. Finney, P.L. Gibbard
(c) International Commission on Stratigraphy, April 2016

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-04.pdf

Capítulo 5

Phylum Mollusca (Cámbrico - Reciente)

Los miembros de este grupo presentan como características distintivas un pie muscular, una concha calcárea secretada por el integumento subyacente —llamado manto— y la rádula, órgano con función alimentaria (excepto **Aplacophora** que no la posee). Habitan en el mar, las aguas dulces y en la tierra. El Phylum está formado por las clases: **Monoplacophora** (con concha en una sola pieza o placa coniforme); **Aplacophora** (carecen de concha, manto y pie; sin embargo, el integumento contiene capas de escamas o espículas calcáreas embebidas); **Polypiacophora** (concha formada por ocho placas transversales traslapadas); **Gasterópoda** o **Gastropoda** (concha en continuo crecimiento, generalmente en forma de espiral cónica, aunque también las hubo de formas alargadas e irregulares); **Pelecypoda**, **Bivalvia**, **Lamellibranchia** o **Acefala** (concha formada por dos valvas); **Scaphopoda** (concha en forma de colmillo de elefante) y **Cephalopoda** (concha en continuo crecimiento de formas muy diversas; es similar a las de Gasterópodos, pero presenta un canal del sifón).

Tal como se ha venido haciendo a lo largo de este texto, a continuación se describirán las características más relevantes de las clases con mayor importancia en el registro paleontológico **(figura 5.1)**.

1. Clase Gastropoda*

Esta clase comprende las siguientes subclases:

- **Prosobranchia** (Cámbrico inferior - Reciente).
- **Opisthobranchia** (¿Cámbrico inferior, Devónico?, Missisípico - Reciente).
- **Pulmonata** (Pensilvánico - Reciente).

* (Cámbrico inferior - Reciente).

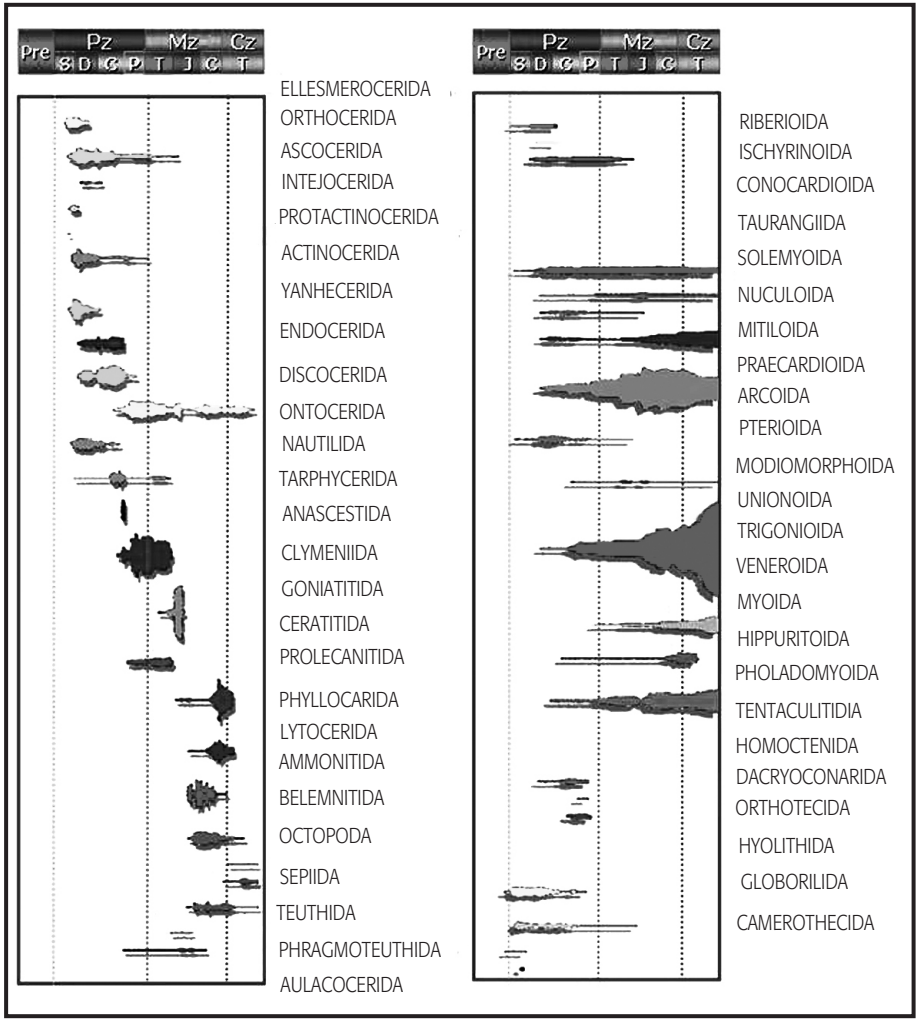


Figura 5.1. Relación de los distintos órdenes fósiles marinos del Phylum Mollusca, así como su alcance estratigráfico. **Pre** = Precámbrico; **Pz** = Paleozoico; **Mz** = Mesozoico; **Cz** = Cenozoico; S = Silúrico; D = Devónico; C = Carbonífero; P = Pérmico; T = Triásico; **J** = Jurásico; **C** = Cretácico; **T** = Terciario. (Sepkosky, 1985).

Una característica importante de los organismos Gastropoda es la torsión de sus órganos internos. Su cuerpo es asimétrico con una cabeza diferenciada en el extremo anterior, y un pie muscular adaptado a la reptación en su parte ventral. El cuerpo, en la mayoría de los casos, se encuentra protegido por una única concha, la cual crece por incremento de los bordes de la abertura. La concha típica es un tubo cónico arrollado en espiral, donde se puede recoger el cuerpo completo del organismo, aunque en varios grupos esto no ocurre. El arrollamiento de la concha es independiente de la torsión del cuerpo. Cada paso de rosca completo es una vuelta, y la línea a lo largo de la cual se unen las sucesivas vueltas es la sutura.

En general, la concha es dextrógira: si se orienta de forma que la abertura mire hacia abajo, la espira se enrolla a partir del ápice hacia la derecha, en el sentido de las agujas del reloj. No obstante, se conocen Gasterópodos levógiros (con espira enrollada hacia la izquierda). En todos los ejemplares de esta clase en los cuales se ha estudiado el desarrollo del caparazón, se ha visto que la protoconcha —cuando ya está completamente formada— se enrosca en una espira helicoidal. Esto, junto con el hecho de que muchas de las conchas más antiguas conocidas tienen enroscamiento similar, muestra que este rasgo debe haberse establecido muy pronto en la historia de la clase y, ciertamente, antes del periodo Cámbrico.

Existen algunas conchas casi cónicas del Cámbrico inferior, las cuales en pocos casos se encuentran enroscadas en un plano igual que en el segundo estadio de la protoconcha; probablemente estos caparazones eran llevados como en los cefalópodos, con el plano medio vertical. A diferencia de los miembros de esta última clase, los gasterópodos planoespirales llevaban la concha con su margen bucal libre, lo mismo que ocurre con ciertas formas que nadan en libertad en los mares actuales. También es posible que fueran de hábito pelágico. La interrogante sobre si el estadio planoespiral del desarrollo de la protoconcha representa o no una fase pelágica de la evolución de los gasterópodos, es tema que, por hoy, se presta a la conjetura.

Como en los cefalópodos, las conchas planoespirales de los gasterópodos conocidos muestran diversos grados de enroscamiento, desde aquel en que las espiras exteriores están solo en mero contacto, hasta aquel otro en que las espiras exteriores envuelven por completo a todas las interiores. La adopción de un tipo de enrollamiento helicoidal por parte de la estirpe principal de los gasterópodos, estuvo probablemente asociada con un hábito de arrastre por el suelo, en contraposición con el de nadar libremente. En conjunto, este tipo de enrollamiento abre mayores posibilidades en el aspecto de la variación de las que ofrece el tipo planoespiral.

En algunos gasterópodos el abandono de la condición planoespiral es moderado y, por consiguiente, el umbilicus (también llamado "ombligo") es solamente un poco más profundo en la cara inferior que en la superior. Con un abandono mayor de tal condición, la espira empieza a elevarse en forma de cono, mientras que el umbilicus se ahonda y se estrecha en la cara inferior. Con un grado de evolución todavía más marcado, se produce un aumento de la altura del cono y un estrechamiento de la base y del umbilicus hasta que finalmente el último se cierra. Al llegar a este punto, una sección de la concha muestra que su eje está ocupado por una columna sólida (columella) formada por el estrecho contacto de las espiras.

Esta serie de cambios, que llevan de una condición planoespiral a una espiral helicoide muy cerrada, se repite con gran frecuencia en las clases biológicas que nos ocupan. Puede incluso presentarse casi totalmente dentro de los límites de una especie. Las variaciones dentro de una especie pueden ir desde formas enroscadas hasta otras en que el enrollamiento es muy apretado. Una evolución similar puede presentarse durante el desarrollo de un individuo. Por lo tanto, resulta evidente que esta serie de cambios no ofrece caracteres que tengan gran valor sistemático.

Como en los Ammonoidea, el desenroscamiento regresivo puede comenzar en la edad avanzada de un individuo o en la última etapa de la historia de un linaje. En este caso también se manifiesta, ya sea por el enroscamiento o no de

las últimas espiras o por el aflojamiento simultáneo de todas ellas. Este fenómeno afecta tanto a formas que adoptan la de torre baja como a las formas de torre alta.

Forma y calibre de la espira. La forma de la concha, considerada en su totalidad, viene muy afectada por la forma de la superficie descubierta de la espira. Indudablemente la espira fue al principio de sección circular y, por consiguiente, su porción descubierta era redonda. Esta forma se modifica por la aparición de un aplanamiento en la zona superior, que produce un perfil angular en la espira y un contorno escalonado en la concha. Por la extensión del aplanamiento y la reducción de las partes redondas de la superficie descubierta, los desniveles llegan a confundirse y forman una pendiente continua. Una concha de esta forma se denomina trocoide. También en este caso, la totalidad de la variación desde la forma redonda o naticoide a la trocoide, puede aparecer dentro de los límites de un género.

Otro factor que ejerce considerable influencia en la forma de la concha es el ritmo que sigue el aumento de calibre de las espiras. Este puede ser gradual o rápido. En estirpes progresivas o anagenéticas, el aumento de calibre es gradual; pero en las retrogresivas no ocurre así, en este caso el ritmo puede disminuir hasta que la espira alcance un calibre uniforme o incluso éste puede decrecer ligeramente. Entonces la concha tiende a hacerse cilíndrica. Más frecuentemente, la senectud se expresa por un rápido aumento de calibre, de forma que las espiras exteriores pueden expandirse mucho y así envolver las espiras interiores casi por completo. En cierto número de linajes no relacionados en absoluto, existe una combinación de este desarrollo con el desenroscamiento retrorregresivo.

El margen apertural. Los cambios descritos anteriormente pueden experimentarse, en su mayor parte, dentro de los límites de divisiones muy pequeñas, tanto en lo referente al tiempo como a la clasificación. Sin embargo, los cambios que afectan a la abertura de la concha son de mayor extensión y de variación más amplia. En su forma más primitiva, la abertura de la concha es redonda. Para

describir su margen se le divide en cuatro regiones, a saber: interior, exterior, anterior y posterior. Estas denominaciones son totalmente convencionales, y no corresponden siempre a la verdadera posición de dichas regiones durante la vida del animal. La forma del margen interior viene determinada en gran parte por la estrechez del enroscamiento de la concha, y por el grado de contacto con la espira inmediata. Las características del resto del margen están en íntima relación con las actividades funcionales de la cavidad del manto, la cual necesita un flujo y reflujo de agua que bañe las branquias y limpie la cavidad de los desechos que van a parar en ella. Estos movimientos del agua pueden ser intermitentes o continuos. En el primer caso, no parece existir ninguna modificación especial de los márgenes del manto —o de la concha— que tenga relación con este tipo de movimiento.

Con el establecimiento de un flujo de agua más continuo, los márgenes citados pueden mostrar notorias modificaciones. En muchos de los gasterópodos más especializados —que han perdido la branquia y la abertura excretora del lado derecho—, el margen izquierdo del manto desarrolla una excrescencia con una estría en su cara inferior. Los bordes de esta estría pueden unirse, formando un tubo llamado sifón, el cual muchas veces es de considerable longitud. Con frecuencia se produce una excrescencia correspondiente en el margen de la concha, que varía en grado de desarrollo desde ser una mera muesca hasta constituir un tubo casi cerrado y bastante largo.

Entre los gasterópodos paleozoicos no existió este tipo de modificación del margen de la concha, pero durante los tiempos jurásicos se presentó en todos los grados antes mencionados. Las modificaciones análogas del margen derecho (posterior) son mucho menos frecuentes.

Ornamentación de la concha. Las adiciones sucesivas al margen de la sustancia formadora de la concha, dan lugar a unas estrías finas (líneas de crecimiento) en su superficie. Sin embargo, no constituyen elemento importante de la ornamentación, la cual usualmente está constituida por tubérculos y espinas, y por líneas salientes o costillas que pueden seguir dos direcciones. Un conjunto de

costillas espirales corre paralelamente a la longitud de la espira; el otro conjunto (costillas axiales) cruza de manera transversal la espira y corre más o menos paralela al eje de la concha.

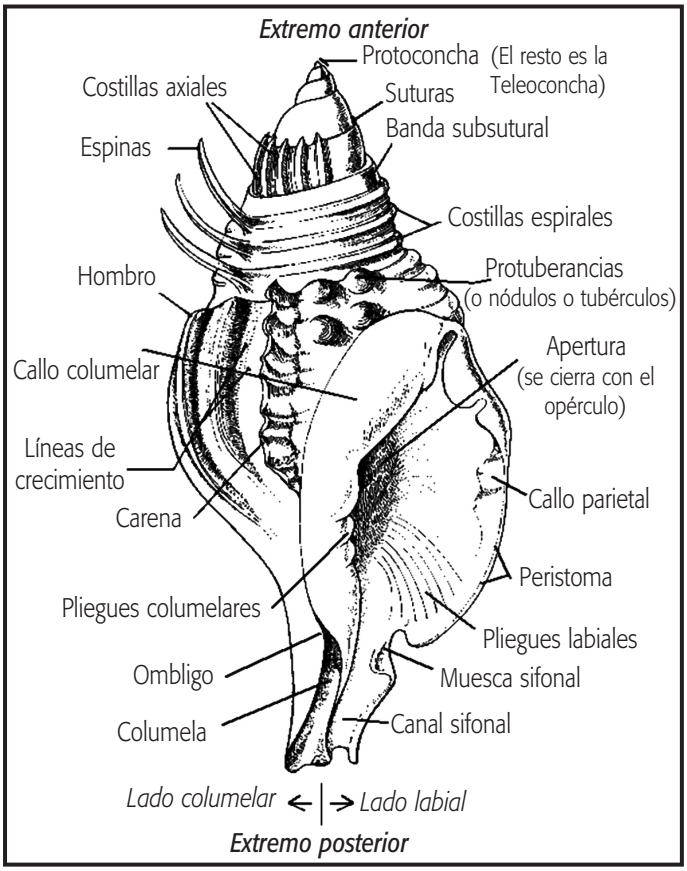


Figura 5.2. Gasterópodos. Características de la concha de un gasterópodo típico. (Turek *et al*., 1989).

Imagen tomada de: *(http://alfonsopina.eresmas.net/coleccion8.html).*

Estos dos elementos de la ornamentación son independientes entre sí, de modo que en algunas especies pueden existir solamente costillas axiales y en otras solo las espirales; también existen especies en las que pueden hallarse ambas clases, pero en proporción variable. Cuando ambos elementos existen, están igualmente desarrollados y se produce ornamentación reticular. Los tubérculos y las espinas surgen, en general, en la intersección de las costillas espirales con las axiales, o sobre la línea de angulación de la espira **(figura 5.2)**.

En cualquier linaje, los cambios en la ornamentación van desde muy suaves a muy pronunciados, para volver de nuevo a su primera condición. Los mismos principios que frecuentemente se observan en otros grupos de organismos, se manifiestan también aquí. Así, en cualquier serie lineal de formas, el desarrollo de la ornamentación en sus últimos miembros es acelerado (taquigénesis), de forma que los estadios correspondientes aparecen en espiras cada vez más primitivas.

Historia general de los Gasterópodos

En su historia general, los gasterópodos presentan una característica que los distingue de los demás invertebrados. A pesar de haber generado nuevas familias desde el comienzo del Cámbrico hasta casi el periodo presente, se han extinguido muy pocas de ellas, conservándose incluso las más antiguas. Por consiguiente, entre las formas vivas se encuentran ejemplos de casi todas las ramas representativas de los escalones de la evolución ocurrida en las edades pasadas. Y si bien la concha no refleja ni siquiera los principales cambios anatómicos, es lo suficientemente distintiva para poder fijar la fecha de aparición de cada familia, y para determinar la sucesión de tales cambios en el tiempo.

Gasterópodos paleozoicos. Tomada en conjunto, la fauna Gasterópoda del Paleozoico se caracteriza por sus conchas con poca o ninguna ornamentación. *Pleurotomania* y sus afines son una excepción a esta propiedad.

Antes del final del Paleozoico, estaban ya establecidos todos los cambios anatómicos referentes al abultamiento visceral y a los órganos que constituyen el manto —descritos anteriormente—, y sobre los que se basan las divisiones generales de la clasificación. Sin embargo, predominaban aquellos organismos en los que el proceso de supresión de los órganos del lado derecho todavía no había comenzado, o bien, era incompleto.

Gasterópodos mesozoicos. Durante este tiempo, los aspidobranquios alcanzaron su máximo desarrollo y aparecieron varias nuevas familias (Haliotidae, Neritidae). Sin embargo, hacia el final de esta era, otras de ellas se extinguieron: Euomphalidae, Trochonematidae. Algunas formas en que la supresión de órganos del lado derecho era ya completa o casi completa (Ctenobranchia), y que ocuparon posición de importancia menor durante el Paleozoico, aumentaron tanto en esta era que durante el periodo Cretácico el número de familias se había quintuplicado. Con muy pocas excepciones, toda familia viviente en la actualidad existía ya desde entonces. Entre los Euthyneura, tienen especial interés los Philinidae (Cretácico - Reciente), pues basándose en fundamentos anatómicos, se estima que constituyeron la estirpe atávica de las formas dominantes en el presente, tanto de agua dulce como terrestres.

Gasterópodos terciarios y recientes. Desde el comienzo del Terciario hasta el presente solo un pequeño número de familias ha aparecido, y al parecer no se ha extinguido ninguna **(figura 5.3)**. El hecho de que una proporción tan grande de las familias conocidas de gasterópodos exista todavía, indica que el inevitable periodo de declinación, anunciado por la extinción de familia tras familia, no se ha iniciado todavía, y que, por lo tanto, los gasterópodos se hallan en el pináculo de su desarrollo. En comparación con periodos anteriores, durante el Paleógeno y Neógeno (antes periodo Terciario) se aprecian con más frecuencia organismos con márgenes de boca especializados.

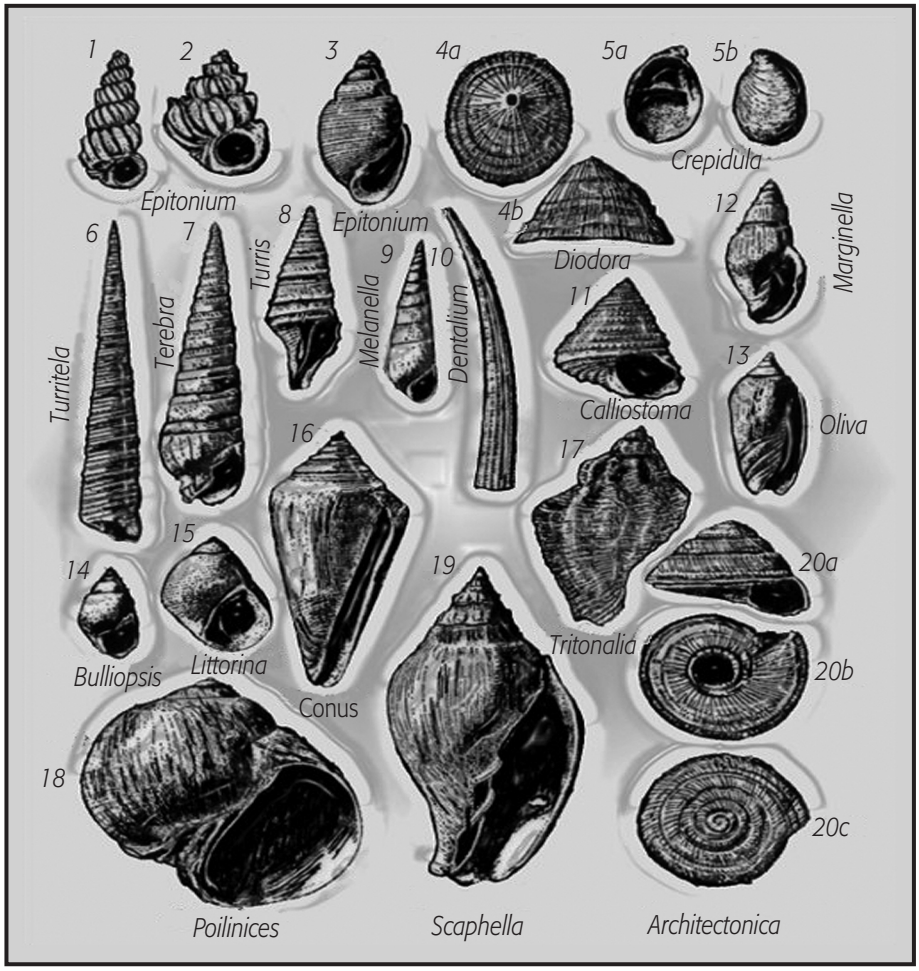


Figura 5.3. Gasterópodos representativos del Neogeno. Opistobranchia (3) y Scaphopoda (10). Archaeogastropoda (Pleurotomariacea, 4; Trochacea, 11); Mesogastropoda (Littorinacea, 15; Cerithiacea, 6, 20; Epitoniacea, 1, 2; Pyramidellacea, 9; Caliptraeacea, 5; Naticacea, 18) y Neogastropoda (Muricacea, 17; Buccinacea, 14; Volutacea, 12, 13, 19; Conacea 7, 8, 16). Tamaño y forma natural. (Moore *et al*., 1952).

2. Clase Pelecypoda, Bivalvia, Lamellibranchia o Acéfalos*

Los Pelecypoda se distinguen de los demás Moluscos por tener el cuerpo comprimido lateralmente y encerrado entre dos valvas calcáreas, las cuales están unidas dorsoventralmente por un ligamento córneo y elástico. La cabeza está poco desarrollada **(figura 5.4)**.

En la mayoría de los casos el animal tiene simetría bilateral. A diferencia de los Braquiópodos, presentan una valva derecha y una izquierda por la disposición del cuerpo dentro de la concha. Las valvas son cerradas por uno o dos músculos aductores, los cuales dejan sobre la concha una marca que puede ser simple (monomiario) o doble (dimiario). Entre los Dimiaria se distinguen los Homomiaria o Isomiaria, con músculos iguales; y los Heteromiaria o Anisomiaria, con músculos desiguales (Aubouin *et al*., 1981).

Las valvas se abren bajo la acción de un ligamento que las une; la abertura es pasiva y el cierre es activo. Al contrario de los Braquiópodos, con la muerte del animal la concha se abre. Por tanto, frecuentemente se encuentran moldes internos de conchas de Lamelibranquios **(figura 5.5)**.

Como en los demás Moluscos, la concha es segregada junto con el ligamento por el manto. Son monoicos (ambos sexos en el mismo individuo) y protándricos (Moore *et al*., 1952). El grupo es acuático en su totalidad (de agua dulce y salada), y la mayoría de ellos tiene vida sedentaria en aguas poco profundas, no se mueven lejos ni con rapidez.

Desarrollo de la concha. En las primeras fases de su desarrollo, la mayoría de los pelecípodos pasan por un estado larval de natación libre que se parece mucho al de una larva trocófora. Después, debido a una modificación, especialmente del aparato natatorio, adoptan una forma que es peculiar de los moluscos. El primer rudimento de concha aparece en la línea medio dorsal de la larva,

* (Cámbrico medio - Reciente).

