



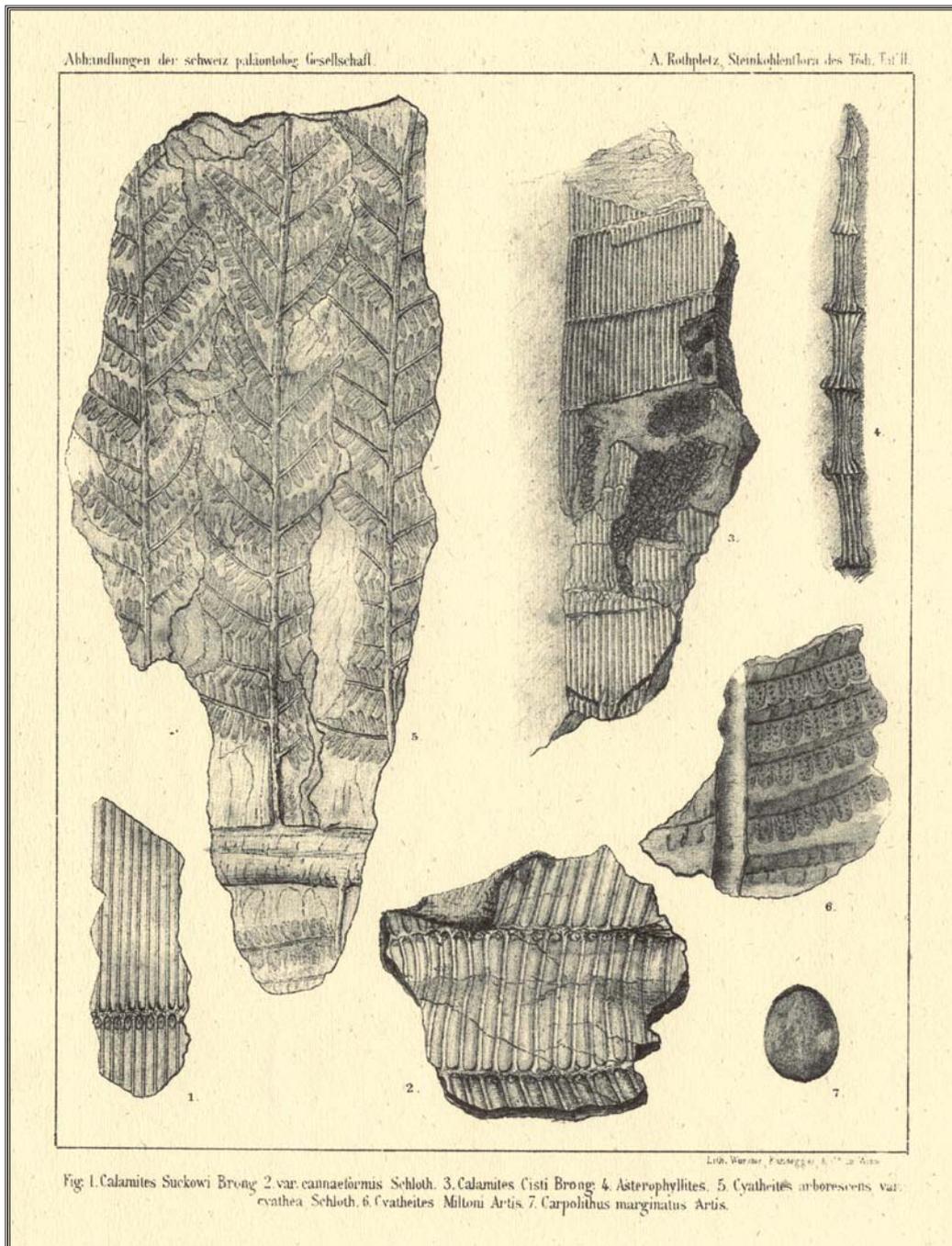
# NAUTILUS

Revista de divulgación paleontológica

Año 4

Núm. 4

diciembre. 2.007



Lamina 313 del tomo 10-2 de «Paleontologie Française, t. Jurassique.» G. Cotteau, nov.1.881