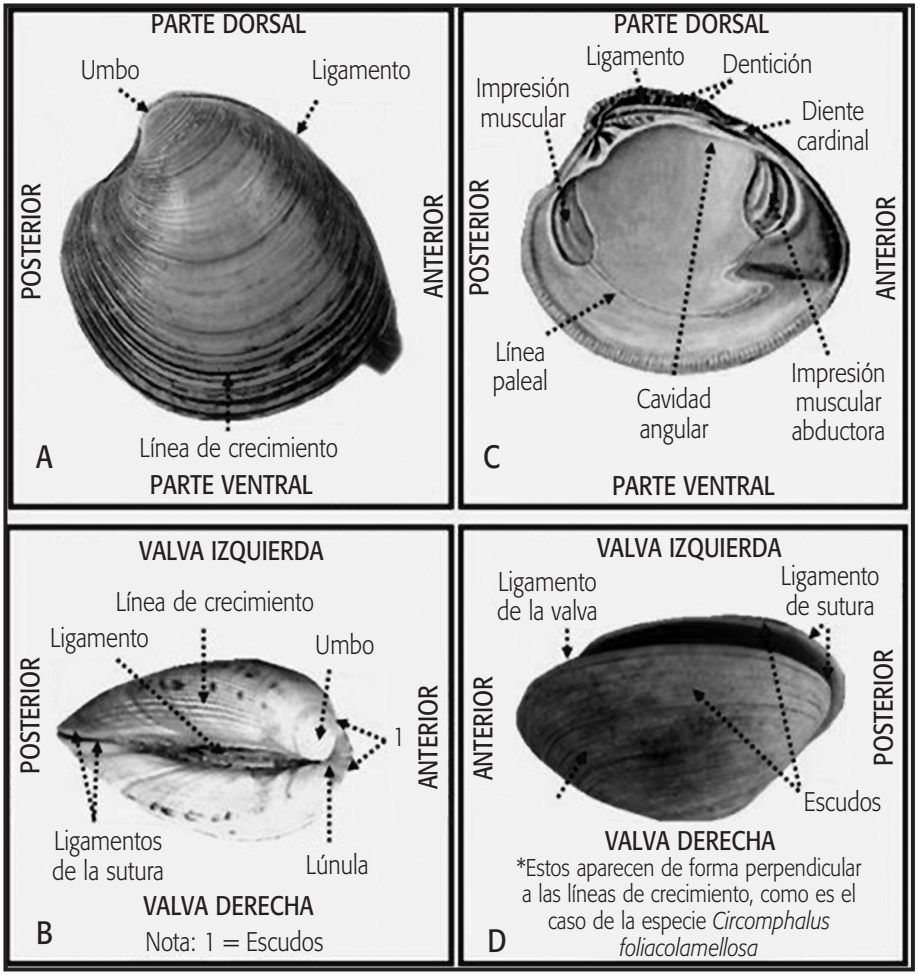


Figura 5.4. Características morfológicas de diversas especies de pelecípodos, así como formas generales de la parte externa de su estructura.

Imágenes tomadas de: *(http://lavoieverte.qc.ec.gc.ca)*, *(http://www.livingwilderness.com)* y *(http://digilander.libero.it)*.

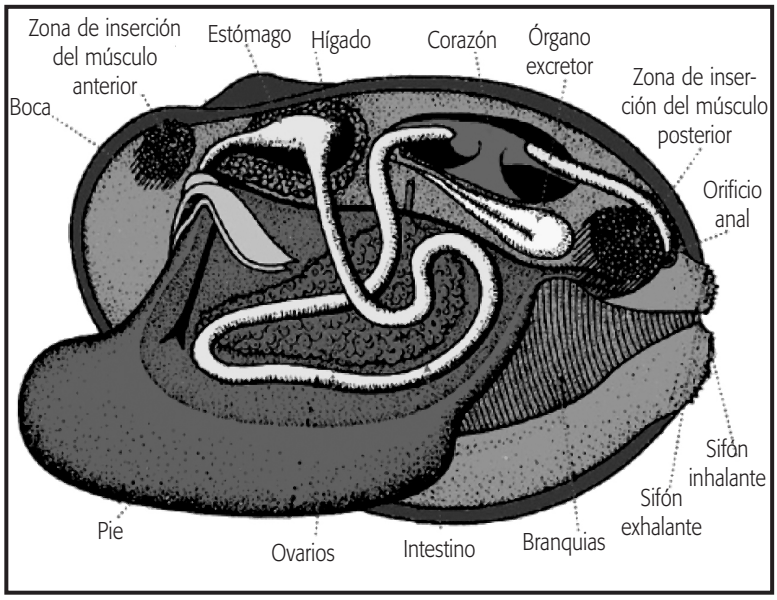


Figura 5.5. Anatomía interna de un bivalvo. (Turek *et al*., 1989).

y corresponde en posición a la parte de charnela de la concha totalmente formada. Este rudimento se extiende a ambos lados de la línea media, produciendo así las dos valvas que dan origen al nombre de disoconcha de esta estructura. Al principio, la línea de charnela es recta, las valvas son iguales y casi o totalmente simétricas. El crecimiento ulterior tiene lugar con mayor rapidez, según el margen ventral, con el resultado de que las líneas de crecimiento son concéntricas respecto de un punto (umbo), próximo al margen dorsal. Al mismo tiempo, la línea de charnela se arquea. Este armazón embrionario se llama prodisoconcha, y da origen a formas muy variadas y diversas de conchas **(figura 5.6)**.

La concha de los pelecípodos no es un esqueleto, sino un lugar de refugio, a diferencia del caparazón de los equinodermos o los artrópodos. No está estre-

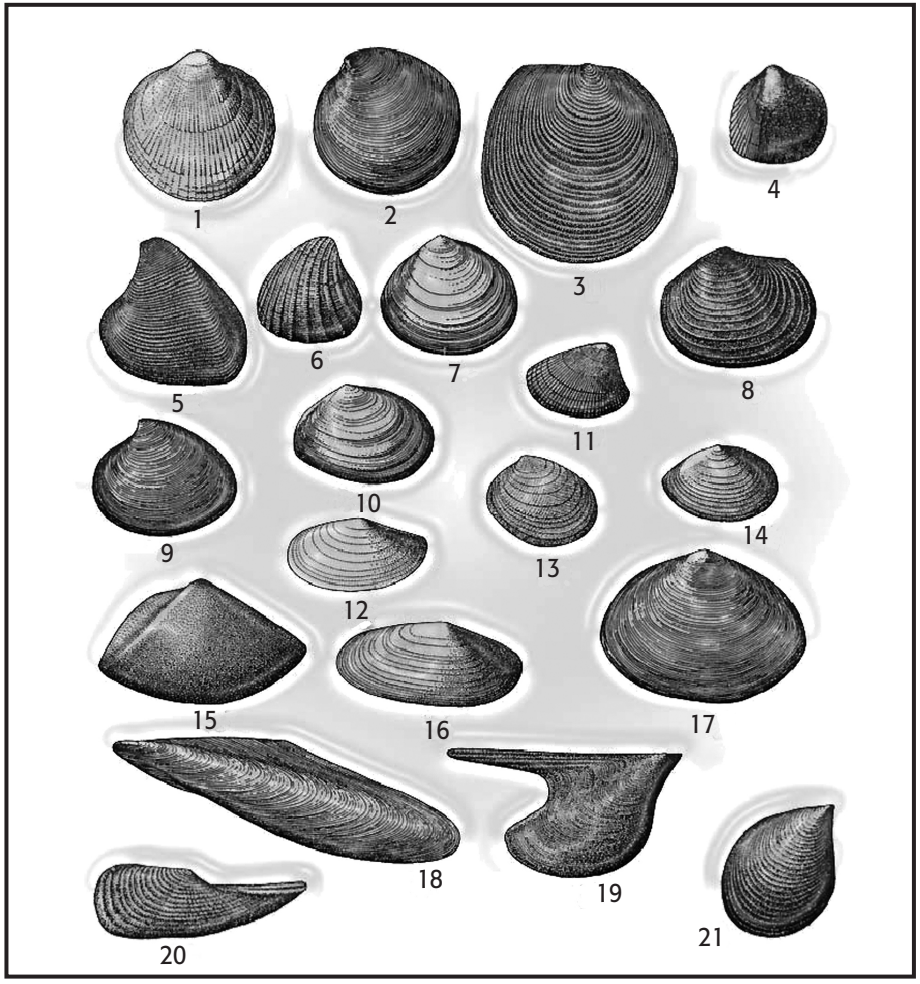


Figura 5.6. Forma de las conchas de los bivalvos. 1, 2 Circular u orbicular; 3, 7 Subcircular o suborbicular; 4, 8 Subcuadrada; 5, 7 Trigonal; 9 Trigonal suboval; 10 Suboval; 11 Subtrigonal; 12 Subelíptica; 13, 14 Oval; 15 Donaciforme o romboidal; 16 Elíptica elongada; 17 Elíptica; 18 Lanceolada o modioliforme; 19 Pteridiforme; 20 Nuculaniforme; 21 Multiforme. (Moore *et al.,* 1952).

chamente asociada, en cuanto a los detalles estructurales, con los órganos vitales; por lo tanto, es mucho más sencilla, con menos elementos estructurales y es muy sensible a las influencias adaptativas. Por estas razones, los datos necesarios para el estudio de los problemas filogenéticos y evolutivos de los pelecípodos son limitados, y la solución de problemas va siempre acompañada de un alto grado de incertidumbre.

Las características siguientes permiten distinguir las conchas de los Lamelibranquios de las que corresponden a los Braquiópodos (según Aubouin *et al*., 1981).

LAMELIBRANQUIOS	BRAQUIÓPODOS
Valvas casi siempre inequilaterales	Valvas equilaterales
Concha en general equivalva	Concha inequivalva
Una valva derecha y una izquierda	Una valva superior y una inferior
Sin pedúnculo ni foramen en una de las valvas	Pedúnculo y un orificio peduncular
La concha se abre a la muerte del animal	La concha se cierra con la muerte del animal

De acuerdo con Moore, 1952 (Hickman *et al*., 1994), la clase se divide en las siguientes seis subclases:

Paleotaxodonta (Ordovícico - Reciente). Grupo homogéneo de Bivalvos protobranquios, los nuculoideos; taxodontos; nacarados o cruzado-laminares; equivalvos. Con un solo Orden: Nuculoida.

Cryptodonta (¿Cámbrico tardío?, Ordovícico temprano - Reciente). Grupo de Pelecypoda protobranquios, formado por *Solemya* más los Cryptodonta paleozoicos; Edentula (charnela sin dientes o casi edéntulos); generalmente equival-

vos; algunas formas son perforantes, probablemente de origen polifilético. Con dos órdenes: Solemyoida y Praecardioida.

Pteriomorphia (Ordovícico temprano - Reciente). Amplio conjunto de Pelecypoda filibranquios y eulamelibranquios, cirtodontos, la mayoría heteromiarios; estructura de la concha, ligamento, branquias y estómago variables; generalmente de origen monofilético sugerido por la secuencia fósil. Abarca tres órdenes: Arcoida, Mytiloida y Pterioida.

Palaeoheterodonta (Cámbrico medio - Reciente). Actinidonta tempranos, presentan una charnela con dos dientes (llamados cardinales) situados bajo el umbo; unionáceos, trigoniáceos-prismatonacarados; conchas equivalvas o inequivalvas. Con tres órdenes: Modiomorphoida, Unionoida y Trigonoida.

Heterodonta (Ordovícico medio - Reciente): Heterodonta; complejo cruzado laminar; eulamelibranquios; charnela provista de un número limitado de dientes, repartidos en cardinales y laterales; dientes a veces muy robustos, pero en número reducido (tipo Pachyodonto de los Rudistas). Con tres órdenes: Veneroida, Myoida e Hippuritoida.

Anomalodesmata (¿Ordovícico temprano? Ordovícico medio - Reciente): Eulamellibranchia y Septibranchia; generalmente fosorial, con dientes cardinales mal desarrollados, sin laterales; márgenes del manto unidos; en las formas más primitivas, ligamentos asociados con resilium y lithodesma internos; internamente nacarados, con un solo orden: Pholadomyoida.

En Moore (1952), se añade una clase "dudosa" o "incierta" con un solo orden: Conocardioida (Ordovícico medio - Pérmico superior, ¿Triásico superior? **(figura 5.7)**.

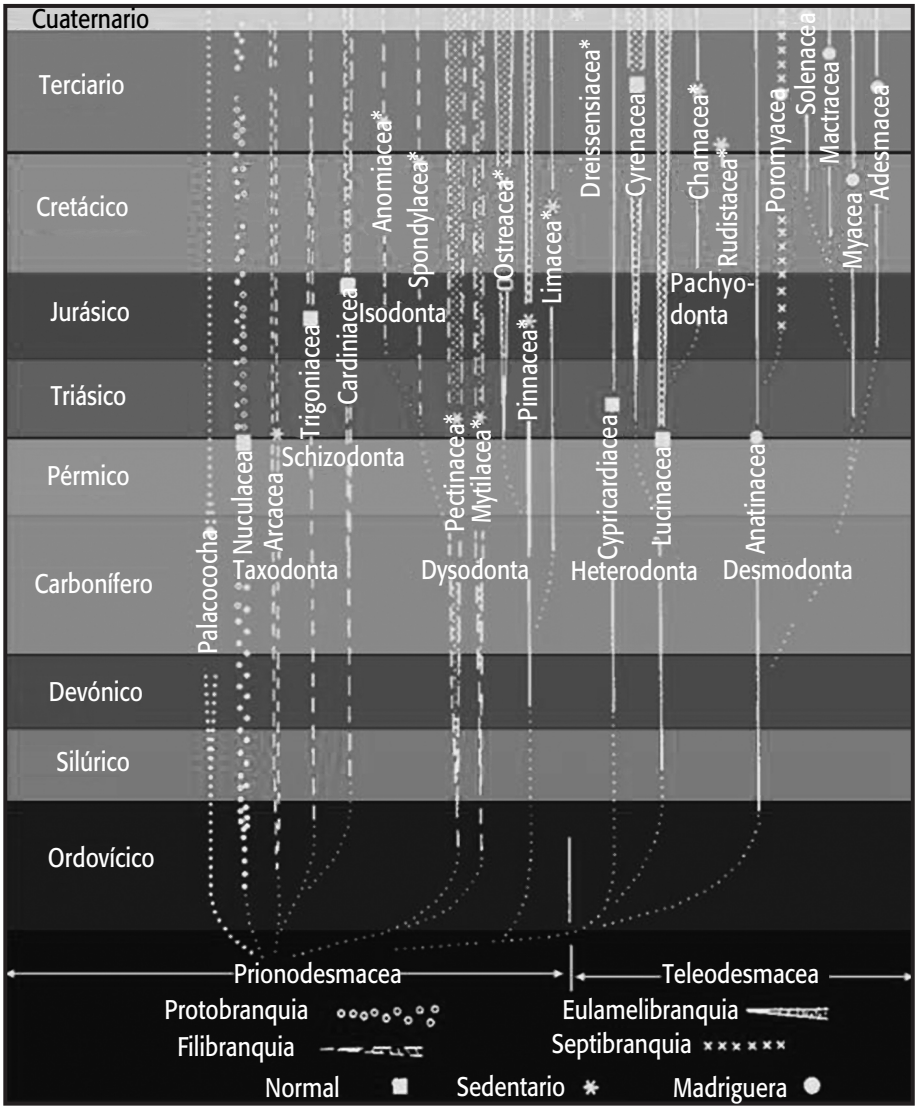


Figura 5.7. Distribución geológica de la clase Pelecypoda. (Moore *et al*., 1952).

3. Los rudistas: origen, características, diversificación y extinción

Los rudistas son bivalvos extintos de la superfamilia Hippuritacea que poblaron por cerca de cien millones de años los mares someros del Dominio del Tethys. Fueron animales sésiles, solitarios, de hábitos gregarios, con conchas inequivalvas grandes y gruesas. Formaron bancos y arrecifes de gran espesor, que en algunas regiones dieron lugar a rocas almacenadoras de mantos petrolíferos. Los primeros rudistas aparecen en Europa en el Oxfordiano (Jurásico tardío); son muy semejantes a algunos géneros de bivalvos de la familia Megalodontidae, de los que seguramente se originaron. A través de cambios evolutivos graduales, los rudistas se diversifican en siete familias que invadieron los diferentes nichos de las plataformas calcáreas que habitaban.

En América aparecen hasta el Barremiano (Cretácico temprano). Durante el Albiano surgen géneros endémicos, que dan lugar a un fenómeno de provincialismo tanto en América como en Eurasia. Este proceso alcanza su nivel más alto en el Maastrichtiano, cuando se presenta la extinción total del grupo. Más adelante se consideran las causas probables que podrían explicar su extinción (Alencaster, 1990).

Morfología

En general, las conchas son grandes y pesadas de ahí el nombre (*rude*: pesado, rudo; Lamarck, 1819; Alencaster, 1990). Los rudistas presentan un aspecto tan diferente al resto de los bivalvos que de no conocerse los rudistas primitivos, así como sus ancestros megalodóntidos, tal vez se les hubiera considerado como un phylum extinto de afinidades dudosas. Constan de dos valvas desiguales en forma y tamaño. La valva inferior, generalmente la mayor, está fija al sustrato por medio de la región umbonal; su forma puede ser muy variada a partir de cuatro tipos básicos: cilíndrica, cónica, foliácea y enrollada (Philiph, 1972; Alencaster, 1990 **(figura 5.8)**. La valva superior o libre es la de menor tamaño, aunque

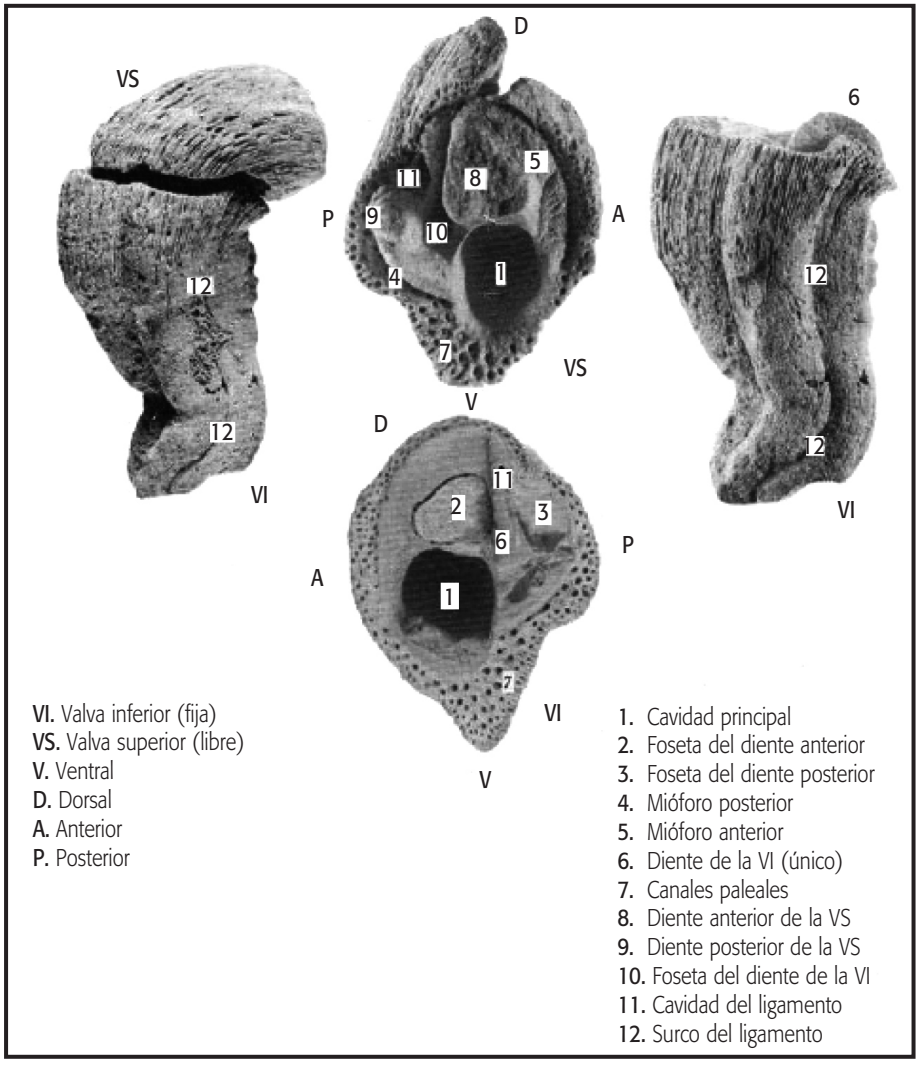


Figura 5.8. Rudista Caprínido que ilustra los principales componentes de las dos valvas. (Alencaster, 1990).

puede ser tan grande o algo menor que la fija, siendo entonces cilíndrica o cónica, curva o enrollada en espiral; cuando es pequeña, reducida a una tapa u opérculo, es cónica, convexa o plana **(figura 5.8)** (Alencaster, 1990).

Modo de vida, crecimiento y hábito gregario

La evolución de los rudistas condujo a una diversificación morfológica que permitió su adaptación a los diversos nichos ecológicos de su hábitat fundamental: las plataformas calcáreas. Por ser exclusivamente bentónicos, tanto la naturaleza del sustrato como los factores hidrodinámicos a los que estaban sometidos fueron factores determinantes respecto a la forma en que crecieron las conchas y a los tipos de asociación, por lo tanto, ambos elementos fueron decisivos en sus posibilidades de expansión. Se reconocen las tres formas básicas siguientes de fijación de las conchas al sustrato (Philiph, 1972; Kauffman y Sohl, 1979; Skelton, 1979; Alencaster, 1990).

Constructores de roca

Los rudistas vivieron asociados a otros organismos, principalmente algas, foraminíferos, corales, gasterópodos, pelecípodos, briozoarios y esponjas que, junto con los sedimentos, constituyeron cuerpos calcáreos de diversas magnitudes en forma de biostromas o biohermas. En general, estos depósitos se denominan arrecifes de rudistas, los cuales en muchas regiones alcanzaron espesores enormes; su formación fue el resultado de la superposición de numerosas generaciones de las mismas biocenosis, que durante varios millones de años crecieron en una plataforma subsidiendo lentamente. Tales arrecifes son venero de calizas que en la industria de la construcción se conocen como "mármoles"; las conchas de los rudistas constituyen una parte muy importante del volumen de esta roca.

La Caliza El Abra, por ejemplo, se explota para construcción en Taninul, San Luis Potosí, y en los campos petroleros de la Faja de Oro, Veracruz. A esta zona

se le ha calculado un espesor hasta de 2 000 metros (Guzman, 1967; Alencaster, 1990). Asimismo, los arrecifes de rudistas presentan una porosidad importante, la cual, en determinadas circunstancias, ha creado estructuras almacenadoras de petróleo. Los mantos petrolíferos más ricos del sur de Estados Unidos, México, Saudí Arabia e Irán se encuentran en este tipo de formaciones (Coogan, 1977; Alencaster, 1990).

Origen de los rudistas

Sin duda los ancestros de los rudistas fueron bivalvos de la familia extinta Megalodontidae (Silúrico - Cretácico temprano), con los que comparten muchas características comunes (Douville, 1935; Dechaseaux, 1952,1969; Kauffman y Sohl, 1979; Kauffman y Johnson, 1988; Alencaster, 1990). Estos organismos vivieron en la misma región y ocuparon los mismos nichos ecológicos que los rudistas, nichos consistentes en zonas protegidas lagunares de mares someros cálidos, con fondos de sedimentos suaves.

Extinción de los rudistas

Estos animales desaparecen al final del Maastrichtiano, cuando habían llegado a su máximo desarrollo, con el mayor número de géneros, estructuras más complejas en sus conchas y con la aparición de formas gigantes en algunos géneros (tanto en el Caribe como en Eurasia). Constituían para entonces un grupo eminentemente provincial, especializado en ambientes ecológicos restringidos, por lo que eran formas de vida vulnerables ante cualquier cambio en los factores ambientales, físicos y biológicos (Jones y Nicol, 1986; Alencaster, 1990).

Efectivamente, la extinción masiva al final del Cretácico afectó en una proporción mayor a los organismos del Tethys que a los de otras provincias marinas (Kauffman, 1979; Alencaster, 1990). Esto ocurrió hace 65 millones de años, en el intervalo Cretácico - Terciario (K - T). Aunque no fue un evento tan devastador

como el del Pérmico - Triásico, en el que se extinguieron quizá el 96% de las especies existentes (Raup, 1979); se calcula que desaparecieron el 50% de los géneros y el 75% de las especies. Los grupos que sucumbieron fueron los dinosaurios (Axelrod y Bailey, 1968; Russell, 1982; Alencaster, 1990) y la mayoría de los reptiles, los amonitas (Ward, 1983) y casi todos los nautiloideos (Newell, 1966), doce familias de bivalvos, once de gasterópodos y ocho de equinoideos (Sepkoski, 1982). Otros grupos, como los corales, fueron reducidos drásticamente (Newell, 1971; Alencaster, 1990) e igualmente los bivalvos trigónidos y ostreidos. Asimismo, se considera que el plancton marino fue uno de los grupos más seriamente afectados, lo que tuvo una profunda repercusión en la cadena trófica de los animales marinos (Tappan, 1971; Thierstein, 1982; Alencaster, 1990).