**Asociación Paleontológica Alcarreña NAUTILUS  
(Guadalajara)**

# *Editorial*

Con esta revista de divulgación paleontológica «Nautilus» hemos pretendido desde sus orígenes, hace ya 4 años, acercar el mundo de los fósiles a curiosos y aficionados de una forma amena y comprensible para la mayoría, así como aportar nuestro granito de arena en el conocimiento de nuestra historia natural y nuestro medio y por tanto aportar un poco de «Cultura a nuestra cultura». Con la publicación de este número 4 de nuestra revista continuamos en esa misma línea.

Siguiendo con nuestro apoyo a la divulgación paleontológica, en este extenso número nos ocuparemos, entre otros asuntos, de conocer algo más sobre las plantas del Carbonífero de la cordillera Cantábrica y del Pérmico de Guadalajara, un poco sobre los ammonites mallorquines, sabremos de las curiosidades de otros ammonites de extraña forma (irregulares) que una vez poblaron nuestros mares entre otros temas geológicos, paleontológicos, evolutivos, etc.

Nuestra pretensión no es sentar cátedra sobre los temas tratados, sino aprovechando nuestra condición de aficionados, permitimos arriesgar en aportar y compartir opiniones, conocimientos y experiencias, así como disfrutar de un trabajo compartido, creativo y enriquecedor sobre nuestra afición. La Paleontología no cuaternaria no tiene ni tendrá en nuestro país una atención mayoritaria, ni tampoco grandes inversiones (aunque sí pequeñas ayudas) por parte de Entidades Públicas ni de la cultura oficial, excepto en la única área archiconocida gracias a Steven Spielberg y sus Parques Jurásicos.

Así nos encontramos grandes esfuerzos de recuperación de yacimientos de Dinosaurios (p.e. el recientemente descubierto de Lo Hueco en Cuenca gracias al AVE), y gigantes lagunas y grandes problemas en el resto, además de serias restricciones legales que, con el fin de evitar abusos y expolios, consiguen de paso dificultar y prácticamente frenar el fomento de nuestra afición sin que, tal y como se persigue, consigan parar a los acumuladores de piezas, a los expoliadores/destructores de afloramientos ni a los mercaderes de intereses económicos de pretenciosos pseudo coleccionistas.

Esto nos crea paradojas como la gran dificultad de conseguir que un museo, como el nuestro de Molina de Aragón, se pueda convertir, como así debiera de ser, en referencia maestra y obligada del conocimiento paleontológico de nuestro entorno geográfico y nuestra historia natural, tal y como se hace en otros museos locales o provinciales como los de Elche o Murcia con los parabienes de la Administración y la comunidad científica oficial. En este museo Molinés celebramos y disfrutamos en fechas próximas al verano de este 2007 unas interesantes Jornadas Paleontológicas que esperamos poder repetir y compartir en próximas ediciones para ensanchar nuestros límites de relación y conocimiento. Asimismo, y en fechas posteriores a la edición de éste número (fines de 2007), tendrá lugar una interesante exposición de fósiles con afán divulgativo a la que todos estamos invitados.

En este número no quisiéramos pasar sin recordar que ya hace 5 años de la ausencia entre nosotros de una de las personas que hicieron posible nuestra Asociación. Y me refiero a nuestro primer presidente Julio Tomico, gran aficionado a la Paleontología y maestro de todos en disfrutar y compartir su afición, inquietudes y conocimientos.

Gracias como siempre a todos los miembros de la Asociación y colaboradores por su generoso esfuerzo, así como a las Entidades colaboradoras por su ayuda económica, ya que sin ellos no habría sido posible la publicación de este número 4 de la Revista «NAUTILUS».

Pedro Javier Moreno Barahona  
Presidente de la Asociación Paleontológica Alcarreña «Nautilus».



## Cómo diferenciar algunos de los géneros más frecuentes de «helechos» del Estefaniense cantábrico.

Textos: Juan Carlos Lomas  
Paco Martín

Fotos: Jose Manuel Velasco

Debido a la necesidad de garantizar un suministro de carbón que saciara las demandas crecientes de la primera revolución industrial, los estudios sistemáticos sobre los terrenos del «Periodo Hullero» están entre los primeros desarrollados con un método científico sobre estratigrafía y paleontología. Ello hizo de la Paleobotánica una precoz hermana mayor de otras disciplinas paleontológicas y también una pagana de la inexperiencia y de la falta de medios del pasado. Además, las primigenias colecciones, referencia de numerosos géneros y especies, se han visto sometidas a los avatares de un largo periodo histórico especialmente convulso, como fue la Europa de los siglos XIX y XX. La primera consecuencia de ello ha sido la pérdida de algunos ejemplares fósiles que sirvieron de especie tipo, o de sus descripciones originales.

Pese a todo no es este el mayor contratiempo al que se enfrenta la paleobotánica. El mayor problema es la práctica inexistencia de vegetales fósiles con toda la estructura entera de la planta completa, contando solo a menudo con unos restos demasiado fragmentarios y partes desvinculadas, con las que no se ha podido hacer reconstrucciones no arriesgadas del aspecto real de la planta en su conjunto.

En principio la descripción de restos parciales forzó la creación de «géneros morfológicos»; géneros descriptivos, que permiten que a una misma especie biológica le correspondan diversos géneros en función de si fue descrito su tallo, su tallo descortezado, rizoma, estróbilos...etc. Incluso durante la evolución de ciertas estructuras complejas (como las grandes hojas llamadas frondes) de muchos helechos, se podrían definir varios géneros en función de los diferentes estadios formales que mostrara la fronde según su grado madurativo (Ver Fig.nº1). Posteriores descubrimientos nos permitirían demostrar la pertenencia a una misma planta de distintos géneros establecidos. Pero ello a menudo acarrea problemas eternos de sinonimias y revisión de géneros.

Otra dificultad típica ha sido siempre el establecimiento preciso de afinidades filogenéticas. Sobre todo cuando se eligieron genotipos a partir de restos fósiles de plantas demasiado fragmentarios.

Una mayor certidumbre se obtiene del estudio de las partes fértiles de las plantas. Permite el establecimiento de filiaciones certeras, agrupamiento de especies emparentadas y definiciones precisas de especies individuales. Pero la presencia de restos fértiles en el registro fósil es escasa, sobre todo los que han sido encontrados vinculados a los sí numerosos restos parciales de follaje. Por ello y necesariamente, en la mayor parte de los casos se recurre a las características formales de las hojas a la hora de hacer clasificaciones. Son quizás menos definitivas, pero se constatan con más frecuencia. Y entre ellas, y en referencia a los helechos: la posición y el ángulo de inserción de las pinas a los raquis, la forma y el borde de las pínulas\* (incluidas las apicales), el desarrollo de la lobulación, las nerviaciones...etc.



Evolución madurativa de las pínulas de una pina de penúltimo orden de *Alethopteris*, desde formas simples, pasando por varios grados de lobulación, hasta las ya convertidas en nuevas pinas. Mostradas por separado, podrían ser erróneamente atribuidas a diferentes especies

Es pues la clasificación de restos fósiles vegetales un difícil terreno no apto para diletantes. Ello es especialmente cierto en el caso de las frondes de los helechos, por su variabilidad madurativa y por su aparente parecido formal. Y de ahí proviene la práctica inexistencia de guías orientativas para que los aficionados puedan identificar algunas de las especies más frecuentes en las escombreras de las minas de

\* Ver definiciones al final del artículo



carbón de la cornisa cantábrica. No es un terreno para aficionados. Y solo una revista de aficionados puede asumir semejante reto, semejante riesgo de imprecisión: como siempre, remitiendo a los estudios de los especialistas (algunos de ellos figuran en la bibliografía, al final de artículo) para quien realmente quiera saber.

Varios artículos sucesivos en nuestra revista abordarán el tema. En esta primera entrega trataremos especies de «helechos» arbóreos o arbustivos, con diferentes tipos de organización esporangial, incluso *pteridospermas*\* del Estefaniense B fundamentalmente.