Los paleontólogos están de acuerdo en que las grandes revoluciones que provocaron la desaparición de la flora y la fauna, en una proporción muy alta dentro de una escala global, obedecen a alteraciones drásticas del medio ambiente. Para explicar el origen de dichas alteraciones se ha postulado un número enorme de hipótesis que, en general, adolecen de deficiencias por no ser aplicables a todos los casos: en ocasiones son contradictorias, o bien, no es posible demostrarlas. Sin embargo, a medida que se estudia con más profundidad los sitios donde está mejor expuesto el contacto K - T, se han encontrado evidencias de que hubo elevación extraordinaria de los continentes, así como una regresión marina de extensión casi global (Hays y Pitmann, 1973; Alencaster, 1990). Estos fenómenos provocaron descenso de temperatura, fluctuaciones climáticas intensas, cambios paleoceanográficos que destruyeron el plancton, las larvas y aun animales adultos (Officer y Drake, 1983; Alencaster, 1990), condiciones que son consideradas como el denominador común de las diferentes extinciones (Newell, 1982).

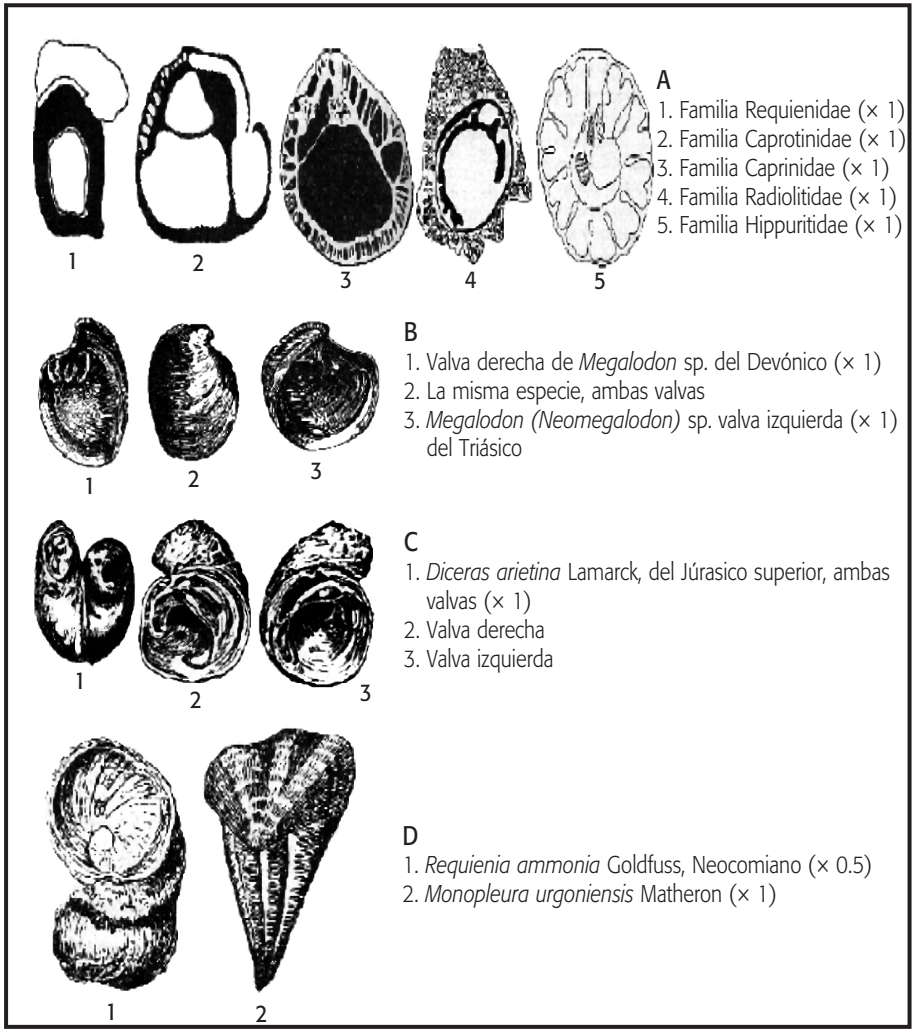


Figura 5.9. A. Estructura de la pared de la concha (corte transversal). B. Familia Megalodontidae. C. Familia Diceratidae. D. Familia Riquienidae y Monopleuridae. (Alencaster, 1990).

4. Clase Cephalopoda*

Los Cefalópodos son Moluscos caracterizados por poseer ocho, 10 o más apéndices prensiles —o tentáculos— que rodean su cabeza; el pie se encuentra modificado y en parte forma el embudo o sifón, órgano de locomoción por el que expulsan el agua de la cavidad paleal; pueden o no presentar concha **(figura 5.10).**

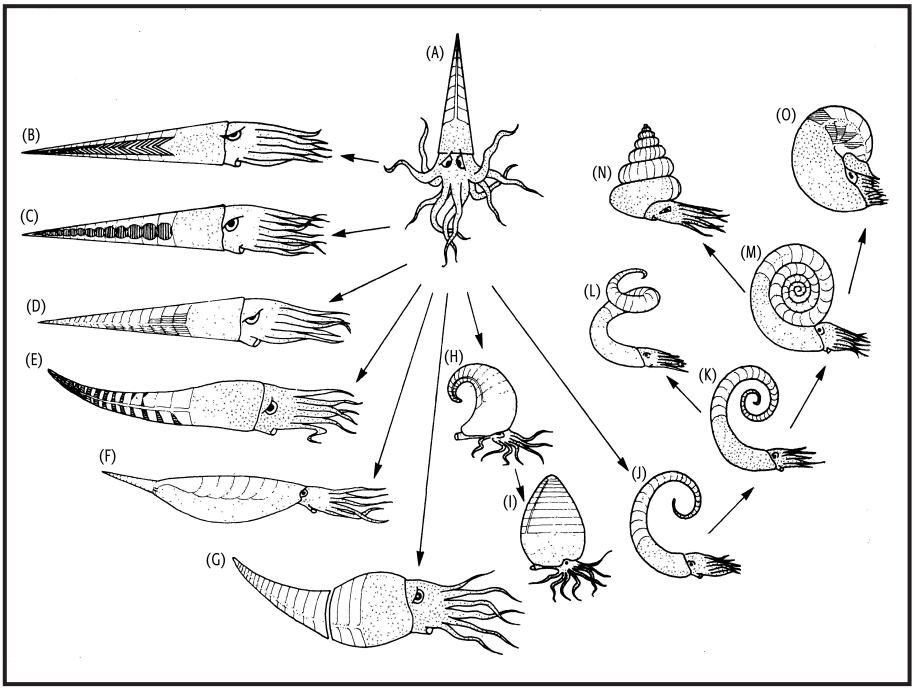


Figura 5.10. En el diagrama se ilustran algunas vertientes que la concha adoptó en la clase Cephalopoda, a partir de un ancestro. (Asociación Paleontológica, 1985).

* (Cámbrico - Reciente).

La clase entera está adaptada para llevar vida pelágica y a ella pertenecen los moluscos más especializados y organizados. Esta clase se divide en las siguientes subclases.

*Subclase Coloidea**

Sus conchas son reducidas e internas, ya que están recubiertas por tejido blando. Algunas especies tienen gran capacidad para efectuar desplazamientos, mediante potentes contracciones de la cavidad del manto, proyectando violentamente el agua del embudo, auténtico reactor que hace propulsión hacia atrás **(figura 5.11).**

*Subclase u orden Nautiloidea***

Aparecidos en el Cámbrico superior, los Nautiloidea son los Cefalópodos más antiguos. Son abundantes y variados a lo largo del Paleozoico, pero casi se extinguen al final del Triásico; durante el Mesozoico aumenta su número por algún tiempo, pero gradualmente declinan durante el Terciario.

La estructura de los fósiles de este orden se interpreta tomando como referencia el único género viviente: *Nautilus*, que vive en la última cámara de su concha (cámara de habitación) en el extremo anterior del cuerpo. Éste puede recogerse en cámara, cerrando la abertura por medio de una pieza muscular.

La concha de los Nautiloidea (recta, arqueada o enrollada) es un cono tabicado, externo con respecto al animal; funciona a la vez como refugio y soporte, y también como un órgano hidrostático que facilita la vida pelágica, gracias a un gas que se aloja en la zona tabicada. La cámara de habitación se comunica con

* (Silúrico - Cretácico).

** (Cámbrico - Reciente).

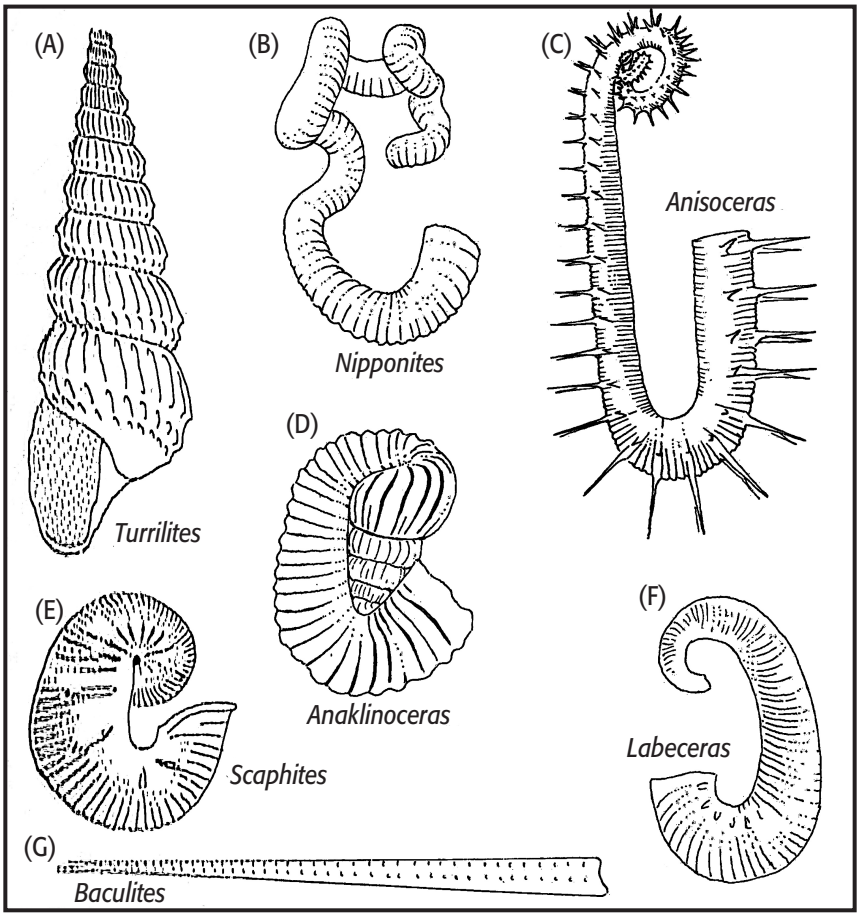


Figura 5.11. Algunas formas típicas de las conchas de la Subclase Coloidea. (Asociación Paleontológica, 1985).

la cámara inicial mediante el sifón, tubo membranoso que atraviesa todas las cámaras y tabiques, y cuya posición varía según los grupos. La función del sifón consiste en regular la presión del gas que ocupa las cámaras.

La clasificación de los Nautiloidea se basa fundamentalmente en los caracteres internos de la concha: posición y estructura del sifón y depósitos intracamerales. Sin embargo, muchos géneros —e incluso especies— pueden ser determinados con base en su morfología externa **(figura 5.12)**.

Esta subclase estuvo representada en el Cámbrico superior por: *Tarphyceras*, con espirales muy delgadas que se enroscaban estrechamente y estaban en contacto; y por *Vestinautilus* (Carbón) que mostraba un grado similar de enroscamiento, pero con espiras ornamentadas en forma de un estriado longitudinal. Nautiloidea produjo cierto número de retoños que difieren sobre todo en el

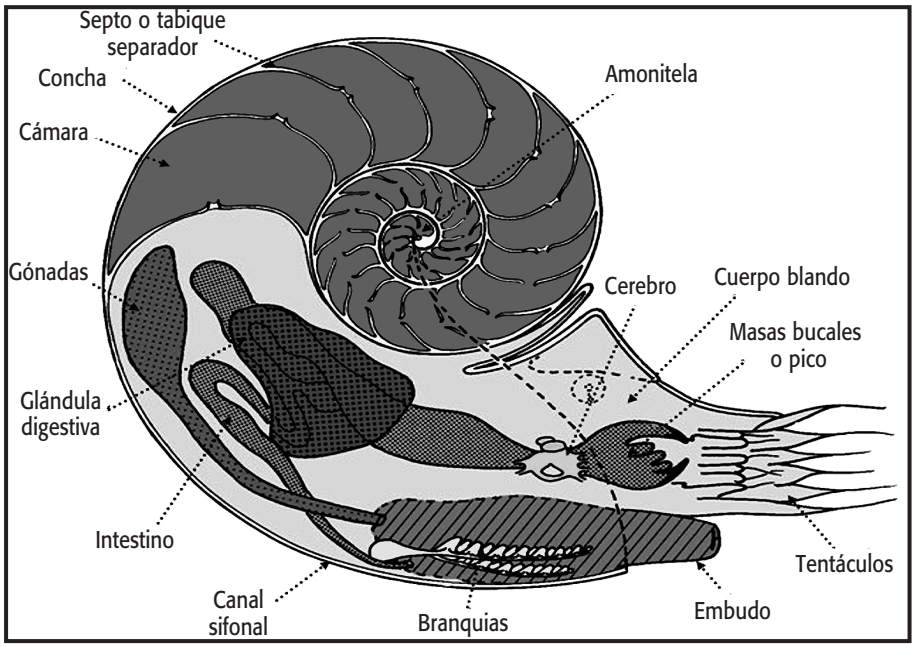


Figura 5.12. Reconstrucción interna de un nautiloideo.

Imagen tomada de: *(http://www.nrcc.utmb.edu).*

grado de enroscamiento. Así en *Gyroceras*, el enroscamiento fue abierto con frecuencia, esto es, las espiras no estaban unas en contacto con las otras.

Los ejemplares predominantes en el Paleozoico tienen conchas rectas o curvas, sin embargo, las formas arrolladas son bastante comunes. En algunas se forma un material adicional de la concha, alrededor del tubo cigoñal y de los golletes. Las especies de concha recta desaparecen al final del Triásico, quedando solo formas arrolladas en espiral plana, tanto evolutas como involutas, con suturas en zigzag.

El *Nautilus* aparece desde el Oligoceno, pero hay géneros muy parecidos que son Mesozoicos.

*Subclase u orden Ammonoidea**

Los Ammonoidea, comúnmente llamados ammonites, son Cefalópodos de concha externa y tabicada, como la de los Nautiloidea, con los que presentan muchas analogías, aunque también notables diferencias estructurales. Por esta razón, no es seguro que la anatomía de las partes blandas de ambos grupos fuese la misma.

Al contrario de los Nautiloideos, los Ammonoidea tienen tabiques convexos hacia adelante, con sifón marginal; los cuellos septales en general también están dirigidos hacia adelante. Los miembros de esta subclase son casi siempre prosifonados **(figura 5.13)**, y son exclusivamente fósiles. No se conoce ningún caso en que se hayan conservado impresiones de las partes blandas, por lo cual todas las deducciones paleobiológicas se hacen solo con base en sus conchas.

La forma general de la concha es muy variada y depende principalmente del grado de enrollamiento, que es un carácter ligado a la evolución de cada grupo.

* (Devónico temprano - Cretácico tardío).

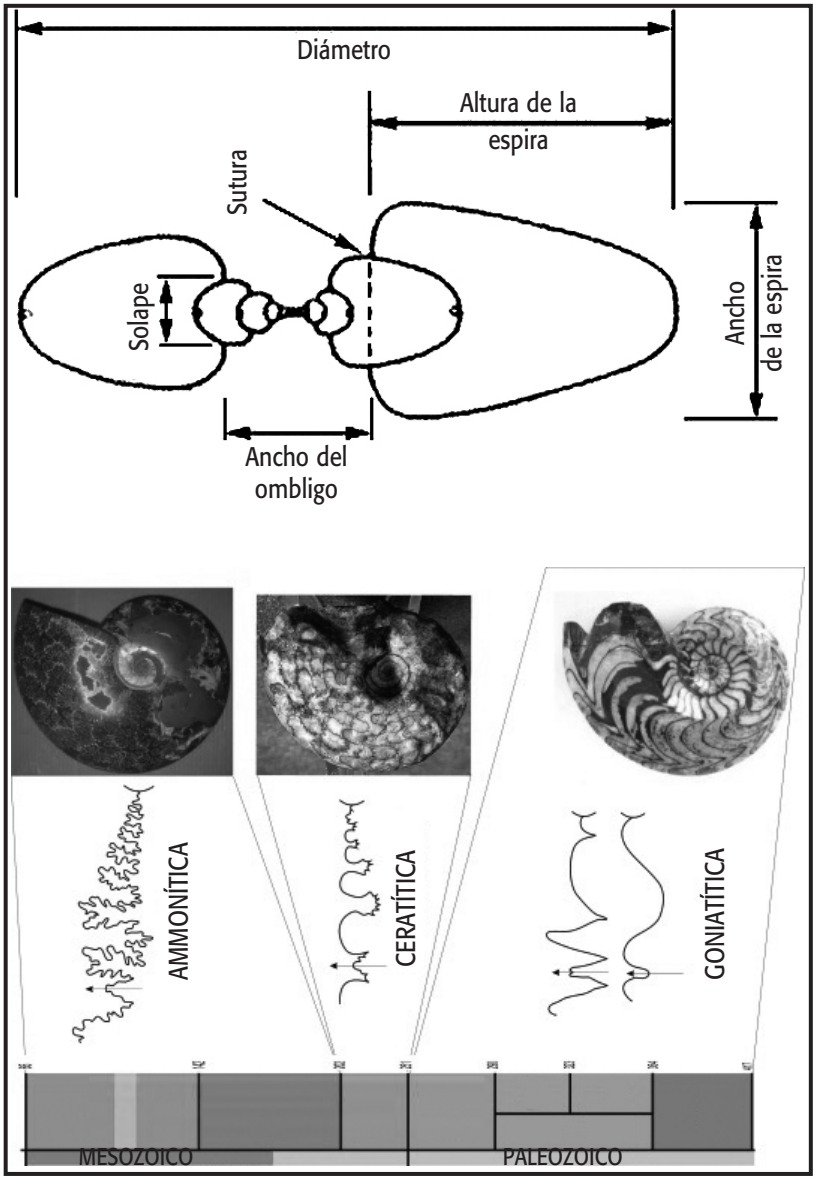


Figura 5.13 Diagrama ventral. Corte transversal. Corte lateral. Vista típica de un *Goniatites manticoceras*. Representación agrandada de la misma sutura.

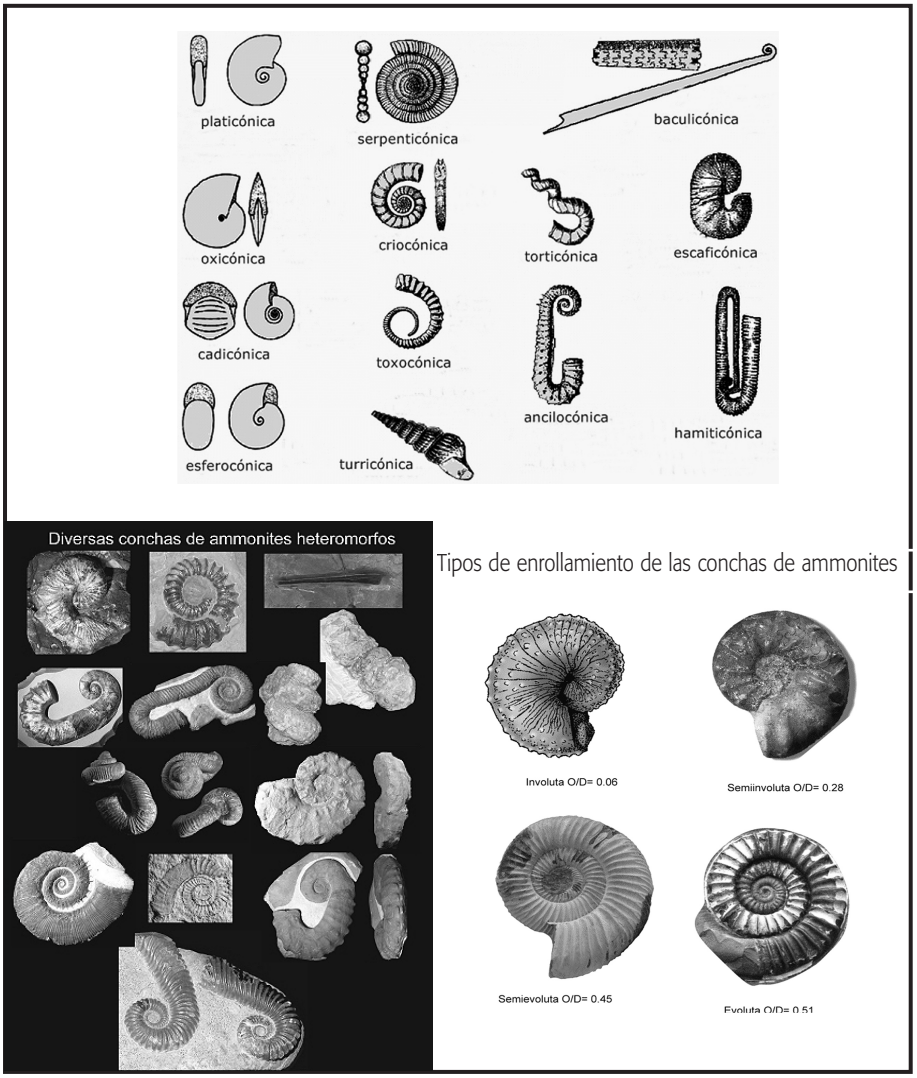


Figura 5.14. Tipos de enrollamiento en la concha de los ammonoideos heteromorfos. (Moore *et al*., 1952).

Se observa una tendencia general al desarrollo de la concha, y no es raro que aparezcan formas con enrollamiento anómalo **(figura 5.14)**. El estudio de las proporciones de esta estructura conviene realizarlo con métodos biométricos, considerando diversas medidas como diámetro, espesor y amplitud del ombligo, entre otros elementos.

La concha de los Ammonoideos, dentro del mismo plan estructural que el de los Nautiloidea, se caracteriza por tabiques opistocélicos (cóncavos hacia la cámara embrionaria y convexos hacia la abertura) muy alabeados en los bordes, lo que origina una sutura muy complicada, en la que alternan "lóbulos" dirigidos hacia atrás y "sillas" que se proyectan hacia delante, existiendo un cierto número de estos elementos sobre la parte visible de la última vuelta (externos, laterales y marginales), y otros que quedan recubiertos por las espiras interiores de la concha (internos y yugales).

Las suturas llegan a alcanzar una extraordinaria complicación por la presencia de elementos adventicios que dividen las sillas o los lóbulos, y por las incisiones o los dientes que respectivamente aparecen en unas y otros, originando suturas muy "recortadas".

La concha. Es una estructura que generalmente se encuentra mal conservada; comprende diversas capas de las cuales solo la capa interna nacarada está presente en los fósiles con bastante frecuencia. El espesor de la concha es muy desigual según los géneros, pueden oponerse formas delgadas (leiostráceos) con formas espesas (traquiostráceos). La última vuelta de la concha recubre frecuentemente las precedentes (forma involuta). El límite entre la superficie recubierta y la superficie libre se llama línea de involución. El borde ventral del caparazón es el borde externo (concha exogástrica).

Se distinguen diversas formas de conchas: los oxiconos son estructuras lenticulares agudas; los platiconos tienen formas lenticulares redondeadas ventralmente (en el exterior); esfericonos y cadiconos son conchas globosas, las primeras, y alargadas las segundas; en los serpenticonos el ombligo es ancho y

las vueltas poco cubrientes; en los crioconos las vueltas de espira están despegadas.

La cámara ocupada (última cámara) puede ser más o menos larga y solo en casos excepcionales ocupa más de dos vueltas. Según la longitud de la cámara

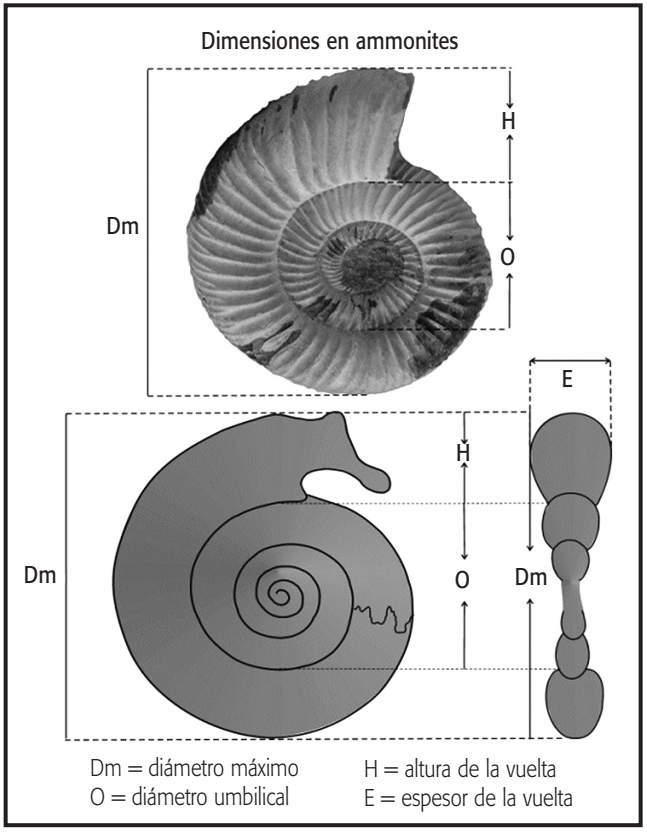


Figura 5.15(a). Ensanchamiento medio de la sección dorsoventral en la porción adapical de las conchas típicas de los Ammonoideos. Exposición diagramática de varias estructuras internas (modificado de Barnes, 1990).

ocupada se distinguen ammonites brevedomos y longidomos. Los primeros probablemente tenían el cuerpo globoso, mientras que los segundos podrían ser vermiformes **[figuras 5.15 (a) y (b)]**.

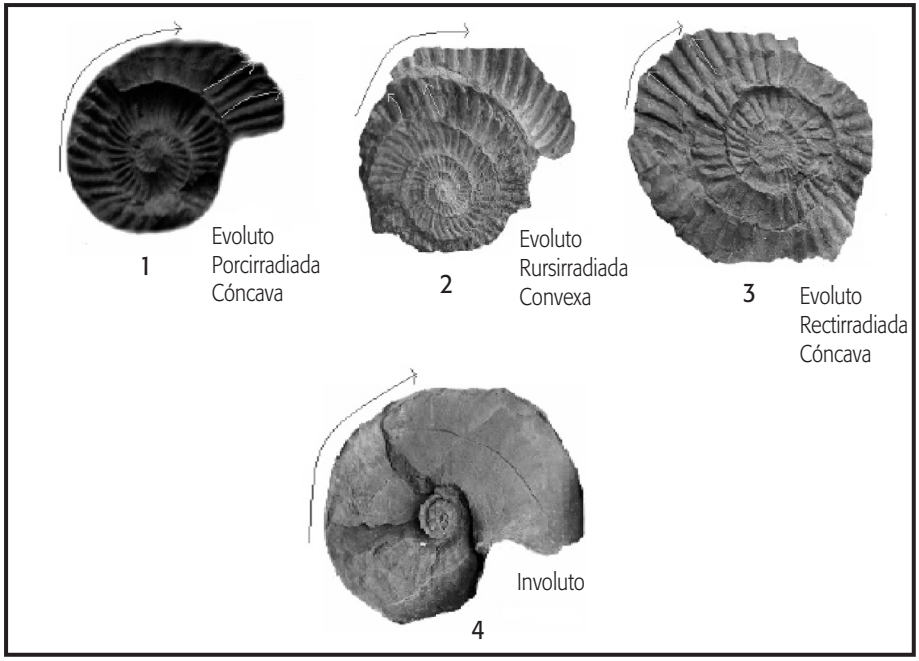


Figura 5.15(b). Tipos de costillas y número de enrollamientos en la concha de los ammonoideos. 1. *Arnioceras tonatiuh* (Erben, 1956). Tipo de enrollamiento evoluto, dirección de costillas porcirradiadas, tipo de costillas cóncavas, número de enrollamientos 3; **2.** *Arnioceras abjectum* (Erben, 1956). Tipo de enrollamiento evoluto, dirección de costillas rursirradiadas, tipo de costillas convexas, número de enrollamientos 5; **3.** *Pleurechioceras james-danae* (Erben, 1956). Tipo de enrollamiento evoluto, dirección de costillas rectirradiadas, tipo de costillas cóncavas, número de enrollamientos 5; **4.** *Phylloceras* (Erben, 1956). Tipo de enrollamiento involuto, número de enrollamientos 3. (Hernández, 2000).

Muestras propiedad de la UAM-I.

La ornamentación varía con la edad y puede desaparecer incluso completamente en las partes más viejas de la concha (gerontismo).

El peristoma **(figura 5.16)**, es decir, el borde de la cámara ocupada, puede a veces estar engrosado en forma de labio; su contorno puede ser conforme a una sección de la vuelta o escotado en relación con ésta. Cuando el peristoma es sinuoso, presenta concavidades o senos y convexidades (lóbulos); en los ammonites *sensu stricto*, frecuentemente muestra una lengüeta ventral y a veces dos largas apófisis yugales a los lados. El peristoma puede ensancharse o

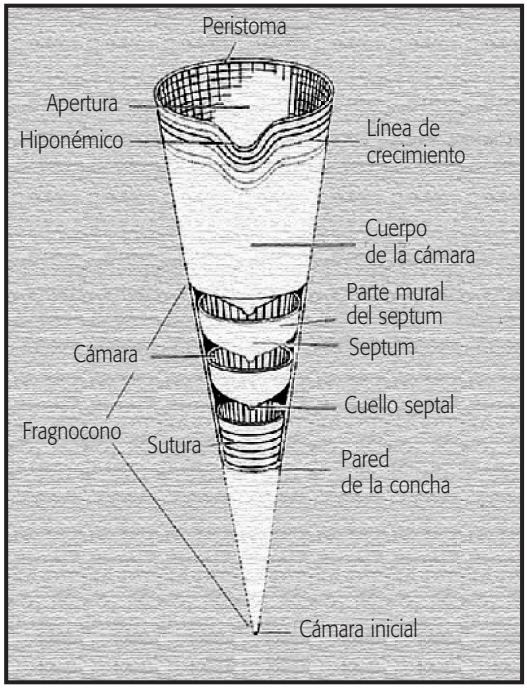


Figura 5.16. Croquis diagramático de la concha ortocónica. En la parte anterior de los septos del fragnocono, la estructura se muestra ampliamente espaciada para exponer su verdadera forma. (Tasch, 1973).

contraerse. En ciertos casos es reemplazado por varios orificios: uno medio para la boca y el embudo; dos laterales ocupados probablemente por los ojos; y dos orificios periumbilicales a derecha e izquierda, por los que tal vez podían salir los brazos.

El sifón —al contrario que en los nautilos— penetra en la protoconcha en donde termina por un engrosamiento o ciego; está unido al fondo de la protoconcha (cámara embrionaria) por un tubo calcáreo: el prosifón. En ciertos ammonites, como *Phylloceras*, el sifón se engruesa también cuando atraviesa los primeros tabiques. En cada cámara, existe alrededor del sifón un gollete calcáreo, o cuello septal, dirigido hacia adelante (ammonoideos *sensu stricto*: prosifonados) o hacia atrás (goniatites y climenias: retrosifonados). En las climenias, los cuellos septales son muy alargados, alcanzando la pared de la cámara precedente.

En el curso de su desarrollo, un ammonites puede ser primero retrosifonado y después prosifonado. El sifón no es nunca medio en la vuelta externa: es externo o ventral en los extrasifonados (ammonoideos-goniatítidos) o interno en los climénidos (intrasifonados). Sin embargo, el sifón atraviesa frecuentemente los primeros tabiques casi en sus centros. Así pues, los ammonoideos pueden clasificarse, según la posición del sifón y la dirección de los cuellos septales, en:

Retrosifonados	Prosifonados	Ammonoideos
	Intrasifonados	Climénidos
	Extrasifonados	Goniatítidos

Por otra parte, la sutura puede ser estudiada por medio de diversas técnicas **(figura 5.17)**. En general aparece hueca, ya que el tabique ha sido disuelto durante la fosilización, entonces, se puede dibujar no siguiéndola, sino extendiendo pintura sobre la pared del fósil y lavándola a continuación: la pintura queda en el hueco de la sutura. También se puede tomar un molde en colodión,

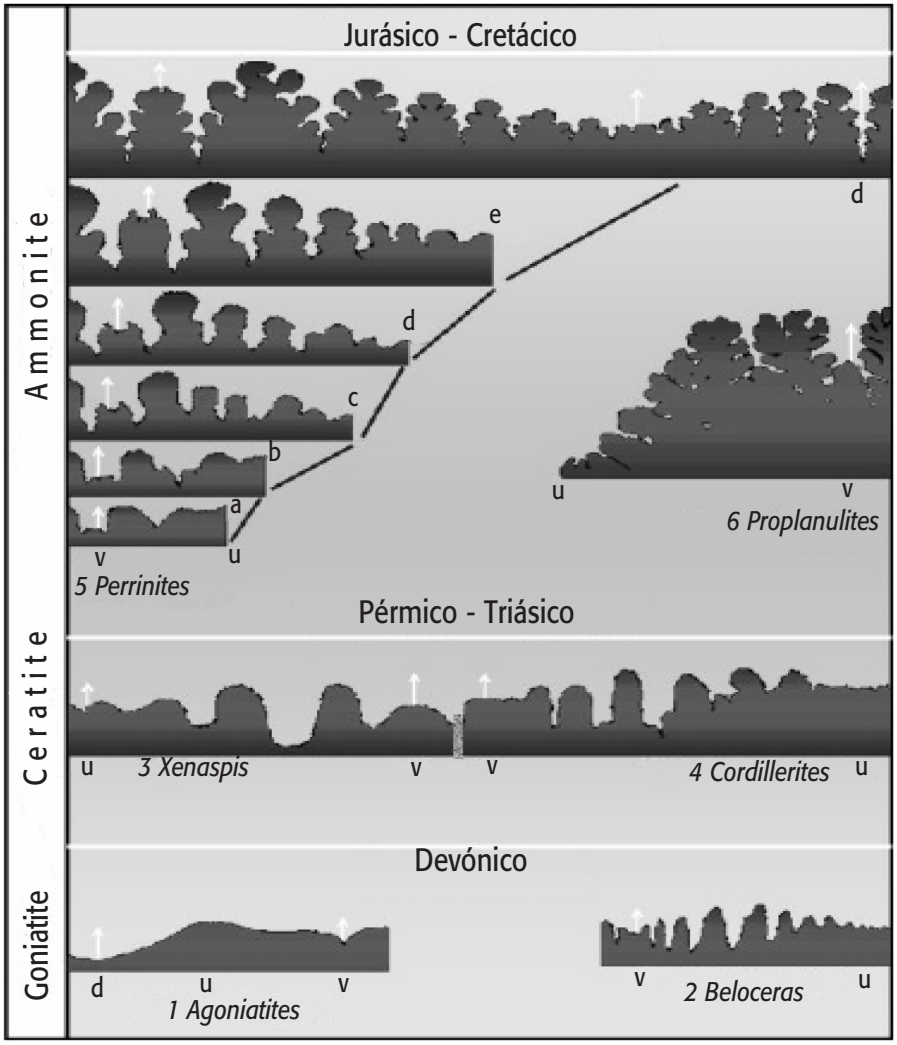


Figura 5.17. Comparación de la sutura en los Ammonoideos. Presentación de las suturas de los Goniatitoides, Ceratitoides, Ammonitoides, con edades del Devónico al Cretácico. (Moore *et al.,* 1952).

lo que tiene la ventaja de que la unión se puede observar en un plano. Recordemos que la sutura se estudia, en principio, según su proyección en el plano tangente en el borde ventral de la concha.

La sutura comprende partes convexas hacia adelante (modillones o sillas) y partes cóncavas (lóbulos); es una estructura que varía en el transcurso del desarrollo de los ammonites. A partir del segundo tabique, presenta dos elementos impares: el lóbulo ventral externo "E" y el lóbulo dorsal interno "I". Después aparecen nuevos lóbulos por invaginación de los modillones.

La sutura de la cámara inicial es profundamente diferente de la de otras cámaras. Presenta frecuentemente un modillón ventral primario: éste, a partir del segundo tabique, da lugar a un lóbulo ventral externo. En los ammonites se distinguen tres tipos de sutura embrionaria:

1. Aquella ligeramente cóncava, a veces deprimida por un pequeño lóbulo medio (goniatites primitivos).
2. La que presenta un modillón central ancho (goniatites más recientes, verdaderos ammonites del Pérmico y parte del Triásico).
3. La que cuenta con un modillón ventral estrecho (presente en diversos ceratites y en los verdaderos ammonites más recientes).

La línea de sutura definitiva se complica por incisión de sus elementos: lóbulos y sillas permanecen simples en los goniatites; en los ceratites, solo los lóbulos presentan incisión; y en los ammonites, tanto los lóbulos como las sillas tienen incisiones. Pueden distinguirse tres tipos de tabiques: goniatítico, ceratítico y ammonítico. Cuando las incisiones son muy numerosas, la sutura se denomina perejilada. En general, las suturas son más fuertemente perejiladas en el Jurásico y Cretácico que en el Triásico, pero parece que este carácter alcanza, en todos los niveles del Mesozoico, las extremidades de las ramas filéticas. Además, se conocen en el Cretácico pseudoceratites y pseudogoniatites con suturas ceratíticas y goniatíticas.

Aptico. Se denominan así a las piezas calcáreas o córneas, simples o pares, ovales o triangulares que, por sus formas, se deduce que debían de cerrar las conchas de los ammonites ajustándose exactamente a los peristomas, del mismo modo que en los opérculos de los gasterópodos. Parece que puede discernirse una evolución de los diferentes tipos de apticos; los anapticos corneosilíceos y univalvos son conocidos del Devónico al Cretácico. La ornamentación de los apticos es muy variada, con mayor cantidad de estilos en el Cretácico. Asimismo, su estructura y definición está relativamente relacionada con la edad geológica.

De manera general, la evolución de los Ammonoideos se manifiesta en la progresiva complicación de las suturas, en las que aparecen nuevos elementos sobre los flancos de las conchas, como consecuencia de que los bordes de los tabiques van siendo cada vez más ondulados. Así, encontramos tres tipos de sutura que corresponden a tres diferentes grados de evolución.

1. **Goniatitoide.** Simplemente ondulada con lóbulos y sillas enteros, tipo presente durante el Devónico - Carbonífero.
2. **Ceratitoide.** Con sillas enteras o simples incisiones (no divididas por lóbulos adventicios) y lóbulos dentados. Son características observables durante el Pérmico - Triásico.
3. **Filoceratoide o Ammonoidea**. Con lóbulos y sillas divididos que pueden alcanzar una gran complicación; es el tipo propio del Mesozoico.

Los Ammonites se cuentan entre los fósiles más abundantes y característicos en el Jurásico - Cretácico, pero ya en el Paleozoico superior —desde el Devónico— son abundantes, y se utilizan corrientemente como elementos para caracterizar divisiones estratigráficas, las cuales en ocasiones llegan a ser muy detalladas, pues las zonas definidas por especies de Ammonoideos en el Jurásico, tienen menos de un millón de años de duración.

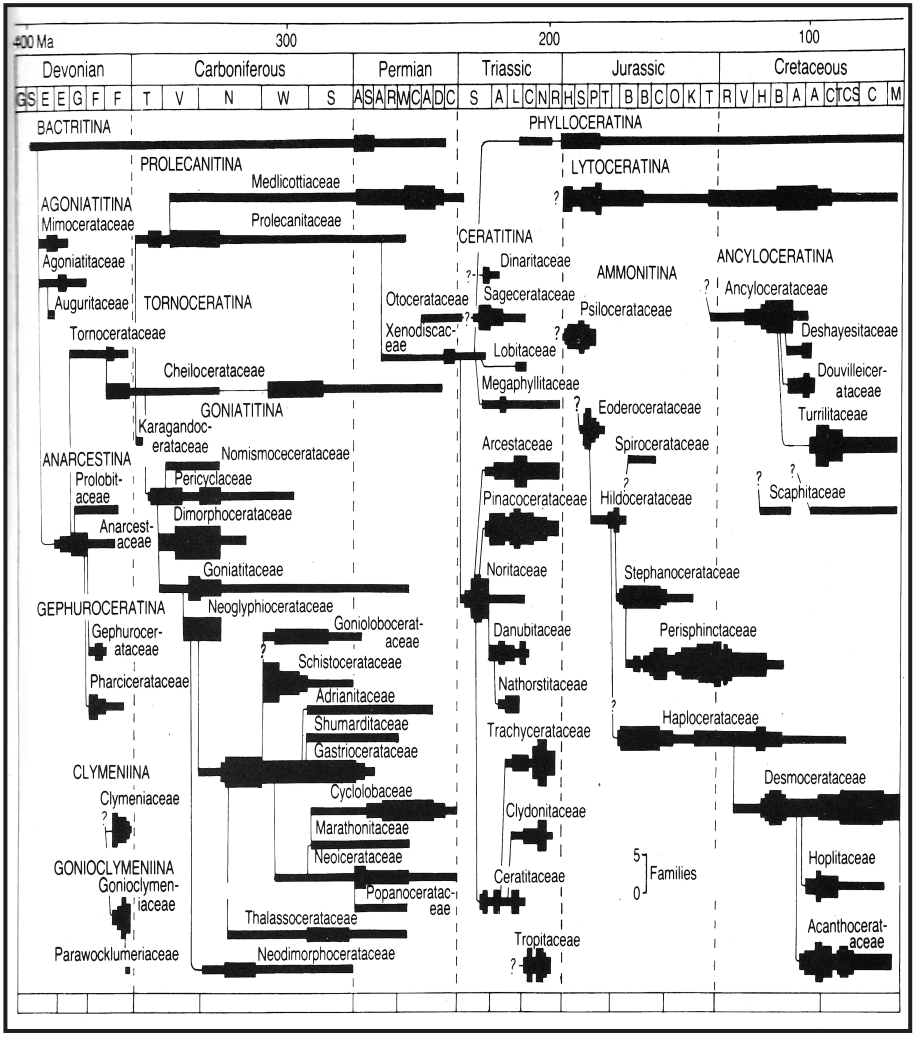


Figura 5.18. Posible curso evolutivo de los ammonoideos. La anchura de las líneas negras corresponde al número de familias con su respectivo grupo y su tiempo. (Asociación Paleontológica, 1985).

Capítulo 6

Phylum Cnidaria

Son los animales eumetazoos vivos más antiguos y los de forma más simple, pero se cuentan entre los más conspicuos y ecológicamente importantes en todos los océanos del mundo, incluso tienen una presencia modesta en aguas dulces. Los cnidarios más antiguos aparecen en los fósiles de Ediacara, sur de Australia, que datan del Precámbrico, hace unos 600 millones de años. Su forma corporal básica es un simple saco: con un estómago o celenteron, cuyas paredes solo tienen dos capas de células, y con tentáculos alrededor del orificio único que sirve de boca y ano. A pesar de su constitución primitiva, algunos organismos pertenecientes a este phylum —como los corales y especialmente las medusas— son depredadores importantes y, a su vez, sirven de alimento para otras criaturas. Los corales son los principales componentes y artífices de las islas y arrecifes coralinos, los hábitats más ricos en especies después de las selvas tropicales. Los cnidarios demuestran que un animal puede ser muy antiguo y simple, pero tener un enorme éxito e influencia.

El phylum Cnidaria —o Celenterados— incluye las hidras, medusas, anémonas de mar y corales. Este grupo posee tres características fundamentales: en primer lugar, sus cuerpos presentan una simetría radial claramente primitiva, por lo cual se les coloca en una categoría del Reino Animal denominada Radiata. En segundo lugar, aunque estos animales pueden alcanzar un gran tamaño —algunas medusas tienen más de un metro de diámetro y tentáculos que se extienden a lo largo de más de 10 metros—, sus cuerpos están constituidos a partir de dos únicas capas de células. En tercer lugar, poseen un intestino "ciego", con una sola abertura que sirve tanto de boca como de ano.

Al contrario de las esponjas, los Cnidarios presentan una cavidad digestiva tapizada por endodermo —como el resto de los animales—, la cual se denomina celenteron o cavidad gastrovascular, porque realiza tanto funciones digestivas como circulatorias. Este órgano se localiza a lo largo del eje polar del animal, y se abre al exterior en uno de los dos extremos formando la boca. Los cnidarios también presentan un círculo de tentáculos rodeando la boca, los cuales son

evaginaciones de la pared del cuerpo que ayudan en la captura del alimento (Barnes, 1990).

La pared del cuerpo de estos organismos consta de tres capas básicas: un epitelio externo, la epidermis; un epitelio interno que recubre la cavidad gastro-

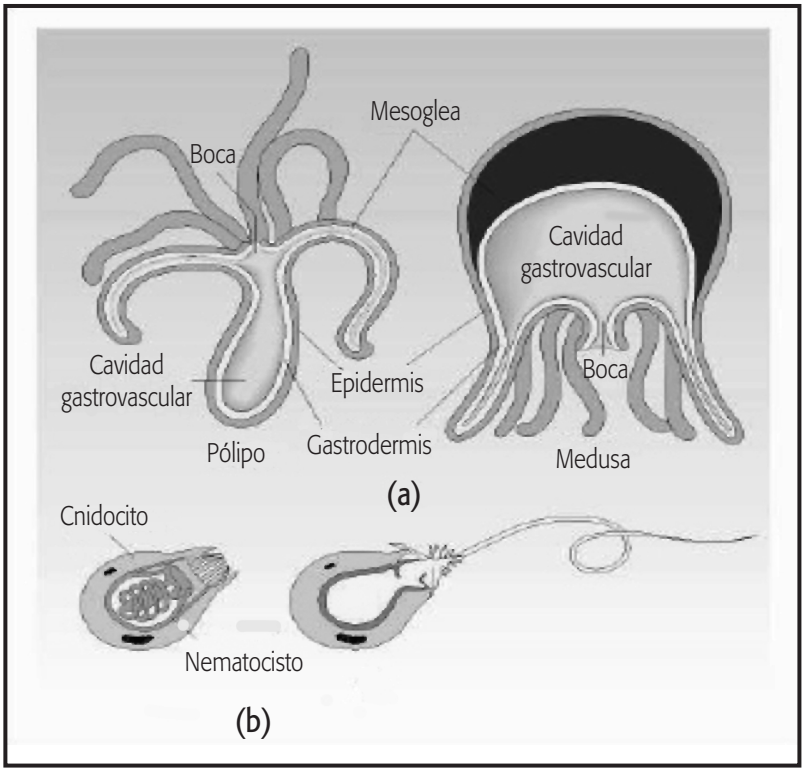


Figura 6.1. Formas básicas de los cnidarios y su estructura. a) Pólipo en forma de vasija (a la izquierda) y la medusa en forma de cuenco (a la derecha); **b)** Cnidocitos (células especializadas situadas en los tentáculos y en la pared del cuerpo).

Imagen tomada de: *(iescarin.educa.aragon.es/depart/biogeo/varios…)*

vascular, la gastrodermis; y, entre las dos, una capa denominada mesoglea. Así, los cnidarios son diblásticos, es decir, sus cuerpos presentan únicamente dos capas germinales: ectodermo y endodermo **(figura 6.1)**.

Aunque todos los cnidarios presentan básicamente tentáculos y simetría radial, dentro del phylum se observan dos formas básicas: una de ellas, generalmente sésil, es el pólipo; y la otra forma, en su mayoría de natación libre, es la medusa. Típicamente el cuerpo del pólipo es tubular o cilíndrico, con el extremo oral —que lleva la boca y los tentáculos— dirigido hacia arriba, y el extremo opuesto o aboral, fijo al sustrato. El cuerpo de la medusa toma aspecto de campana o sombrilla, con la cara convexa dirigida hacia arriba y la boca en el centro de la cara cóncava, mientras que los tentáculos cuelgan hacia abajo del borde umbrelar. La mesoglea del pólipo es más o menos fina, en tanto que en la medusa es extremadamente gruesa y constituye la mayor parte del volumen del animal.

Todos los organismos de este phylum son marinos, excepto las hidras y unos pocos hidrozoos dulceacuícolas. La mayoría habita en aguas someras, y las formas sésiles abundan en litorales rocosos o en las formaciones coralinas de los mares tropicales. Se conocen fósiles de cnidarios del Precámbrico y existe un rico registro fósil desde el periodo Cámbrico.

El éxito y la variedad del phylum —se conocen de 8 000 a 9 000 especies vivas— se pueden explicar en gran parte por su dimorfismo: poseen dos formas corporales que corresponden a dos papeles ecológicos diferentes y complementarios. El pólipo es la forma de la anémona: la boca y tentáculos usualmente miran hacia arriba, y lo que debería ser la parte apical del organismo está fija al sustrato —o inmersa en él—, si el sustrato es blando. La otra forma es la de la medusa: el animal flota y la boca y los tentáculos miran hacia abajo. Los pólipos generalmente son sésiles, es decir, están fijos y se alimentan del plancton o los peces que llegan hasta ellos; las medusas, en cambio, son planctónicas bastante pasivas que se dejan llevar, o bien, nadan activamente.

1. Clase Anthozoa

Esta clase solo presenta en su ciclo de vida la fase de pólipo, la pared del cuerpo que rodea la boca se invagina para formar una faringe en forma de guante. El celenteron está dividido por septos gastrodérmicos.

Subclase Octocorallia

Los octocorales forman colonias con pólipos conectados por láminas o hilos de tejido llamados estolones. Cada pólipo tiene ocho tentáculos, generalmente pinnados (en forma de pluma).