Las distintas especies serán tratadas sólo a efectos de su identificación formal, quedando para otro momento el cómo, dónde, cuánto y con quién vivieron, así como de qué manera se reprodujeron. Es decir, postergando lo que más nos interesa: la reconstrucción que los estudiosos realizan del paleo-ambiente.

El criterio de orden expositivo a seguir para desarrollar este artículo es totalmente arbitrario. No está en función de aspectos biológicos, sino de un criterio ordinal que facilite la exposición, siendo la excusa elegida la forma de inserción de las pínulas al raquis de la pina. Así distinguiremos entre pínulas pecioladas, contraídas por la base, unidas al raquis por toda la base, o unidas entre ellas por la parte inferior por una faja de limbo.

### Pínulas insertas mediante pecíolo

#### *Neuropteris*

Como se aprecia en la figura nº 2, en esta especie las pínulas se insertan por un solo punto al eje bascular, sin que el limbo entre en contacto por su base con el nervio central de la pina. Tienen una forma rectangular, con los lados mayores más o menos paralelos, el extremo apical redondeado, y una base donde la inserción del nervio separa dos lóbulos auriculados que tienden a acercarse al raquis de la pinna – base acorazonada-, sobre todo en el lado más distante del ápice de la pina (lado catádro\*).).

Desde la base de un nervio central y en disposición alterna, numerosos nervios arqueados llegan casi perpendiculares al margen del limbo. Los haces dirigidos a las partes apicales (más alejadas del pecíolo) comparten un pequeño tramo recto (es el nervio principal) que finalmente se deshace en idénticos nervios secundarios arqueados que finalizan perpendiculares al margen.



Fig. nº2 - *Neuropteris ovata*. Pínulas pecioladas y con dimorfismo según su disposición lateral

En la figura nº 2 podemos también comprobar que unas pínulas tienen forma más contraída que sus opuestas al otro lado del raquis (más alargadas, y con pecíolo más visible). Esta variabilidad indica que las pínulas contraídas estaban cerca de otras estructuras vegetativas de la fronde, mientras las mayores pertenecían a zonas externas, donde su mayor crecimiento no solaparía (privando de luz) a otras pínulas. Es solo un ejemplo más de la gran variabilidad de las pínulas según su madurez o el lugar que ocupan en la fronde.

Finalmente indicar que los raquis, vistos con lupa, muestran una fina estriación.

Con pecíolo en la madurez y un limbo de una forma similar, las pínulas del género *Barthelopteris* se diferencian de las de *Neuropteris*, por tener anastomosados\* sus muy numerosos nervios secundarios.

También *Neuropteris* guarda parecido con el género *Linopteris* que tratamos a continuación.

#### *Linopteris*

Tiene unas pínulas alargadas, de aspecto lingüiforme que se insertan casi perpendicular-



Fig nº 3 - *Linopteris*. Detalle de su típica nerviación anastomosada



mente al eje de la pina\*, y se curvan por la parte superior hacia la parte delantera de la pina (acrosópicamente\*). Lados paralelos, punta redondeada y corto nervio central que da paso a nervios arqueados que se unen formando una malla, esto es: anastomosados.

La longitud de las pínulas y sobre todo la nerviación, diferencian con claridad a *Linopteris* de *Neuropteris*.

### **Mixoneura**

El género *Mixoneura* presenta una gran variabilidad morfológica en el curso del desarrollo de sus frondes\*. Las pínulas apicales muestran una nerviación de aspecto odontopteroide, caracterizada por la presencia de nervios subsidiarios\*, que nacen directamente del raquis y suben con algún paralelismo a distribuirse por el limbo. Pronto se hace más evidente un nervio principal, si bien siempre acompañado de otros subsidiarios de menor tamaño, mientras que las pínulas adquieren formas alargadas de tipo alethopteroide (unidas por las bases compartiendo limbo).