Orden Gorgonacea (abanicos de mar): son corales comunes que presentan un crecimiento vertical en forma de arbusto, y un esqueleto axial de material orgánico córneo; tienen espículas calcáreas aisladas o fusionadas.

Orden Pennatulacea (pluma de mar): comprende las plumas y las violetas de mar. Su estructura se sostiene por un pólipo primario alargado que forma una columna central de hasta un metro de largo, con una protuberancia (pedúnculo) en la base con la cual se fija usualmente en sedimentos blandos; también presenta pólipos secundarios que nacen como ramas laterales, los cuales a menudo son luminiscentes.

Orden Alcyonacea (coral blando): son organismos principalmente tropicales, cuyo esqueleto está constituido por espículas calcáreas separadas.

Orden Stolonifera (coral de órgano): comprende colonias de pólipos simples que nacen de un estolón cintiforme, el cual se extiende sobre el sustrato; la colonia entera está recubierta por un esqueleto córneo.

Subclase hexacorallia

Son organismos solitarios o coloniales y pueden estar desnudos o poseer esqueletos calcáreos o quitinosos. Tienen una o dos filas de tentáculos y poseen cnidocistos de muchos tipos distintos. Los mesenterios que dividen el celenteron se encuentran en pares, generalmente en múltiplos de seis, de donde proviene su nombre.

Orden Ceriantharia (anémona tubícula): son organismos alargados, solitarios, que viven en sedimentos blandos; se encuentran en el interior de tubos formados por cnidocistos especializados y mucus. La boca está rodeada de tentáculos cortos, mientras que en el exterior presentan tentáculos finos y largos.

Orden Scleractinia (coral duro): Los corales pétreos o escleractinias (también llamados madreporangios), pertenecen a la clase Anthozoa y se encuentran muy relacionados con las anémonas, aunque los corales generan un esqueleto duro que les recubre. Los escleractinios constituyen el orden más grande de esta clase, son grupos de pólipos reunidos en colonias de formas distintas; entre estas formas, la de mayor desarrollo es la de colonias discoidales. La aparición de los corales tuvo lugar en la era Paleozoica, pero estos organismos sufrieron una extinción masiva durante el Pérmico. En la era Mesozoica, tras dicha extinción, aparecieron nuevas especies y formas de corales, las cuales dominan los arrecifes actuales. Un ejemplo de coral pétreo fósil es la especie *Dendracis gervillei*, la cual se puede encontrar en Auvers (Francia), en los estratos procedentes del Cenozoico.

El esqueleto está constituido por carbonato cálcico, que es secretado por la epidermis de la parte más baja de la columna, así como por el disco basal. Este proceso de secreción produce un cáliz esquelético dentro del cual se sitúa el pólipo. El suelo del cáliz contiene unos escleroseptos calcáreos, radiales y delgados. Cada uno de ellos se extiende hacia arriba y penetra en la base del pólipo, doblando sus capas basales e insertándose entre un par de mesenterios. Mientras la colonia está viva, se sigue depositando carbonato cálcico por debajo de los tejidos vivos.

Los corales pétreos forman arrecifes a ras de agua en mares cálidos; son los de mayor interés geológico, ya que están presentes desde el Mesozoico a la actualidad. *Porites*, *Cyclolites*.

Orden Corallimorpharia (anémona coraliforme): pueden ser tanto solitarias como coloniales y carecen de esqueleto. Los Coralimorfos son un grupo hermano de los Escleractinios, y a ambos grupos se les llama a veces Madreporarios.

Orden Actiniaria (anémona de mar): es un grupo grande y variado que contiene unas 41 familias de anémonas de mar "verdaderas". Pueden ser solitarias o formar clones, pero nunca son coloniales. No poseen esqueletos calcáreos, pero algunas secretan un esqueleto quitinoso, y la mayoría alberga zooxantelas. Usualmente la columna (el cuerpo principal del animal) está perforado para poder expulsar el agua al contraerse, y a menudo está adornada con verrugas, pseudotentáculos o vesículas. Los tentáculos son huecos y pueden ser digitiformes (en forma de dedos) o ramificados.

Orden Antipatharia (coral negro): los corales negros o espinosos son especies de tipo gorgona con colonias erguidas y forma arbustiva. Los pólipos se sitúan alrededor de un esqueleto axial, compuesto de material córneo negruzco y con espinas. Son abundantes en las aguas profundas de los trópicos.

Orden Zoanthiniaria (anémona zoantiniaria): se parecen a las anémonas de mar, pero generalmente son coloniales, con pólipos enlazados a través de un tapete basal de tejido o estolón. Carecen de un esqueleto auténtico, pero muchos de sus miembros incorporan granos de arena o espículas de esponjas a sus gruesas paredes corporales. Son organismos que suelen estar dotados de zooxantelas y muchos son epizoicos, es decir, viven sobre otros animales que los portan. Tal es el caso de *Adamsia*, que vive fijo en conchas de moluscos ocupadas por cangrejos ermitaños.

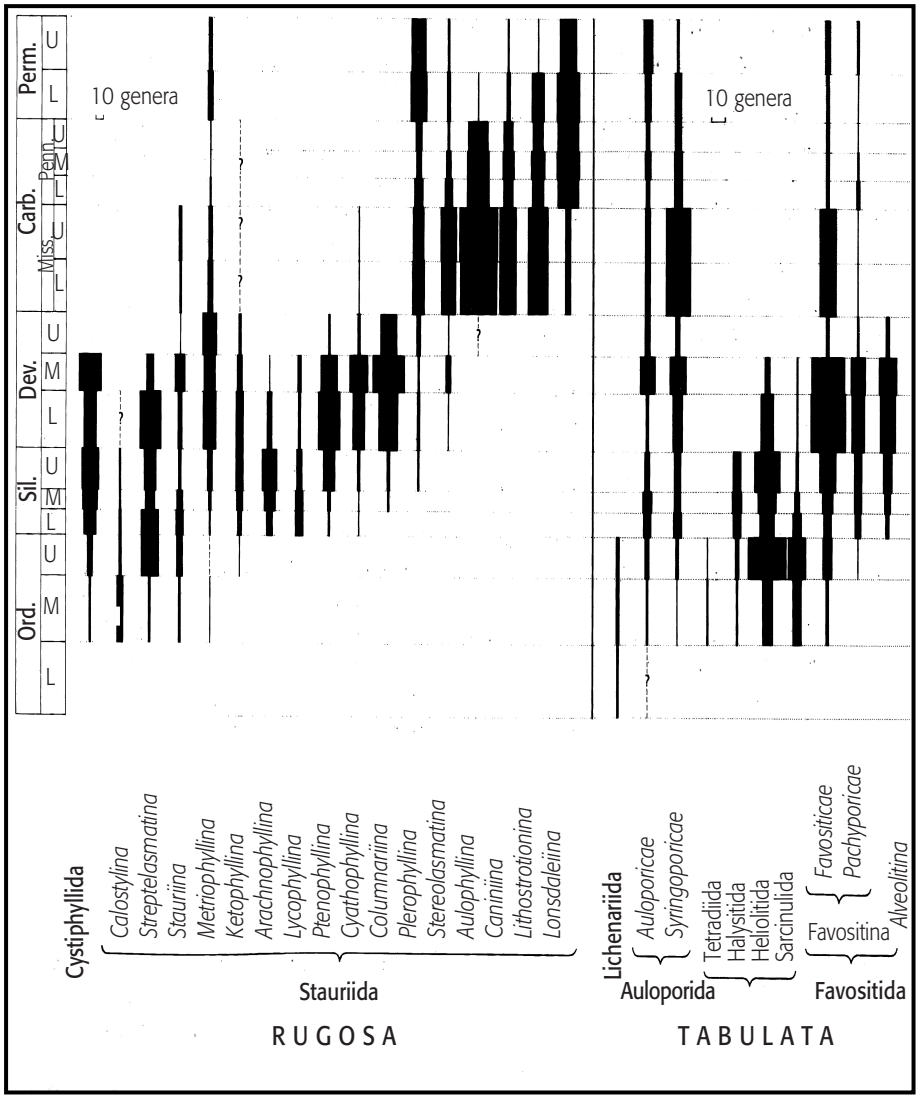


Figura 6.2. Alcance estratigráfico de los Cnidaria. (Asociación Paleontológica, 1985).

Capítulo 7

Phylum Bryozoa

Briozoos significa "animales musgo", el grupo engloba dos filos distintos: los Endoproctos y los Ectoproctos. Los briozoos pueden ser solitarios o coloniales y, a primera vista, los animales individuales (zooides) parecen corales, aunque la estructura de su cuerpo es muy diferente. Algunas de las colonias están ramificadas y recuerdan pequeñas algas; otras son incrustantes y forman tapetes sobre la superficie de algas o rocas. Una inspección detenida revela que las formas incrustadas generalmente tienen estructura de colmena, formas que a veces son llamadas "tapetes marinos" o "alfombras marinas". Algunas especies tienen forma de musgo, por lo que reciben el nombre de musgos marinos.

Este grupo constituye uno de los grandes phylum de animales, pero debido al tamaño pequeño de su cuerpo, los briozoos son mucho menos conocidos que los demás grupos de invertebrados de mayor tamaño.

En algunas colonias ectoproctas los zooides son polimórficos, especializados en distintas funciones: defensa, reproducción, limpieza, algunos de ellos participan en la fijación de la colonia al sustrato y otros se encargan de la alimentación.

Los endoproctos comprenden unas 150 especies, mientras que los ectoproctos tienen unas 4 000, además de que cuentan con un amplio registro fósil. Los dos grupos son muy diferentes en los detalles.

Los briozoos forman colonias sésiles constituidas por zooides, cada uno de los cuales tiene aproximadamente 0.5 mm de longitud. A menudo los zooides son polimórficos, aunque típicamente el cuerpo de cada uno consiste en un tronco estático y un introverto donde se encuentra el lofóforo. En la mayoría de las especies, el tronco produce una cubierta protectora con un orificio, por donde el lofóforo asoma al exterior. El interior del cuerpo está ocupado principalmente por un celoma amplio (metacele), y por el tubo digestivo que tiene forma de "U". No poseen órganos para el intercambio gaseoso ni para la excreción. Casi todas las características de los briozoos están relacionadas con el pequeño tamaño del cuerpo de los zooides: la organización colonial, el polimorfismo y la presencia de una cubierta esquelética rígida.

El phylum comprende tres clases: **Phylactolaemata**, **Gymnolaemata** y **Stenolaemata**. Esta última contiene pocas especies marinas actuales y más de 500 géneros fósiles; la clase Gymnolaemata es casi exclusivamente marina e incluye a la inmensa mayoría de los briozoos actuales; la clase Phylactolaemata está restringida a las aguas dulces y, aunque se encuentra ampliamente distribuida, solo contiene unas 50 especies actuales.

Los briozoarios son pequeños animales coloniales que viven fijos sobre todo en ambientes marinos, y más raramente en agua dulce. Sus representantes más antiguos datan del Ordovícico inferior, habiéndose identificado hasta el momento 25 000 especies. Los organismos del género *Monotripa* (Trepostomata, Trematoporidae) se conocen en sedimentos del Ordovícico al Pérmico, en el hemisferio norte, donde formaron colonias masivas (hemisféricas, bulbosas o discoidales). Los zoarios vivían libres o se desarrollaban sobre las conchas de diversos invertebrados, especialmente de gasterópodos. Esta relación se puede decir que era simbiótica, ya que los zoarios masivos de briozoos ofrecen a los gasterópodos una protección eficaz, mientras que la forma redondeada de la concha y los movimientos del gasterópodo incrementaban la circulación del agua en la colonia de briozoos, favoreciendo así el aporte de nutrientes (Turek *et al*., 1988).

Los organismos del género *Polyteichus* —muy próximos al anterior— aparecen en los sedimentos del Ordovícico europeo en forma de colonias discoidales.

Los briozoos del orden Cryptostomata fueron particularmente abundantes durante el Paleozoico. Estos animales forman expansiones reticuladas cuyas ramas están unidas mediante pilares, o bien, se reúnen dando formas anastomosadas, dejando entre ellas numerosas aberturas que les confieren un aspecto fenestrado. Las zoecias alargadas presentan un vestíbulo delante del orificio, en cuya base se desarrolla interiormente un tabique: el hemisepto; los zoarios comportan asimismo tubos intersticiales provistos o no de espinas (Turek *et al*., 1988).

Fenestella (Cryptostomata, Fenestellidae) es uno de los briozoos criptostomados más frecuentes en los arrecifes coralinos, desde el Ordovícico hasta el Pérmico. Se presenta en colonias flabeliformes, fijas al sustrato por una base pedunculada **(figuras 7.1-7.5)**. La colonia se compone de ramas delgadas que avanzan paralelas o en abanico, y están formadas por dos hileras de zoecias. Las ramas situadas en un mismo plano se unen mediante enlaces transversales, con lo que se obtiene una red regular. *Fenestella* es un género frecuente en los depósitos carbonatados poco profundos, y no muestra especial predilección por aguas tranquilas o agitadas por el oleaje (Turek *et al*., 1988).

Al igual que el anterior, el género *Hemitrypa* presenta una amplia distribución geográfica y estratigráfica. Sus colonias, en forma de embudo, están constituidas por dos láminas; la inferior está revestida por una estructura espinosa probablemente con función protectora. Las aberturas de este armazón coinciden con los orificios de las zoecias de la capa inferior **(figura 7.2)**.

La gran semejanza existente entre los zoarios de los briozoos pertenecientes a la familia Fenestellidae, no permite determinarlos con precisión si no se analizan los detalles de su estructura interna. El género *Isotrypa* se encuentra en Europa, América del Norte y Asia, constituyendo colonias reticuladas en forma de embudo, cuya estructura presenta unas gruesas expansiones conectadas por disepimentos, lo que hace prácticamente idénticas las caras externa e interna; los orificios están dispuestos en fila sobre el lado externo de las ramas y están provistos de carenas globulosas **(figura 7.3)**.

En las facies arrecifales del Silúrico y Devónico de todo el mundo, normalmente aparecen briozoos del género *Semicoscinium*. La colonia, en forma de embudo, presenta las caras interna y externa muy diferenciadas; los orificios de las zoecias están situados en la parte externa de las ramas, las cuales se hayan unidas por pilares o anastomosadas. Las zoecias están dispuestas sobre las ramas en dos filas separadas por una gran carena granular y flexuosa. La parte externa es reticulada, con fenéstrulas rómbicas **(figura 7.4)**.

El género *Archimedes* pocas veces presenta crecimiento helicoidal en las conchas o esqueletos; la colonia, erguida y enrollada en espiral, está fuertemente calcificada; las ramas laterales, reticuladas y con una sola lámina, se desarrollan en espiral a partir de un eje macizo central **(figura 7.1)**.

Dentro de la familia Fenestellidae, el género cosmopolita *Polypora* (Ordovícico - Triásico inferior) fue localmente abundante. Las colonias, en forma de embudo, están provistas de fuertes ramas, con dos filas de zoecias en cada una de ellas **(figura 7.5)**.

Los briozoos del género *Acanthocladia* aparecen en los sedimentos del Carbonífero superior y Pérmico de todo el mundo. Sus colonias presentan una ramificación característica: a partir de gruesas ramas rectas o ligeramente curvadas y a regular distancia, crecen ramas laterales con disepimentos; las zoecias están dispuestas en tres o más filas.

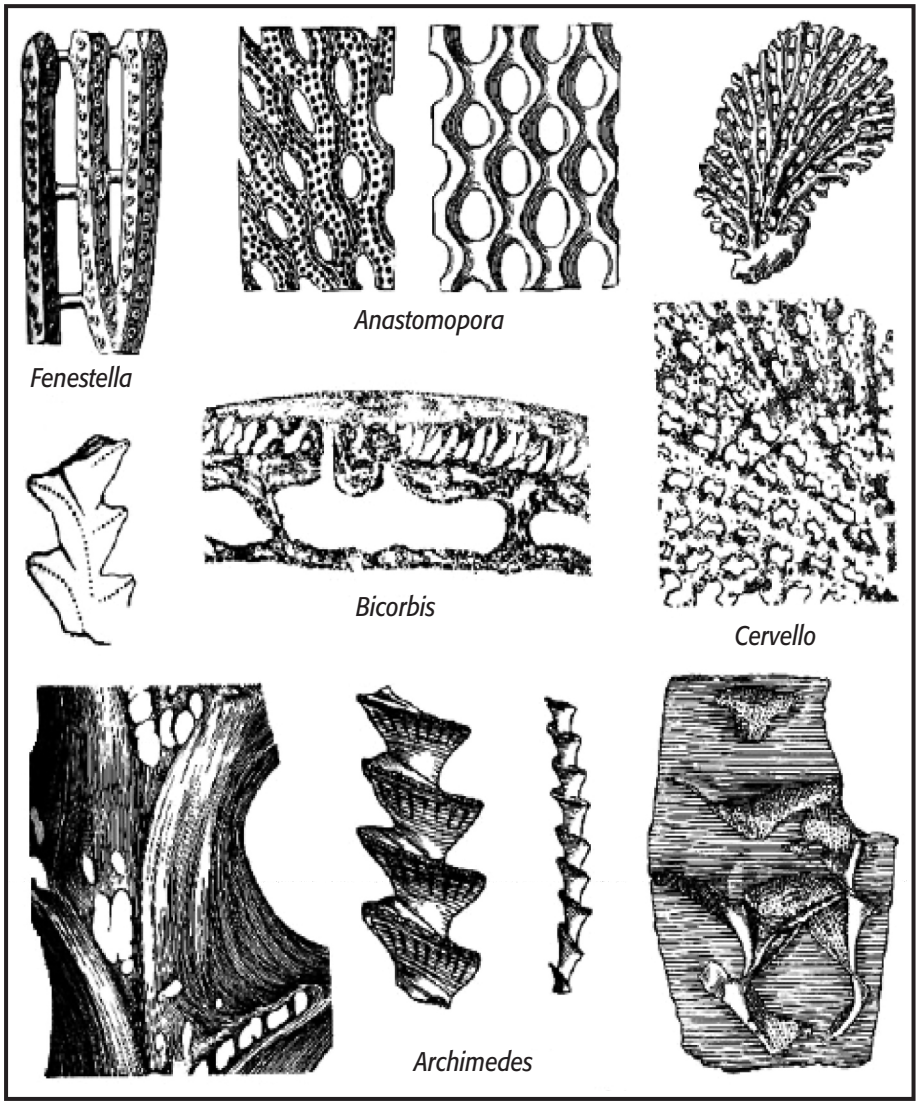


Figura 7.1. Géneros de la familia Fenestellidae. (Moore *et al*., 1952).

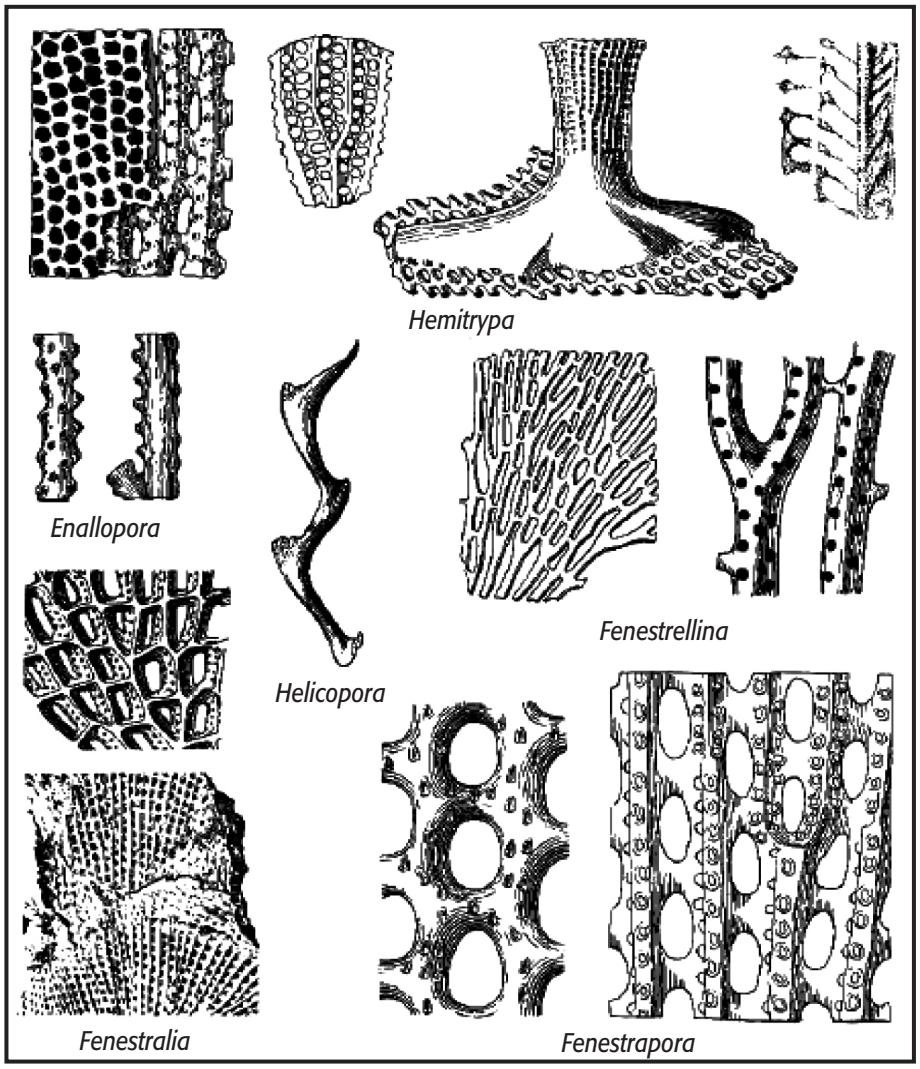


Figura 7.2. *Hemitrypa, Enallopora, Helicopora, Fenestrellina, Fenestralia y Fenestrapora,* géneros de la familia Fenestellidae. (Moore *et al*., 1952).

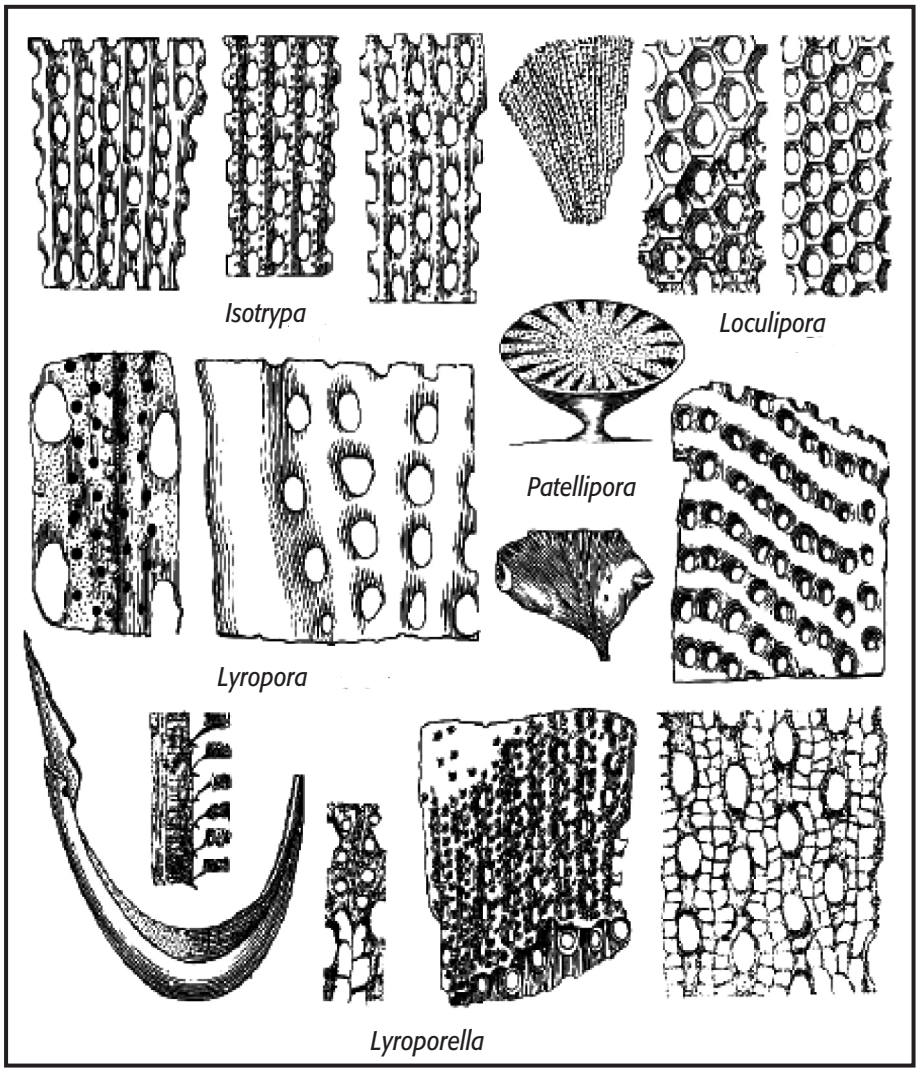


Figura 7.3. Ejemplos de géneros pertenecientes a la familia Fenestellidae.
(Moore *et al*., 1952).

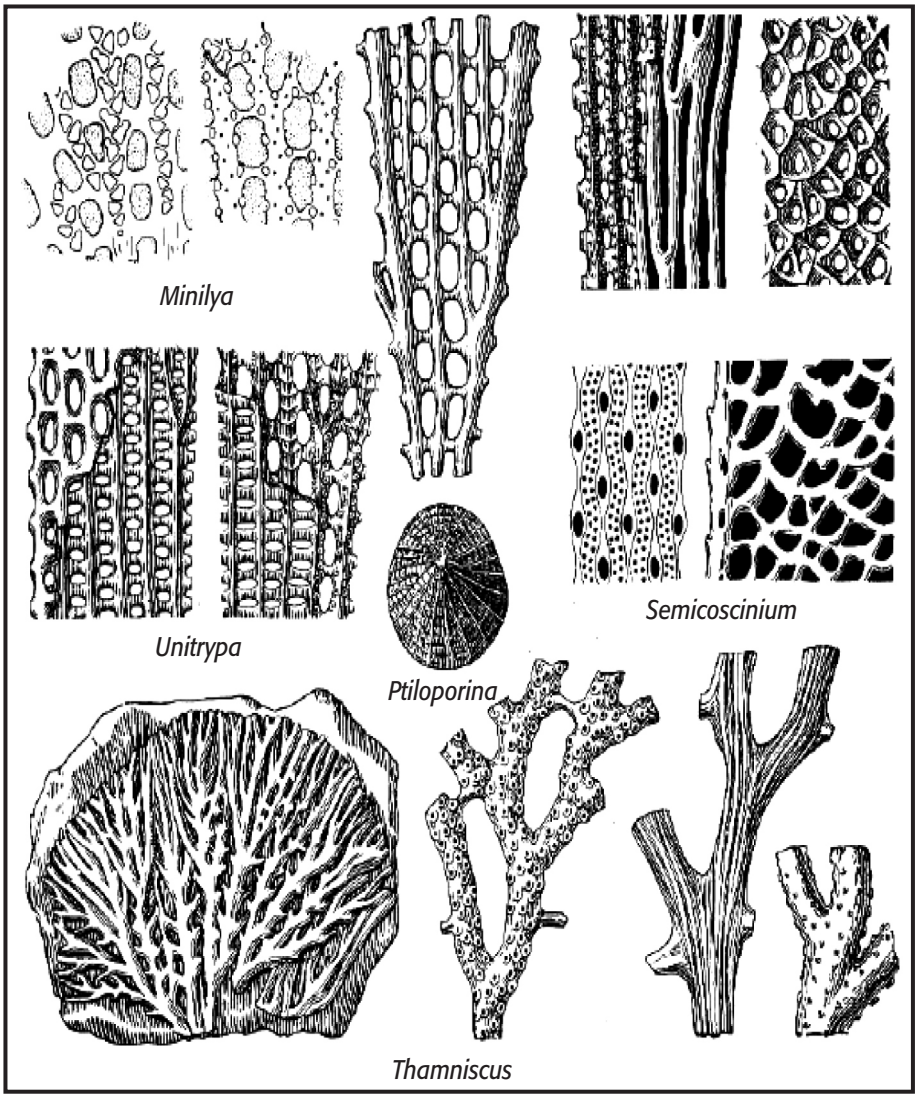


Figura 7.4. Familia Fenestellidae. (Moore *et al*., 1952).

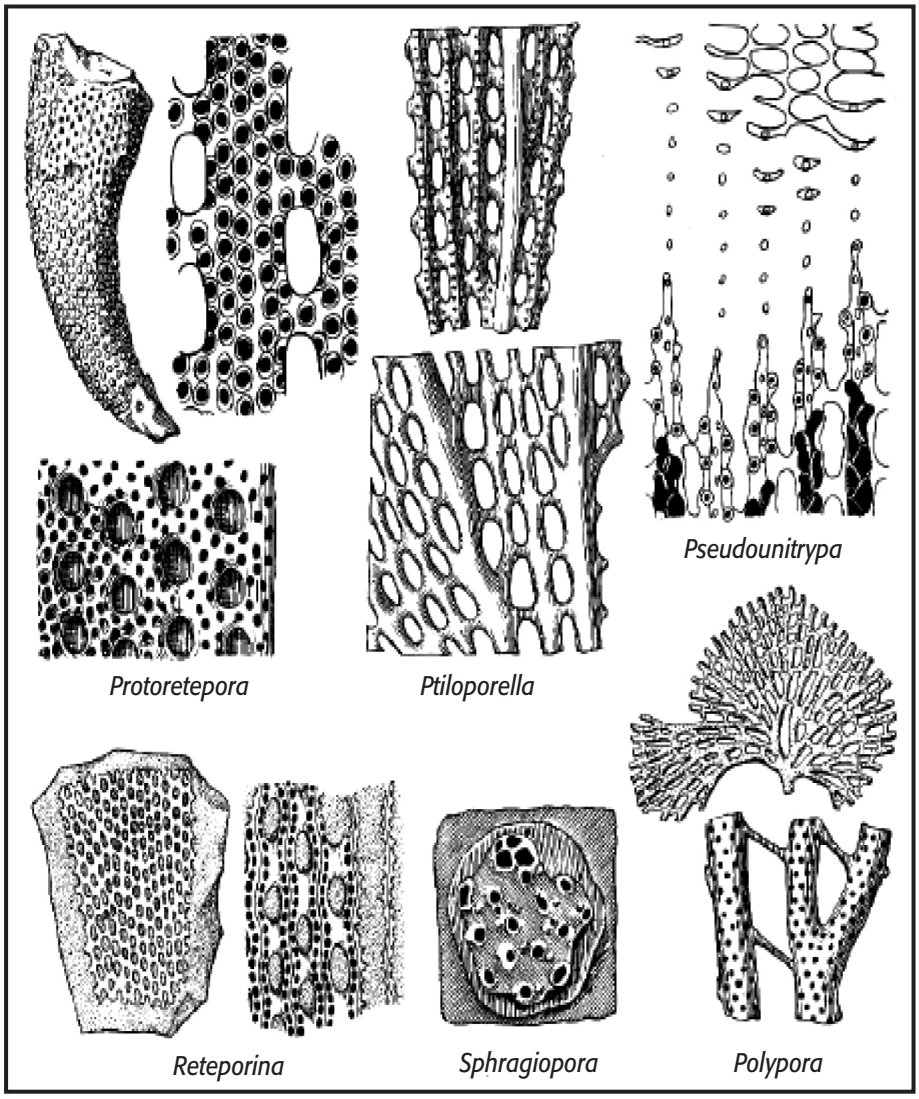


Figura 7.5. Géneros de la familia Fenestellidae. (Moore *et al*., 1952).

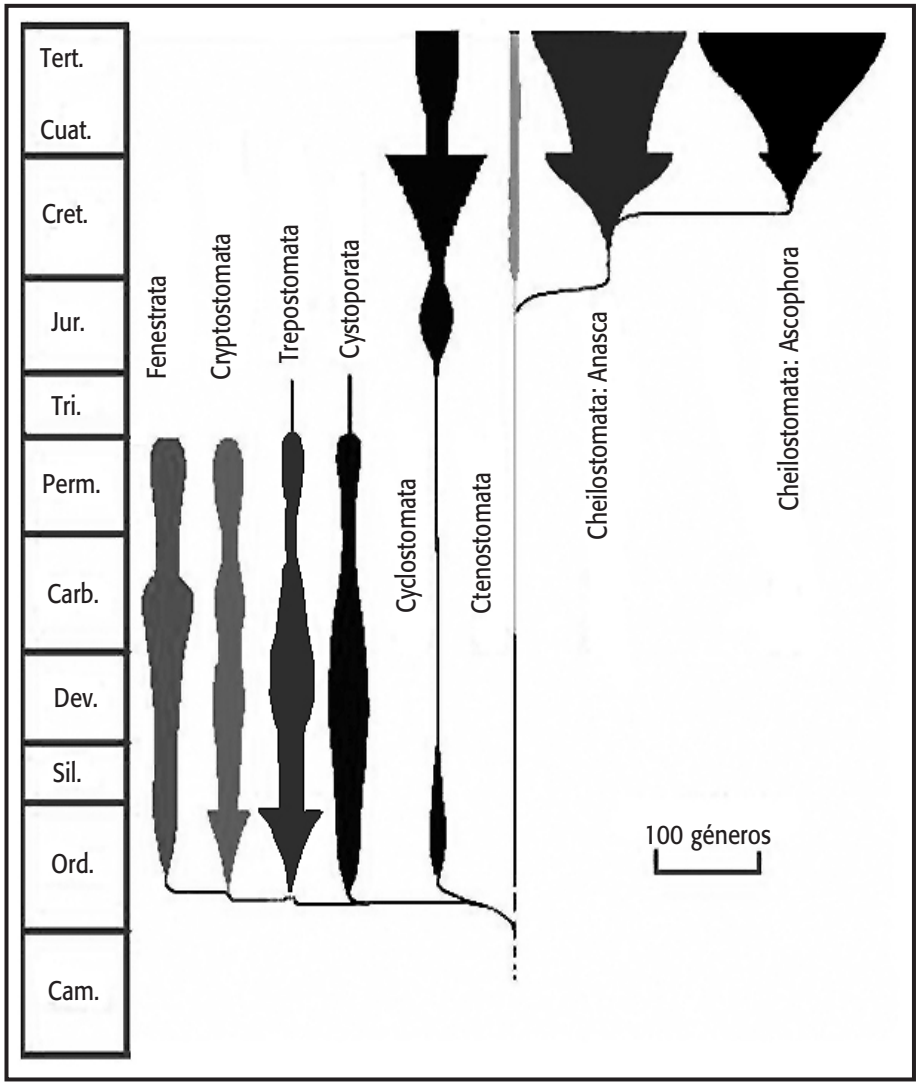


Figura 7.6. Alcance estratigráfico de los Briozoarios. (Asociación Paleontológica, 1985).

GLOSARIO

Abertura. Orificio de la concha por el cual salen la cabeza y el pie en Gasterópodos y Cefalópodos, es el extremo abierto de la cámara de habitación.

Abisal. Relativo o perteneciente a las profundidades oceánicas adonde no llega la luz solar, aunque por convención se refiere a la zona comprendida entre los 2 000 y 6 000 metros de profundidad; también se le llama abísico y abismal.

Aboral. En Equinodermos, lado superior del caparazón, opuesto a la boca. Área del cuerpo que se encuentra en el lado opuesto al de la boca.

Aciculada. Estructura con forma de aguja.

Actinodonto. Con "dientes" radiados a partir de la punta, exteriormente pueden ser más o menos elongados (se aplica a ciertos Pelecypoda primitivos del Paleozoico).

Aductor(es), **músculo(s)**. Músculos que al contraerse cierran las valvas. En los Braquiópodos, dejan un par de cicatrices en la valva peduncular y dos pares en la braquial. En los Pelecypoda solo existen estos músculos, normalmente suele haber uno anterior y otro posterior, pero ambos desempeñan la misma labor.

Adventicio. Estructura que se encuentra después de otra.

Alabeado. Estructura que presenta forma combada o encorvada.

Ambulacros (cinco). Son filas de placas con poros colocadas radialmente; se extienden desde la boca hasta el sistema apical, y están superpuestas a las vesículas ambulacrales.

Ángulo genal. En Trilobitomorpha, ángulo formado por los bordes posteriores y laterales del cefalón. Puede ser redondeado o estar prolongado por una espina o punta genal.

Antenas. Apéndices formados por artejos. Los trilobites tienen un par, colocadas una a cada lado del hipostoma.

Apéndices. En Trilobitomorpha, par de miembros unidos a cada segmento del cuerpo por el lado ventral. Comprenden: 1. un par de antenas simples, 2. numerosos pares de apéndices bífidos, cada uno formado por una rama exterior portadora de las branquias y otra interior locomotriz formada por siete artejos.

Ápice. Es lo primero que se forma de la concha y es el vértice de la espira.

Apodema. En Trilobitomorpha, inserción que aparece por pares en la superficie interior del exoesqueleto, cerca del raquis, donde se unen los músculos de los apéndices.

Batial. Nombre dado a las profundidades del mar comprendidas entre los límites del talud continental, generalmente están situadas entre los 200 y 2 000 metros de profundidad (las capas superiores son calificadas de neríticas y las inferiores de abisales).

Bentónico. Dícese de los animales o plantas que viven fijos en el fondo del mar, o de aquellos que no se desplazan mucho sobre el mismo (esta flora y fauna constituyen el bentos).

Birradial (Bisimetría). Simetría tanto radial como bilateral que presentan ciertos organismos, como algunos celenterados.

Borde anterior. Margen anterior de la concha, a lo largo del cual se abren las valvas.

Braquidio. Soporte calcáreo del lofóforo en algunos grupos de Braquiópodos articulados. Generalmente tiene forma de lazo o de espiral **(ver crura).**

Brazo. En Crinoideos, apéndice articulado que lleva un surco ambulacral en su parte oral y está sostenido por placas calcáreas braquiales.

Cadicono. Concha en forma de barril deprimido con enrollamiento más o menos evoluto, cavidad ancha y ombligo parecido a un cráter.

Calcáreo. Material que contiene cal (CaO), normalmente combinado formando carbonato de calcio ($CaCO_3$).

Cáliz. En Crinoideos, estructura formada por la cápsula dorsal y el tegmen que contiene la masa del cuerpo del crinoideo. En Anthozoa, depresión en forma de copa en la parte superior del coralito, sobre la que se asienta el pólipo **(ver coralito).**

Cámara de habitación. En Cefalópodos, es la última cámara formada y contiene el cuerpo del organismo.

Caparazón. Exoesqueleto dorsal que cubre parte del cuerpo en algunos Artrópodos, por ejemplo, en los Crustáceos.

Cápsula dorsal. En Crinoideos, parte aboral del cáliz, en forma de copa, formada por ciclos de placas, radiales las de arriba y basales las de abajo. En algunas formas se encuentran placas infrabasales, las cuales se intercalan entre el tallo y las basales.

Cárnara. En Cefalópodos, espacio cerrado por dos septos adyacentes.

Coralito. Se denomina así al exoesqueleto individual de cada pólipo de coral duro. Esta definición es aplicable al orden Scleractinia, al género *Millepora* ("coral de fuego") (orden Anthoathecata) y al género *Heliopora* ("coral azul") (orden Helioporacea), conformando todos ellos los corales hermatípicos, principales contribuyentes en la formación de arrecifes.

Crus (Crura en plural). Es la porción de base crural comprendida entre la terminación anterior de las placas cardinales y el comienzo del proceso crural.

Estomodeo. Cavidad gástrica en algunos grupos animales.

Litodesma. En los moluscos bivalvos, es una pieza accesoria de la concha ubicada en la región charnelar, pieza que sirve para reforzar la acción del ligamento.

Osículo. Cuerpos plaquiformes pequeños. En Pelecypoda, equivalente a **Litodesma**.

Oxicono. Concha involuta con una quilla ventral.

Pedúnculo. Tallo por el que los Braquiópodos se unen al fondo del mar.

Pentámera o Pentámero. Organismo que puede ser dividido en cinco planos de simetría.

Periprocto. Membrana que rodea el ano en los Equinodermos.

Peristoma. Membrana que rodea la boca en los Equinodermos.

Pétalo. Área ambulacral en forma de pétalo, adyacente al sistema apical y con pies ambulacrales respiratorios.

Pigidio. En Trilobitomorpha, pieza del exoesqueleto formada por fusión de varios segmentos y que cubre la parte posterior del cuerpo.

Pina. Proyecciones presentes en los tentáculos de algunos Antozoarios que aumentan su superficie útil.

Pinado. En Anthozoa, tentáculo que presenta pinas.

Placa compuesta. Placa ambulacral compuesta de dos o más placas unidas por un tubérculo primario y con dos o más pares de poros.

Placa genital. Placa del sistema apical, en posición interambulacral, que cuenta con un poro para la expulsión de los huevos y el esperma.

Placas deltidiales. En los Braquiópodos, dos placas que cierran parcial o totalmente el delthyrium.

Placas dentales. En Braquiópodos, placas que sobresalen de la valva pedunculara y que soportan los "dientes".

Placas oculares. Cinco placas del sistema apical: una en el extremo de cada ambulacro. Cada una de ellas está atravesada por un tentáculo terminal de la vesícula, el cual se pensó era sensible a la luz, por eso se le llama ocular.

Plastron. Es una prolongación ancha e hinchada del interambulacro posterior. En los Equinodermos irregulares, como *Micraster*, se presenta en el lado oral.

Planulada. Concha evoluta de sección más o menos oval.

Platicono. Concha que presenta un ancho de espira pequeño con respecto al alto de la misma.

Pleuras. En Trilobitomorpha, partes laterales de los segmentos torácicos.

Polifilético. Organismo o grupo cuyo origen se da a partir de varios grupos ancestrales.

Proceso cardinal. En Braquiópodos, prolongación nudosa de la línea cardinal en la valva braquial, lugar donde se insertan los músculos diductores.

Proparia. En Trilobitomorpha, sutura facial que corta los lados del escudo cefálico.

Protándrico. Individuo que presenta un corto periodo inicial de unisexualidad masculina (con producción de espermatozoos), y después desarrolla la condición de bisexualidad.

Protobranquios. Pelecypoda que presentan filamentos branquiales cortos, espesos y libres.

Protoconcha. Parte inicial de la concha ocupada por el embrión.

Radiobilateral. Véase **Birradia**l.

Raquis. Región central de los trilobites, limitada a cada lado por un surco longitudinal.

Reborde. En Trilobitomorpha, margen del exoesqueleto dorsal que se repliega sobre el lado ventral

Región axial. En Anthozoa, parte central del coralito por donde pasa el eje de simetría radial.

Septibranquios. Pelecypoda que presentan branquias reducidas a un septo que separa la cámara branquial inhalante de la cámara branquial exhalante.

Septo (Septum). En Cefalópodos, tabique transverso que divide el fragmocono en cámaras. En Anthozoa, placas radiales formadas en el fondo del cáliz, entre los mesenterios, y que se extienden verticalmente a través del coralito. Los septos más grandes se llaman mayores, y los cortos —que generalmente se intercalan con los anteriores— son los menores.

Serpenticono. Concha evoluta con varias vueltas que están en contacto y apenas se solapan.

Sésil. Inmóvil, que vive fijo sobre un sustrato.

Sifón. Tubo delgado y largo que se prolonga desde la cámara de habitación hasta la protroconcha; se presenta principalmente en los Cefalópodos.

Sillas. Véase la parte final de **Sutura**.

Sistema ambulacral. Sistema hidráulico de tubos por los que circula el agua hasta los pies ambulacrales.

Sistema apical. Pequeñas placas (oculares y genitales) en el ápice del caparazón, donde terminan las áreas ambulacrales e interambulacrales.

Superficie oral. En Equinodermos, lado inferior del caparazón, donde está la boca. Superficie donde se encuentra la boca.

Surco. Hendidura o canal ventral (en Cefalópodos). En Braquiópodos, entrante de la región anterior de una valva, opuesto a un pliegue complementario en la otra valva.

Surco occipital. En Trilobitomorpha, surco transversal que cruza la glabela y que separa el segmento posterior, el anillo occipital, del resto de la glabela.

Sutura. En Gasterópodos, surco espiral a lo largo del cual se unen todas las vueltas. En Cefalópodos, también es llamada Línea de Sutura, huella del extremo del septo que se puede observar por rotura de la pared de la concha; sólo se aprecia en los moldes internos. La línea de sutura puede presentar ondulaciones. El saliente convexo hacia la abertura se llama silla, y el cóncavo hacia la abertura, lóbulo.

Sutura facial. En Trilobitomorpha, fina línea que separa la mejilla libre del cranidio a cada lado de la cabeza; cruza desde el borde posterior o lateral del cefalón atravesando las mejillas, hasta o a lo largo del borde anterior.

Tábula. Lámina transversal plana o convexa que se extiende (por completo o en parte) a lo largo del coralito, atravesándolo.

Tallo. Pedúnculo flexible soportado por una serie de placas columnares, con el cual el crinoideo generalmente se fija al fondo del mar.

Taxodonto. Charnela con "dientes" pequeños, todos parecidos y regulares.

Teca. Estructura tubular donde se aloja el zooide.

Tegmen. En Crinoideos, membrana con o sin placas que recubre la superficie oral del cuerpo.

Tórax. En Trilobitomorpha, segmentos separados, articulados libremente e intercalados entre el cefalón y el pigidio. El número de segmentos es variable según los géneros.

Trigoniáceos. Lamelibranquios con forma similar al Género *Trigonia*.

Tubérculos. En Equinodermos, protuberancias que presentan la mayoría de las placas del caparazón donde se insertan las espinas móviles.

Tubo anal. En Crinoideos, tubo o prominencia, con la abertura anal en su extremo, que sobresale por encima de la superficie oral.

Umbo o Umbón. Es la primera parte que se forma de la valva, generalmente presenta la forma de un gancho redondeado que sobresale por encima de la línea cardinal. Parte redondeada de cada valva en su extremo posterior.

Unionáceo. Lamelibranquio con características similares o iguales a las del Género *Unio*.

Valva braquial. En Braquiópodos, valva dorsal a la que se unen el braquidio o el lofóforo; es generalmente la más pequeña.

Valva peduncular. Valva ventral a la que está unido el pedúnculo.

Vuelta. Un giro completo en el arrollamiento de la concha; la última se denomina última vuelta.

Zoario. Colonia de Briozoarios.

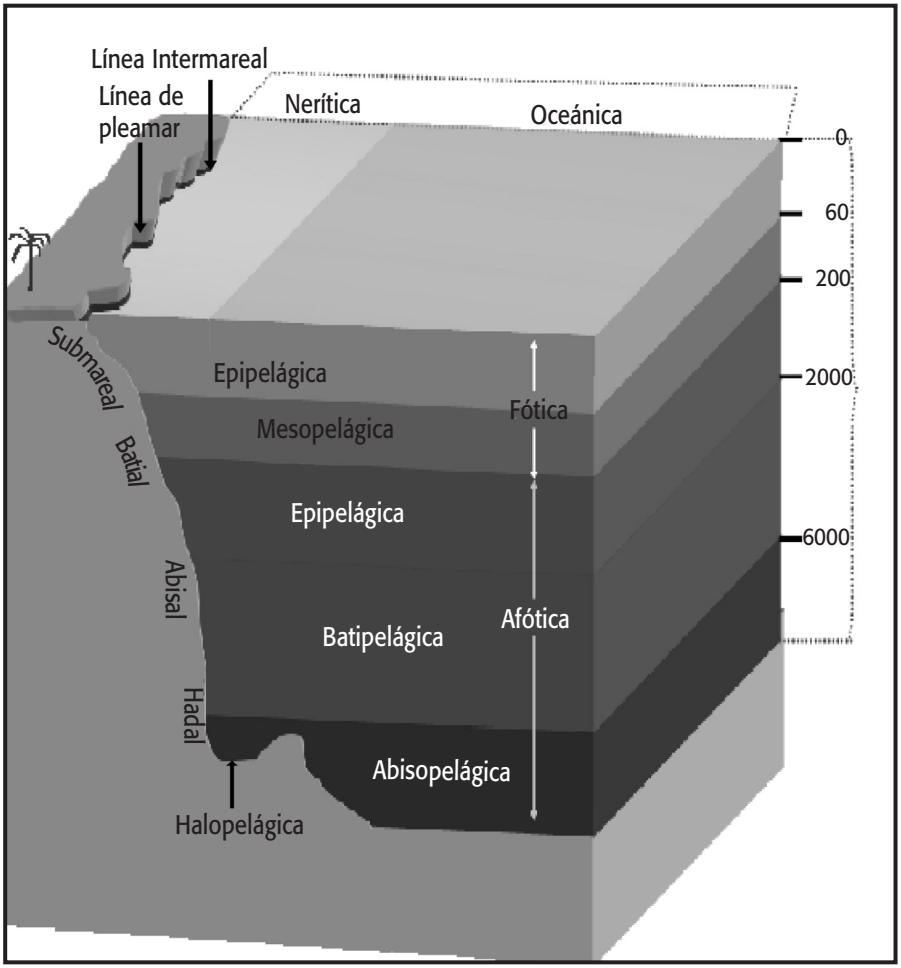
Zoecia(s) o Zoecio(s). Cámara calcárea o membranosa donde habita cada zooide. También es llamada cístido.

Zooide. Cada individuo perteneciente a una colonia de coral.

Anexo I

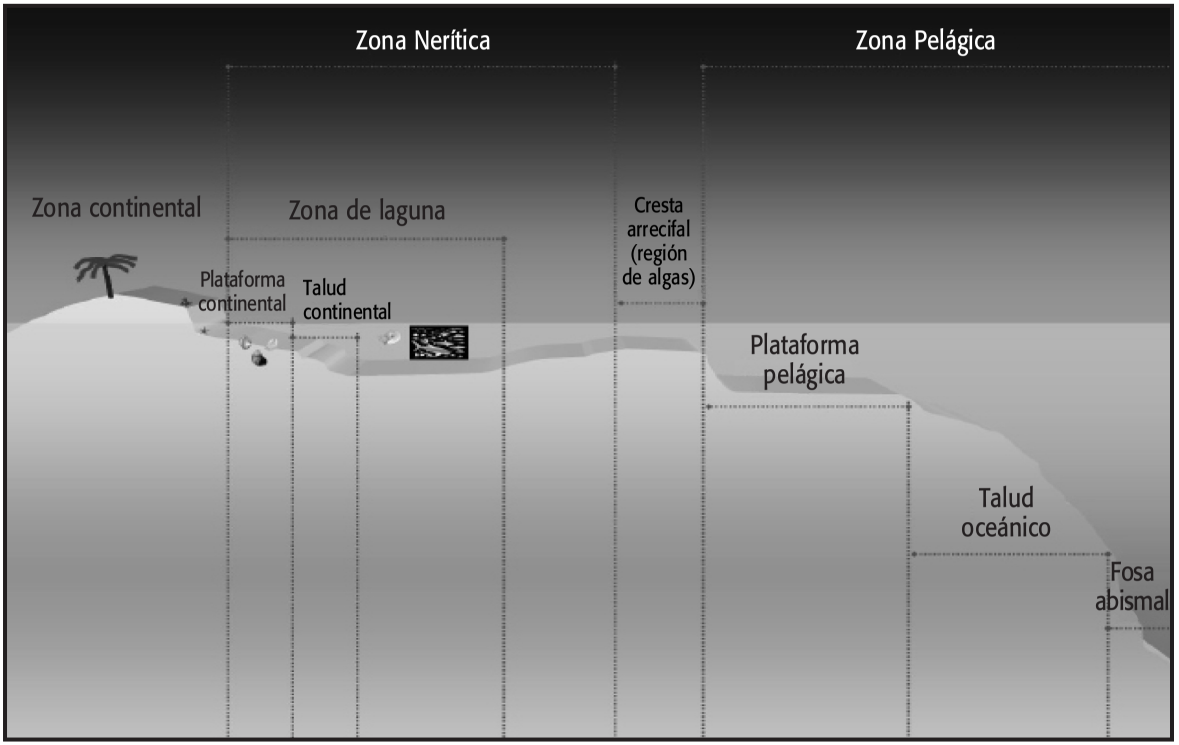
Esquema representativo de biomas marítimos

(Tomado del esquema *Biomas Marítimos* propuesto por Hickman *et al*., 1994).



Anexo II

Esquema representativo de zonas del talud continental
(Newell, 1971)



Anexo III

Cuestionario para colectas paleoecológicas

1. Distribución espacial de los fósiles dentro de la capa

a. ¿Se observa una distribución fosilífera regular en todo el paquete de estratos?

b. ¿Se encuentran en paquetes, lentes, bandas o nódulos?

c. ¿El depósito de fósiles se encuentra en un lugar determinado dentro del estrato?

d. ¿Se presentan en arrecifes o en bancos de conchas?

e. ¿Los diferentes grupos de fósiles se encuentran distribuidos de la misma manera?

f. ¿En la capa que estás estudiando existen los mismos fósiles que se conocen de ella en otros lugares?

g. ¿Hay algunos grupos fósiles raros en la zona de estudio que sean comunes en otra zona?

h. ¿Cuáles son?

2. Asociación de fósiles

a. ¿Cómo es la abundancia de cada grupo de fósiles en relación con los otros?

b. ¿Hay alguna asociación clara?

c. ¿Hay ejemplos de epequía? (fósil adherido encima de otro).

d. ¿No existen fósiles que normalmente se podían esperar?

e. ¿Hay fósiles que claramente se observen como depósitos secundados?

f. ¿Son observables los diferentes estados de crecimiento para cada especie encontrada?

g. ¿Hay indicios de mezcla de fósiles de diferentes fuentes de origen?

3. Formas de preservación

a. ¿Se observa alguna apariencia extraordinaria en la forma de preservación entre los fósiles, por ejemplo, huellas de color?

b. ¿La preservación es la misma para todos los fósiles? ¿Hay rastros de partes blandas?

c. ¿Están preservadas las partes delicadas de los fósiles, por ejemplo, las espinas delgadas?

d. ¿Están los fósiles rotos o desgastados? ¿Algunos más que los otros?

e. Observar si la destrucción incluye todo el esqueleto o solo ciertas partes.

f. En el caso de un esqueleto compuesto, ¿está preservado total o parcialmente?

g. En caso afirmativo, ¿en qué relación numérica se encuentran las diferentes partes?

h. Cuando las valvas de bivalvos se encuentran aún unidas, ¿se hallan cerradas o parcial / totalmente abiertas?

i. Cuando se encuentran partes del tallo de Crinoideos u otros pelmatozoos, ¿estas partes del esqueleto se localizan separadas, en pedazos cortos o largos?

j. Cuando existen restos de plantas fósiles, ¿qué partes son éstas (ramas, troncos, frutas, esporas)?

k. ¿Las partes de los esqueletos de animales vertebrados se encuentran unidos o separados?

l. ¿Los restos pertenecen a uno o más individuos?

m. ¿Han sido seleccionados, según tamaño o morfología?

4. Relación íntima del fósil con el sedimento

a. ¿Qué tipo de roca encierra al fósil?

b. ¿Hay alguna estructura sedimentaria como laminación paralela, deslizamientos, rizaduras, pliegues de deslizamiento o bioturbación?

c. ¿Existe relación entre los fósiles y grupos con el tamaño del grano de los sedimentos, por ejemplo, foraminíferos grandes en sedimentos de grano grueso?

d. ¿En el sedimento se encuentran fósiles que evidentemente son alóctonos (p. e. arrecifes de coral en lutitas)?

e. ¿En caso de que existan fósiles en los nódulos, se encuentran preservados de igual forma que en el medio sedimentario?

f. ¿Con qué tipo de sedimento han sido llenados los fósiles?

g. ¿Hay huellas de bioturbación?

h. ¿Hay fósiles en posición vital? ¿Si?

i. ¿Cuál es el porcentaje aproximado de cada grupo?

j. ¿Los fósiles presentan una orientación definida? (p. e. nerineas paralelos unos con otros). Medir la orientación.

k. ¿Hay alguna forma común, por ejemplo, ostreas que necesiten un sustrato duro? ¿Hay icnofósiles (p. e. tubos, huellas o pistas)?

l. ¿Existen otras indicaciones de actividad orgánica, por ejemplo, coprolitos?

5. Morfología

a. ¿Se observan formas de crecimiento notorias (p. e. ramificaciones finas de corales)?

b. ¿Hay formas peculiares de adaptación (p. e. conchas muy gruesas de moluscos)?

c. ¿Hay alguna muestra patológica o algún indicio de que los organismos en vida fueron heridos?

d. ¿Los fósiles se encuentran ornamentados o lisos?

e. ¿Hay indicios de inhibición del crecimiento, o bien, de supercrecimiento?

f. ¿Existen huellas de valvas espesas o con excesiva ornamentación?

g. ¿Hay señales de crecimiento periódico, o de cambios generales en la velocidad o en la dirección del crecimiento, durante el tiempo de vida?

6. Lo que no debes olvidar cuando recolectes un fósil

a. Llevar una libreta de control de datos.

b. Tomar las muestras, orientarlas y etiquetarlas.

c. Georreferenciar las muestras.

d. ¿Tomar fotografías del fósil y del afloramiento donde se ubica el mismo?

e. Ubicar los fósiles en un mapa topográfico y geológico.

f. Localizar los fósiles en una fotografía aérea.

g. Elaborar un resumen diario de notas de campo acerca de las muestras (datos geológicos, estratigráficos, bioestratigráficos, entre otros).

h. Medir el ancho de los estratos donde se encuentran el o los fósiles.

i. Medir la sección y ubicar los fósiles en ella.

j. Calcular el rumbo y echado del o de los estratos donde se obtuvo el fósil.
k. Medir la inclinación del estrato donde se ubica el fósil.
l. Señalar si el estrato está plegado o afallado.
m. Indicar de qué color o colores son el estrato y el afloramiento.
n. Marcar el estrato donde se recolectó el fósil.
o. ¿Mencionar el nombre de la Formación donde se obtuvo el mismo.
p. Anotar las características del camino donde se encuentra el afloramiento: ¿es una vereda, es de terracería, está pavimentado, etc.?
q. Indicar qué pueblo está cerca del afloramiento donde se localiza el fósil.
r. Llevar grabadora para ir narrando los aspectos geológicos.
s. Filmar el trabajo de campo.
t. Llevar botiquín de primeros auxilios.
u. Otros.

Anexo IV

Estado actual de la legislación sobre el Patrimonio Paleontológico en México*

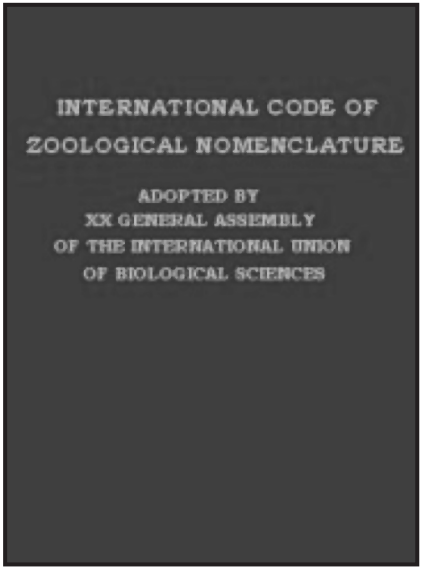
Este documento tiene como objetivo recordar a la comunidad de geocientíficos mexicanos y extranjeros, que existe una iniciativa de Legislación sobre Patrimonio Paleontológico en México, por lo que se considera necesario dar a conocer el estado actual que guarda la misma. Lo anterior es particularmente importante, para evitar problemas con las autoridades civiles y militares del país, así como con las autoridades aduanales, quienes a partir del 11 de septiembre de 2001 han reforzado la vigilancia en las fronteras.

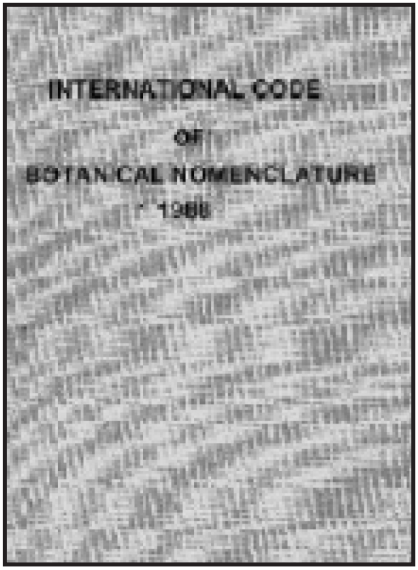
¿Por qué legislar sobre Paleontología?

La preservación del patrimonio paleontológico surge en el ámbito científico de la necesidad de resguardar, en una colección científica reconocida y de acceso no restrictivo, a todo ejemplar animal o vegetal que tipifique una especie descrita y dada a conocer a la comunidad científica por vez primera, así como el conjunto de especímenes de esa misma especie, que pudiesen ser descritos o reconocidos en localidades distintas a la localidad tipo.

Lo anterior, junto con una serie de normas tales que la publicación de la designación nominal en una revista de circulación internacional, se encuentran señaladas en los Códigos de Nomenclatura Botánica y Zoológica, y son necesarias para que la especie o especies puedan ser consideradas válidamente descritas y, por tanto, la información paleoambiental o bioestratigráfica derivada de ellas.

* Este documento ha sido tomado **íntegramente** de la página: *(http://geologia.igeolcu.unam.mx/PALEO/SGP/Patrimonio/leypaleon.htm).*

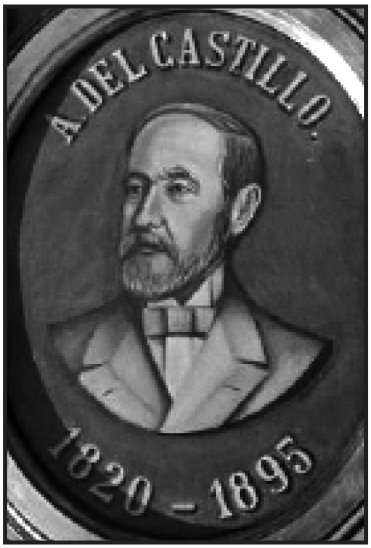




Por esta razón, existe una tradición enorme en Ciencias Naturales, en particular en Zoología, Botánica y Paleontología, relacionada con la formación de Colecciones y de Museos donde se alberga a las mismas.

En México, los primeros esfuerzos encaminados a formar las primeras colecciones en Paleontología se registran a partir de 1886, fecha en que por decreto del Congreso de la Unión se funda el Instituto de Geología y el Ing. Antonio del Castillo, su director, dispone la organización y arreglo de lo que serían las primeras colecciones paleontológicas permanentes de nuestro país. Estas colecciones incluyeron los registros de vertebrados fósiles publicados por Richard Owen en 1869, así como los registros de los primeros invertebrados descritos por Mariano Bárcena en 1875.

En esta colección también fueron alojados materiales fósiles nacionales y extranjeros, principalmente de Europa, así como material que fue recolectado y adquirido por los investigadores del Instituto, con sede en el edificio ubicado en

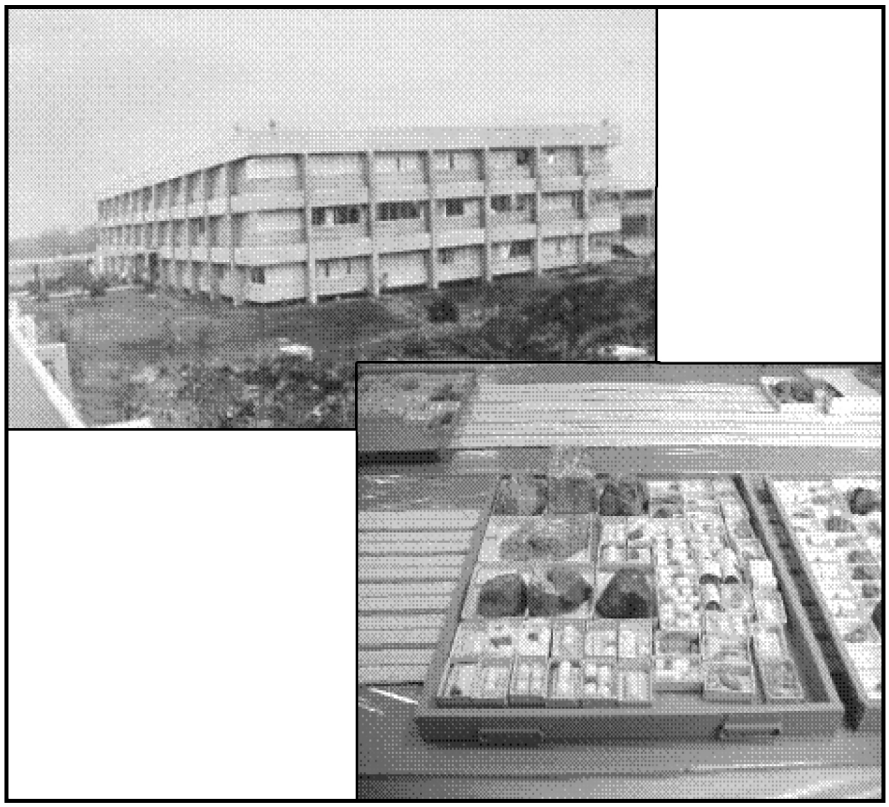


la calle de Jaime Torres Bodet (antes Ciprés) Núm. 176, en la Ciudad de México, y que actualmente es un Museo de Divulgación Científica.

De 1886 a 1927, no está muy claro si existió alguna normatividad o legislación que protegiera el Patrimonio Paleontológico, pero en 1927, se firma un decreto de ley que faculta a la Secretaría de Agricultura y Fomento, para extender permisos a naturalistas extranjeros para recolectar rocas, minerales o fósiles exigiendo la entrega de ejemplares duplicados para ser resguardados por esa Secretaría.



Es con base en ese acuerdo de 1927 y otorgada la Autonomía Universitaria, que el Rector Ignacio García Téllez solicita al Presidente de la República, C. Pascual Ortiz Rubio, a instancias de la comunidad paleontológica con sede en el Instituto de Geología y de su director el Dr. Santillán, que los duplicados fueran enviados a la Universidad Nacional Autónoma de México, junto con los ejemplares de animales o vegetales, asegurando su resguardo en los museos e instituciones científicas, teniendo en cuenta que tanto el Instituto de Geología como el de Biología habían pertenecido a la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo y a la Secretaría de Agricultura y Fomento, respectivamente.



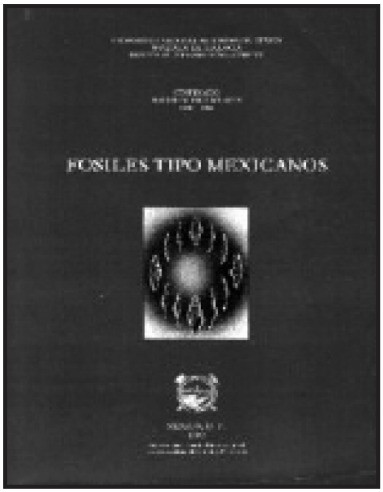
De esta forma, el Museo de Paleontología del Instituto de Geología ha actuado como "La Colección Nacional de Fósiles", y cuenta con reconocimiento internacional otorgado por The Natural Science Collections Alliance. Este es el caso también para el Herbario Nacional, la Colección Herpetológica Nacional, entre otras muchas albergadas en la Universidad Nacional Autónoma de México, en sus instalaciones de Ciudad Universitaria.

Por ello, es injusto, como repetidamente se ha dicho, que la Universidad Nacional Autónoma de México, ha saqueado las riquezas florísticas, faunísticas, mineralógicas y paleontológicas del país, cuando gracias a su esfuerzo e iniciativa tenemos la oportunidad de tener a buen resguardo joyas naturales, artísticas y de todo tipo, abiertas a todos los ámbitos del conocimiento universal, para ser estudiadas, revisadas y admiradas.

No obstante la amplia tradición en cuanto al desarrollo de colecciones científicas, las leyes y reglamentos relacionados con el Patrimonio Paleontológico no han tenido ni el fundamento ni la consistencia jurídica que sustente la protección de éste, ya que de 1927 a 1965 el Patrimonio Paleontológico también quedó, aunque en ocasiones solo implícitamente, bajo la custodia de algunas instituciones gubernamentales que, a lo largo de la historia reciente del país, se han encargado de diversos aspectos de la cultura en México, p. e. la Secretaría de Industria y Fomento, Agricultura y Fomento, Secretaría de Educación Pública.

Durante toda esta época, los antecedentes más concretos con referencia a protección del patrimonio paleontológico, incluyendo su movimiento de control y conservación, cada vez se fueron orientando más hacia su homologación con el Patrimonio Arqueológico (a través de la Secretaría de Educación Pública), y en 1968, se decreta la Ley Federal del Patrimonio Cultural de la Nación, publicada en 1970, dentro de la cual se incluye el material paleontológico, tal vez por vez primera de manera explícita y formal.

Este hecho trajo como consecuencia una inconformidad de la Comunidad Arqueológica, misma que en 1972 llevó a la modificación de su Ley Orgánica y,



una vez más, el Patrimonio Paleontológico volvió a quedar fuera de cualquier legislación que lo protegiera y regulara adecuadamente.

Antes, como ahora, se escucha que el país ha sido, y es saqueado, debido a que muchos fósiles índice o tipo se encuentran fuera de México. Lo anterior es una verdad a medias. La documentación histórica de los fósiles que se encuentran fuera de México indica que, salvo un 1% cuando mucho, podría considerarse como saqueo con fines comerciales, vandálicos u otros.

Efectivamente, existe un número importante de fósiles depositados en museos de Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Suiza España e Italia. Muchos de ellos son Fósiles Tipo, aunque existe un número importante de fósiles resguadados, que fueron parte de estudios de reconocimiento geológico-minero o petrolero por parte de instituciones extranjeras.

En todos estos casos, sería injusto decir que los fósiles fueron robados al país, ya que fueron recolectados, por ejemplo en el caso de los microfósiles, por los micropaleontólogos que trabajaban para las compañías petroleras que actuaban en ese entonces en nuestro país. También, durante parte del siglo XIX y XX, innumerables geocientíficos trabajaron diferentes aspectos en nuestro país, con acuerdos signados con los gobiernos estatales e incluso con el gobierno federal y, como parte de esos acuerdos, los materiales fueron llevados a resguardo. Por otro lado, las condiciones políticas de México, a veces muy inestables, permitieron afortunadamente que muchos de estos materiales salieran del país, de otro modo tal vez, por la ausencia de lugares apropiados para su preservación, éstos hubieran desaparecido irremediablemente.

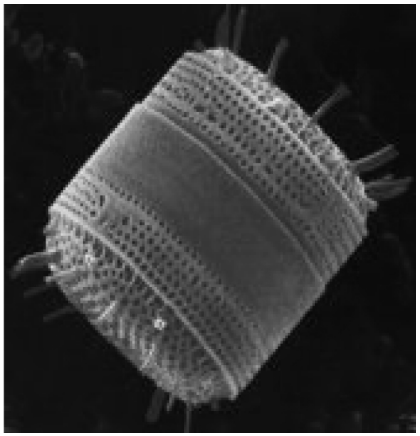


En un afán de verdaderamente normar el estudio, explotación y conservación de los fósiles en México, separando el Patrimonio Paleontológico del Arqueológico, un grupo de paleontólogos propuso en 1985 al entonces Presidente de la República, C. Miguel de la Madrid Hurtado, se creara una ley que protegiera y regulara este importante patrimonio de la Nación.

Sin embargo, los asesores del Presidente pensaron que más que una legislación específica para Paleontología, lo más conveniente era volver a incluir lo paleontológico en una legislación ya existente, dedicada a salvaguardar los monumentos, zonas arqueológicas y monumentos artísticos e históricos.

Una vez más, se trabajó en este sentido y en 1986 se publica un Decreto Presidencial donde se reforma la Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), con la adición del Artículo 28 bis. De esta forma, el Patrimonio Paleontológico queda bajo la jurisdicción absoluta de la Secretaría de Educación Pública (SEP), a través del propio INAH.

Para ambas comunidades, la paleontológica y la arqueológica, estaba y sigue estando claro que el patrimonio paleontológico no puede homologarse al arqueológico.



Los yacimientos fosilíferos NO pueden ser considerados equivalentes a los sitios arqueológicos, y la explotación y conservación de los fósiles, si bien enfrentan a veces una problemática en común, no se les puede dar un tratamiento igualitario. ¿Cómo legislar sobre yacimientos de interés económico y social para el país, como los petroleros o las minas de fosforita o con la trípoli o la diatomita?

Para tratar de entender, normar criterios sobre estos aspectos y poder legislar salvaguardando, por otro lado, las leyes mexicanas que conceden el régimen de propiedad privada para la superficie de un terreno, pero no para el subsuelo, en 1994, el INAH constituye el "Consejo Nacional de Paleontología", con la idea de que un grupo multidisciplinario e interdisciplinario pudiera llegar a un acuerdo de qué, cómo y por qué legislar todos estos aspectos.

Este Consejo se constituyó con la invitación que hiciera el director del Instituto Nacional de Antropología e Historia a todas aquellas autoridades de Instituciones de Educación Superior e Investigación, con una larga y probada actividad en el estudio de los fósiles, a los Representantes de Instituciones donde se realizaba trabajo Paleontológico, así como a aquellas asociaciones científicas que reunieran en su seno a paleontólogos.

De esta forma respondieron a esta convocatoria: el Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, quien delegó la responsabilidad en el Director del Instituto de Geología, por ser ésta la dependencia universitaria que tenía bajo su protección la Colección Nacional de Paleontología, la Universidad Autónoma de Baja California, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Nuevo León, el Instituto Mexicano del Petróleo y la Sociedad Mexicana de Paleontología.

De esta forma, en 1994, quedó constituido el Consejo Nacional de Paleontología por las siguientes personalidades:

Luis Espinosa Arrubarrena	Universidad Nacional Autónoma de México	Nombramiento vigente
Francisco Aranda Manteca	Universidad Autónoma de Baja California	Nombramiento vigente
Jaime Rueda Gaxiola	Instituto Politécnico Nacional e Instituto Mexicano del Petróleo	Nombramiento vigente
Wolfwang Steinssbeck, sustituido por Guadalupe López-Oliva	Universidad Autónoma de Nuevo León	Nombramiento vigente
Beatriz Contreras, sustituida por Francisco Sour Tovar	Sociedad Mexicana de Paleontología	Nombramiento vigente
Polaco Ramos y Susana Xelhuatzin	Instituto Nacional de Antropología e Historia	Nombramiento vigente
Joaquín García Bárcenas	Instituto Nacional de Antropología e Historia	Fungiendo como Presidente del Consejo.

Este Consejo sesionó por varios meses y elaboró un documento que es el que finalmente sirvió como base para una iniciativa de decreto en el ámbito federal, para legislar sobre el patrimonio paleontológico. Por supuesto, hubo que definir los diferentes tipos de fósiles, tomar en consideración las actividades económicas rentables para el país y, finalmente, pero no menos importante, que la Paleontología es en definitiva Patrimonio Universal.

El documento fue presentado ante la Comisión de Cultura de la LVII Legislatura del Senado de la República, quienes formularon la iniciativa propiamente dicha. Ésta, a su vez, fue turnada a la Cámara de Diputados, y actualmente se encuentra en revisión por las Legislaturas Locales de cada estado de la República.

La iniciativa de decreto, a diferencia del anterior, permite: a) el intercambio del material fósil con fines de investigación con instituciones extranjeras; y b) la colaboración entre instituciones educativas y de investigación nacionales y extranjeras para prospectar y recolectar material paleontológico, mediante convenios que serán sancionados por la Secretaría o dependencia que marcará la Legislación, una vez que haya sido promulgada la declaratoria presidencial, y su correspondiente publicación en el *Diario Oficial*. Cabe mencionar, que en esta declaratoria la custodia del material paleontológico no estará bajo la jurisdicción de la SEP a través de INAH, sino por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE).

Por consiguiente, hasta que ocurra la declaratoria presidencial correspondiente, el mecanismo por el que los investigadores extranjeros pueden prospectar y recolectar material paleontológico en México, es el siguiente:

1. Establecer un convenio con una institución educativa y/o de investigación nacional, donde se describa el proyecto a desarrollar, señalando el área de estudio a detalle, las técnicas de recolección, y donde se especifique el compromiso de depositar el material recolectado y/o sujeto de estudio en una colección paleontológica estatal o federal.
2. Tramitar los permisos migratorios especificados en la página de márgenes.
3. Someter toda la documentación al Consejo Nacional de Paleontología, signadas por los representantes institucionales y/o los participantes, para que el Departamento Jurídico del INAH expida los permisos correspondientes dirigidos a las autoridades municipales y directivos de los centros

regionales INAH. Si existe la posibilidad de que el material eventualmente tuviese que ser trasladado a alguna institución extranjera, para algún estudio específico, tendrá que especificarse en el convenio y en la carta de presentación, a fin de que se expida el documento de Exportación Temporal a las autoridades aduanales.

Sin el documento anterior, el reingreso del material puede ser considerado como de importación y, por tanto, causar no solo pago de impuestos, sino también muchos dolores de cabeza.

¿Dónde deben depositarse los fósiles?

En el lugar que de común acuerdo con la institución con que se esté colaborando lo decidan, pero definitivamente en una colección que tenga posibilidades reales de perdurar y crecer, ya que empieza a consolidarse la tendencia, tanto en revistas nacionales como extranjeras, de no publicar trabajos si no se especifica claramente donde quedará depositado el material base de los estudios.

Actualmente, hay importantes iniciativas en universidades de los estados. El trabajo no es sencillo, requiere de mucho esfuerzo, organización, espacios y de erogaciones importantes y, sobre todo, requiere del apoyo y reconocimiento de los investigadores extranjeros, cuya experiencia y tradición en la conservación de estos materiales puede lograr que esta labor llegue a buen fin.

*

- Para información concerniente al Consejo Nacional de Paleontología, por favor contacte: Ing. Joaquín García Bárcena, Presidente del Consejo Nacional de Paleontología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda N° 16, Centro Histórico, México, D.F., 06060 Tél. (++52)(55) 5522 4162; (++52) (55) 5522 3515.

- Para contactar a la Dra. María del Carmen Perrilliat, curadora en Jefe de la Colección Paleontológica del Instituto de Geología de la UNAM: *(http://geologia.igeolcu.unam.mx/PALEO/coleccion-paleo/ColNalPaleontologia1.htm).*
- Contactos en diversos lugares de la República Mexicana con curadores de colecciones estatales: Universidad Autónoma de Baja California Sur: Biól. Luis Herrera (*LAGH@calafia.uabcs.mx*).



Gavetas en donde se encuentra la Colección Paleontológica Nacional.

Anexo V

Una ley para los fósiles*

Judith Amador



Foto: Francisco Segura

¿Qué son los fósiles, además de la explicación científica de que se trata de restos de vida animal o vegetal que se mineralizaron con el paso de miles de años? ¿Son un patrimonio cultural conservable, recursos naturales comercializables o huellas de la prehistoria atractivas para el turismo y los coleccionistas? Además, ¿quién debe encargarse de su investigación, protección y difusión?

Esos son algunos de los aspectos que considera el proyecto de ley que hace unos meses entregó el Consejo Nacional de Paleontología a la Comisión de Cultura del Senado de la República, y que se espera sea aprobada en el curso del presente año [2015]. Por lo pronto el Consejo trabaja ya en un proyecto de reglamento para dicha ley.

De acuerdo con Joaquín García Bárcena, presidente del Consejo Nacional de Paleontología, los fósiles tienen en realidad poco que ver —por no decir nada— con el patrimonio cultural. Son, más bien, recursos naturales no renovables.

En 1986 se hizo un agregado al artículo 28 de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos, el artículo 28 bis, en el que se da una definición general de paleontología, que incluye no solo restos de animales y plantas sino otras evidencias de su existencia como huellas y

* Este documento ha sido tomado **íntegramente** de la página: (*http://www.cnca.gob.mx/cnca/nuevo/diarias/160198/leypaleo.html).*



Foto: Francisco Segura

madrigueras, entre otras. "La idea no era mala. El problema es que se prevé que solo está protegido aquello que tenga una declaratoria presidencial. Eso ha hecho prácticamente imposible aplicar la Ley.

El Instituto Nacional de Antropología e Historia —que tiene a su cargo el asunto—, no tiene por qué preocuparse de los fósiles mientras no tengan declaratoria".

Lo que es más, según el arqueólogo: "Los fósiles no son de su competencia, no tiene por qué hacer los estudios necesarios para llegar a una propuesta de declaratoria. Entonces se volvió un círculo cerrado sin aplicación".

De hecho, el INAH cuenta con un grupo de paleontólogos que se dedican fundamentalmente al estudio de restos de mamíferos asociados a la presencia de seres humanos. Esto es, de fósiles de unos 40 mil años, mientras que existen en México restos de hasta mil 300 millones de años.

El proyecto de ley

Debido al cada vez mayor interés por el estudio y la protección de los fósiles, en 1994 se decidió crear el Consejo Nacional de Paleontología. Uno de los problemas que se enfrentaron entonces, dijo García Bárcena, fue que en nuestro país existen pocos especialistas en la materia, la mayoría de ellos provenientes de áreas como la biología o la geología.

Se invitó entonces a especialistas de diferentes instituciones relacionadas con esas áreas. Se pueden mencionar el Instituto Politécnico Nacional, el Mexicano del Petróleo, universidades como la Nacional Autónoma de México y la Autónoma de Baja California, y la Sociedad Mexicana de Paleontología.

El Consejo se ha dedicado fundamentalmente a la creación de una propuesta de normatividad para la materia. Inicialmente se trataba de un reglamento que diferenciara lo arqueológico de lo paleontológico: "El Congreso no pareció interesarse mucho, pero el Senado sí, por lo que se empezó a trabajar con éste en un proyecto de ley".

A decir del ingeniero García Bárcena, presidente también del Consejo de Arqueología del INAH, la propuesta está muy avanzada: "Ahora falta por definir qué sector del gobierno federal debe encargarse de los fósiles. El INAH tiene que ver con patrimonio cultural, pero aunque en la práctica el tratamiento de los fósiles es parecido a la arqueología, son patrimonio natural, y la institución que se dedica a la conservación de éste es la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)".

La Ley, dijo, establece esas diferencias sustanciales entre los fósiles y el patrimonio arqueológico: "La concepción es distinta, aunque ambos son propiedad de la Nación porque están en el subsuelo. Además se hace una separación entre los fósiles sujetos a conservación y los de explotación económica".

Fósiles como el petróleo, el carbón mineral, las calizas y los fosfatos tuvieron que separarse para darles un tratamiento de recursos minerales: "Se buscó una manera de que la información sobre esos yacimientos de valor económico pueda recuperarse para su estudio académico con otros fines".

Joaquín García Bárcena puso énfasis en que la Ley de Paleontología no abarca los recursos de valor económico, sino el patrimonio conservable: "Los fósiles sujetos a explotación están cubiertos por la Ley de Minería y otras relacionadas con esos aspectos".

Lo conservable

De acuerdo con lo que se define en el proyecto de ley son sujetos a conservación todos los fósiles importantes en términos científicos: los que caracterizan una localidad fosilífera; los que definen un género o una especie animal o vegetal; y los que, por su buen estado de preservación, sean útiles para la difusión de la paleontología, es decir, que puedan exhibirse.

El presidente del Consejo mencionó como ejemplo de estos últimos un dinosaurio que se recuperó hace unos años en Coahuila, y que si bien no define a una especie desconocida, está bien conservado y completo por lo que su importancia radica en poder presentarlo públicamente. Una copia se exhibe en el Museo del Instituto de Geología de la UNAM, ubicado en la Alameda de Santa María, en la ciudad de México.

La ley define dentro de ese tercer grupo de fósiles, algunos que podrían ser sujetos a comercio: "Los primeros que se encuentran y que caracterizan a una especie hasta entonces desconocida, son propiedad de la Nación; habrá después una serie de ejemplares adicionales que se consideren como propios de esa comunidad paleontológica, también son conservables.

Puede haber luego ejemplares de la misma comunidad, género y especie, que estén muy bien conservados y sirvan para exhibición, esos no son comercializables, los que sigan pueden ser, bajo ciertas reglas, vendidos o exportados".

Hay fósiles, como los dinosaurios, que son muy escasos por lo que a decir del ingeniero es difícil encontrar alguno sujeto a comercio. Otros, como los caracoles (amonites) se encuentran por millones. Se trata de preparar un sistema que permita la plena identificación de los fósiles sujetos a conservación de aquellos vendibles.

Las zonas paleontológicas

En el proyecto de ley se incluye también la protección de localidades fosilíferas, algo similar a una zona arqueológica y con los mismos objetivos de investigación, conservación y difusión y hasta como sitios turísticos. García Bárcena mencionó como ejemplo lo que podrían ser zonas paleontológicas, algunas de Tamaulipas, pertenecientes al periodo Jurásico, en las que se han encontrado restos de mamíferos poco comunes.

En la actualidad existen tres zonas paleontológicas abiertas al público, pero no cuentan con declaratoria presidencial: Tocuila, cerca de Texcoco, en el Estado de México, en donde se encontraron restos de mamuts del Pleistoceno superior; Rincón Colorado, en Coahuila, que cuenta con fósiles de dinosaurios; y Tepeji de Rodríguez, en Puebla, rica en fósiles de especies poco conocidas de peces del Cretácico. Esta última tiene una declaratoria como zona de reserva natural.

¿Se definirán las zonas con el mismo principio que en Arqueología?

Habría una delimitación pero no como en una zona arqueológica que comprende un sitio completo. En paleontología hay localidades fosilíferas que tienen 300 kilómetros de largo y otras muy pequeñas. La idea es proteger un afloramiento especialmente representativo de una formación geológica que tenga fósiles.

El carácter de zona se podría aplicar, según el especialista, incluso en yacimientos de importancia económica: "En Nuevo León, por ejemplo, hay una cueva con fósiles del Pleistoceno, llamada San Josesito. El problema es que tiene un pozo vertical relleno de sedimentos, es un yacimiento de fosfatos y por el momento se conocen solo 40 metros de profundidad. Habría que decidir si se explotan esos recursos o es un patrimonio conservable".

"En este caso no es aplicable el concepto de área representativa porque como es un pozo vertical, no hay manera de dejar un área para que la exploten.

En otros tipos de yacimientos, como los de las calizas marinas con amonites, se puede proteger una zona y dejar otras para la explotación".

García Bárcena anunció que el Consejo Nacional de Paleontología ya está preparando un proyecto de reglamento, con normas más detalladas para la aplicación de la ley. Se prevé que el Consejo se mantenga como tal con el propósito de que analice, igual que en Arqueología, los proyectos de investigación que propongan las diferentes instituciones relacionadas con la Paleontología.

Si el Senado aprueba la ley en su próximo periodo de sesiones [2015], faltará solamente su publicación en el *Diario Oficial* y a partir de entonces quedará vigente: "Ya con la ley el reglamento no es tan complicado de hacer. Éste tendrá que ser aprobado posteriormente por la Presidencia de la República".

Bibliografía

Alencaster, G. 1990. Los Rudistas: origen, diversificación, provincialismo en Eurasia y en América y extinción. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*. Vol. 3 No. 1, pp. 47-65.

Asociación Paleontológica. 1985. *Atlas of invertebrate macrofossils*. Editor Murray J. Longman Group Limited, London, 241 p.

Auboin, J., Brousse y J. P. Lehman. 1981. *Tratado de Geología*. Tomo II: "Paleontología estratigráfica". Omega, España.

Axelrod, D. I. y H. P. Bailey. 1968. Cretaceous dinosaur extinction. *Evolution*, 22: 575-611.

Barnes, R. 1990. *Zoología de los invertebrados*. 5ª ed. Interamericana-McGraw-Hill, México, 957 p.

Beurlen, K. y G. Lichter. 1990. *Fósiles*. Blume, España.

Black, R. M. 1976. *Elementos de Paleontología*. Fondo de Cultura Económica, México, 400 p.

Briggs, D. E. G., A. T. Thomas y R. A. Fortey. 1985. *Atlas of invertebrate macrofossils*. Chapter 9: Arthropods. The Palaeontological Association, London, pp. 199-229.

Case, G. R. 1982. A *pictorial guide to fossils*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 515 p.

Clarkson, E. 1986. *Invertebrate Paleontology and evolution*. 2ª ed. Allen & Unwin, London, 382 p.

Cocks, L. R. M. 1985. *Atlas of invertebrate macrofossils*. Chapter 5: Brachiopoda. The Palaeontological Association, London, pp. 53-78.

Cohen, K. M., S. Finney y P. L. Gibbard. 2013. *International Chronostratigraphic Chart.* International Commision on Stratigraphy.

Condie, K. C. 1989. *Plate tectonics & Crustal evolution*. Pergamon Press, Great Britain, 476 p.

Coogan, A. H. 1977. Early and middle Cretaceous Hippuritacea (Rudists) of the gulf coast. Univ. Texas, Austin. *Econ. Geol. Report Invest.*, 89: 32-70.

Dechaseaux, C. 1952. Classes des Lamellibranches. J. Piveteau (ed.). *Traité de Paléontologie*. Masson, París, 2: 323-364.

Dechaseaux, C. 1969. Introduction (Hippuritacea). R. C. Moore (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Mollusca, Bivalvia*. Geol. Soc. of America y Univ. of Kansas Press, 2: 749-751.

Douville, H. 1935. Les Rudistes et leur evolution. *Bull. Soc. Géologique France*, Sér. 5 (5): 319-358.

Fischer, R. 1993. *Invertebrados fósiles*. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica, 145 p.

Fischer, R. 1995. *Curso de Paleoecología*. Instituto de Geología, UNAM, México, 35 p.

Futuyma, D. 2006. *Evolution*. 3ª ed. Sinauer Associates, Inc., U.S.A., 603 p.

García, P., F. Sour y M. Montellano. 1997. *Paleontología*. Coordinación de Servicios Editoriales, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 246 p.

Guzman, E. J. 1967. Reef type stratigraphic traps in México, in origin of oil. *Geology and Geophysics, 7th. World Petroleum Congress*. México, 2: 461-470.

Harland, *et al.* 1990. *A geologic time scale 1989*. Cambridge University Press, 263 p.

Hays, J. D. y W. C. Pitmann. 1973. Lithospheric plate motion sea level changes and climate and ecological consequences. *Nature*, 246: 18-22.

Hernández, D. y B. E. Buitrón. 1992. Bioestratigrafía del Cretácico inferior (Aptiano) en el cerro Matzitzi, región de San Luis Atolotitlán, estado de Puebla. *Rev. Soc. Mex. Paleont*., 5(1): 55-69.

Hernández, D. y E. Galván. 1990. *Lamellaerhynchia Cf. renauxiana* (Orbigny) (Brachiopoda-Rhynchonellidae) del Cretácico inferior de la región de San Lucas Teletetitlán, estado de Puebla, centro sur de México. *Rev. Soc. Mex. Paleont.* 2(2): 47-55.

Hernández, D. 2000. *Contribución al conocimiento de la estratigrafía de la Formación Matzitzi, área Los Reyes Metzontla-Santiago Coatepec, extremo suroriental del estado de Puebla*. Tesis de Maestría. Programa de Postgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM, México, 117 p.

Hickman, C. P., L. S. Roberts y A. Parson. 1994. *Zoología: principios integrales*. 3ª edición. Edit. Mc Graw Hill- Interamericana. Madrid, 921 p.

Jones, D. S. y D. Nicol. 1986. Origination, survivorship and extinction of Rudist taxa. *Journal Paleontology*, 60(1): 107-115.

Kauffman, E. G. y C. C. Johnson. 1988. *The morphological and ecological evolution of middle and upper Cretaceous reef-building Rudistids*. Palaios, Reef Issue, 3: 194-216.

Kauffman, E. G. y N. F. Sohl. 1979. Rudists, in Fairbridge. R. W. y D. Jablonski (eds.). *Encyclopedia of Paleontology*. Hutchinson Ross, Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 723-737.

Kauffman, E. G. 1979. The ecology and biogeography of the Cretaceous-Tertiary extinction event. W. K. Christensen y T. Birkelund (eds.). *Cretaceous-Tertiary Boundary Events*, II. Proc. Univ. Copenhagen.

Krumbein, W. C. y L. L. Sloss. 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. Edit. UTEHA, México, 778 p.

Lamarck, J. B. 1819. Histoire naturelle des animaux sans vertebres. *Chez l' auteur au Jardin du Roi*, 6(1), París.

Leet, L. D. y S. Judson. 1975. *Fundamentos de Geología Física*. Trad. L. B. García. Edit. Limusa, México, 450 p.

Low, J. W. 1966. *Geología de campo*. Trad. J. G. Soler. Edit. Continental S. A., México, 480 p.

Mc Neill, R. A. 1994. *Bones: The unity of form and function*. Westview Press, New York, 223 p.

Moore, R. C., C. Lalicker y A. Fischer. 1952. *Invertebrate fossils*. McGraw-Hill, New York, 766 p.

Moore, R. C. 1967. *Treatise on Invertebrate: Echinodermata Paleontology*. Geological Society of America Inc. y University of Kansas Press, U.S.A.

Murray, John W. 1985. *Atlas of invertebrate macrofossils*. The Palaeontological Association, London, 240 p.

Newell, N. D. 1966. Problems of Geochronology. *Acad. Nat. Sci. Philadelphia, Proc.* 118(3): 63-89.

Newell, N. D. 1971. An outline History of tropical organic reefs. *American Museum, Novitates*, 2465: 1-37.

Newell, N. D. 1982. Mass extinctions. Illusions or realities? *Geol. Soc. America, Special Paper*, 190: 257-263.

Officer, C. B. y C. L. Drake. 1983. The Cretaceous-Tertiary transition. *Science,* 219(4591): 1383-1390.

Palmer, D. y P. Barret. 2010. *Evolución. Historia de la vida*. 1ª ed. Gaia Ediciones, Madrid, 367 p.

Philiph, J. 1972. Paleoécologie des Formations a Rudistes du Cretacé Supérieur. L'example du Sud-Est de la France. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 12 (3): 205-222.

Pinna, G. 1990. *Enciclopedia ilustrada de los fósiles*. Ediciones Pirámides, España.

Prado, J. L. 2001. *Paleontología y evolución*. V. Scheinsohn. *La evolución y las ciencias*. Emecé, Avellaneda, Argentina, pp. 59-86.

Raup, D. M. y S. M. Stanley. 1978. *Principles of Paleontology*. W. H. Freeman and Co., U.S.A., 388 p.

Raup, D. M. 1979. Size of the Permo-Triassic bottleneck and its evolutionary implications. *Science*, 206: 217-218.

Raymond, E. A. M. 1992. Propuesta filogenética para perisfínctidos del Oxfordiano medio a Kimeridgiano inferior. *Rev. Soc. Mex. Paleont.*, 2(1): 15-35.

Rudwick, M. J. S. 1987. *El significado de los fósiles: Episodios de la Historia de la Paleontología*. Serie: Ciencias de la Naturaleza. Edit. Hermann Blume, Madrid, 347 p.

Russell, D. A. 1982. A paleontological consensus on the extinction of the dinosaurs? *Geol. Soc. America, Special Paper*, 190: 401-405.

Sánchez, E. 2005. *Identificación taxonómica y catalogación de vertebrados fósiles de la cuenca de Parras*. Reporte de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.

Savage, J. M. 1980. *Evolución*. 2ª ed. Trad. A. G. Trejo. Compañía Editorial Continental, México, 198 p.

Sepkoski, J. J. 1985. Mass extinctions in the Phanerozoic oceans; a review. *Geol. Soc. America, Special Paper*, 190: 283-289.

Simpson, G. G. 1985. *Fósiles e historia de vida*. Trad. E. V. Otero. Ed. Labor, España, 240 p.

Skelton, P. W. 1979. Gregariouness and proto-cooperation en Rudists (Bivalvia). G. Larwood y B. R. Rosen, (eds.). *Biology and Systematics of the Organisms*. Syst. Assoc. Special, 11: 257-279.

Swinnerton, H. H. 1972. *Elementos de Paleontología*. 2ª ed. Omega, España.

Tappan, H. 1971. Microplankton, ecological succesion and evolution. E. L. Yochelson (ed.). *North American Paleontological Convention*, Chicago, 1969, Pt. H. Lawrence, Kansas, Allen Press, pp. 1058-1103.

Tarbuck, E. J. y F. K. Lutgens. 2005. *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología Física*. 8ª edición. Trad. A. M. Rubio. Edit. Prentice Hall, España, 686 p.

Tasch, P. 1973. *Paleobiology of the invertebrate*. John Wiley and Sons Inc., U.S.A.

Thierstein, H. R. 1982. Terminal Cretaceous plankton extinctions: a critical assessment. *Geol. Soc. America, Special Paper*, 190: 385-399.

Turek, V., J. Marek y J. Benes. 1989. *La gran enciclopedia de los fósiles*. Trad. M. T. López-García. Edit. Susaeta, Praga, 520 p.

Turek, V., J. Marek y J. Benes. 2005. *Atlas ilustrado de los fósiles*. Edit. Susaeta, España, 283 p.

Ward, P. 1983. The extinction of the Ammonites. *Scientific American*, 249: 136-147.

Zunino, M. y A. Zullini. 2003. *Biogeografía. La dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica, México, 359 p.

Paleontología de Invertebrados
se terminó de imprimir en mayo de 2016,
en los talleres de Ideas de Impresión,
Emilio Carranza No. 400, Col. Sn. Andrés Tetepilco,
C. P. 09440, México D. F.
La edición consta de 500 ejemplares más sobrantes para reposición.

Cuidado de la edición y corrección de estilo:
Ma. Guadalupe Olvera Arellano

Formación:
Alicia Gabriela Sánchez Pineda †
Nancy Flores Rodríguez

Delfino Hernández Láscares es Ingeniero Geólogo, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se recibió con la tesis "Estratigrafía de la Región de Aguascalientes, Ags., México", obteniendo Mención Especial. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias (Geología), en la Facultad Ciencias de la UNAM y el Instituto de Geología y Paleontología de la Universidad de Hannover, Alemania, donde se recibió con la tesis "Contribución al Conocimiento de la Estratigrafía de la Formación Matzitzi, extremo suroriental del estado de Puebla", consiguiendo Mención Especial.

Fue Presidente de la Sociedad Mexicana de Paleontología, A. C. (1994-1995).

Es autor de varios artículos y libros sobre Paleontología y Geología, y ha participado en varios Congresos Nacionales e Internacionales.

Ha impartido las cátedras de Geología Histórica, Estratigrafía, Paleontología y Paleontología Estratigráfica en la carrera de Geología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Imparte las materias de Geología, Paleontología, Cartografía y Fotogrametría e Impacto Ambiental, en la carrera de Biología e Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I).

Es el encargado de las colecciones de Geología y Paleontología de la UAM-I.

Actualmente es responsable del Laboratorio de Geología y Paleontología y Profesor Investigador Titular "C" de Tiempo Completo en el Departamento de Biología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186,
Col. Leyes de Reforma 1 A Sección,Alcaldía Iztapalapa,
C.P. 09310, Ciudad de México. Tel. 55 5804 46 00

9 786074 779509