Raquises fuertes y rugosos, bordes de las pínulas sinuosos, limbos frágiles con abundantes erosiones y que infrecuentemente guardan con rigidez un perfil plano, son otras características propias del género.

Finalmente, en algunas especies las largas pínulas maduras sufren a menudo una constricción en la unión al raquis con acorazonamiento basal y aparición de un peciolo ancho. Estas últimas pínulas de aspecto neuropteroide han motivado en diferentes ocasiones su inclusión en el género *Neuropteris*; si bien una nerviación evidente pero fina, con un nervio principal nítido y secundarios muy espaciados, diferencia bien al género *Mixoneura*.



**Figs. nº 4 y 5 - *Mixoneura*.** Nerviación espaciada, odontopteroide, con pínulas en disminución gradual hasta un ápice formado por agrupación pequeños lóbulos. Las pínulas maduras presentan limbos frágiles con bordes sinuosos y frecuentes erosiones. Abajo, pínula madura.



### **Eusphenopteris**

Presenta anchos raquises rectos y estriados, en los que se insertan pinas y pínulas perpendicularmente con un cierto espaciamiento.



**Fig nº 6 - *Eusphenopteris rotundiloba***

El aspecto general de robustez de las pinas es también compartido por sus pínulas. Estas están unidas por ancho peciolo mostrando forma redondeada, con una primera lobulación en tres partes: dos simétricos lóbulos basales redondeados y un cuerpo superior claviforme que abraza por arriba a los otros dos y que se une por un fuerte nervio con el peciolo. Posteriormente el lóbulo súpero se distanciará de los basales por estiramiento de ese nervio principal y volverá a dividirse generando otros tres lóbulos como al inicio del proceso.

**Fig nº 7 - *Eusphenopteris talensii*.** Pínula evolucionada a pina, con nervio acanalado e inserción perpendicular. Muestra alguna pínula en nuevo proceso de trilobulación



En *Eusphenopteris rotundiloba* las pínulas muestran un abombamiento considerable, aparentando así haber tenido fuertes limbos.

La especie *Eusphenopteris talensii* presenta pínulas mas planas, con un cierto aspecto inicial de trébol y un característico nervio central con forma de media caña.



## Pínulas con contracción basal no pecioladas

### *Sphenopteris*

El género *Sphenopteris*, establecido desde antiguo, incluye actualmente un gran número de especies, habiendo englobado en el pasado a otras muchas que acabaron por ser consideradas géneros diferenciados. Ello se debe a su definición a partir de descripciones demasiado abiertas, en las que han cabido helechos con distinto tipo de organización de sus esporangios e incluso pteridospermas; pero todos ellos presentan pinas más o menos lanceoladas, o en forma de triángulo isósceles de base estrecha, que se insertan en ángulo agudo a los raquises. La característica por excelencia del género es la presencia de pínulas que también se unen a sus raquises en ángulo estrecho y que presentan una fuerte constricción basal del lado anádromo\* siendo decurrentes\* en el catádromo\*; circunstancia esta última que evita la unión mediante peciolo por ensanchamiento de la base. Las pínulas muestran una lobulación característica según la especie, pero sus haces vasculares repiten siempre un patrón similar: un nervio principal fino del cual parten nervios secundarios dirigidos al extremo de cada lóbulo, a donde llegan generalmente nervios sencillos.

Teniendo en cuenta que de especies que correspondían a este género se crearon otros nuevos, podríamos tener dificultad para diferenciar estos nuevos géneros de *Sphenopteris*. En este sentido es bueno comparar especialmente este género con el ya anteriormente comentado *Eusphenopteris*.

**Fig nº 8 -**  
*Sphenopteris mathetii*. Bellas pinas lanceoladas que se estrechan progresivamente. Pínulas de inserción oblicua con fuerte estrechamiento basal y lobulación evidente.



También puede que ciertas pínulas inmaduras de *Oligocarpia* tengan para nosotros los aficionados un cierto aire sphenopteroideo; pero si nos fijamos detenidamente veremos que lo que

en *Oligocarpia* es la lobulación de pínulas grandes, en *Sphenopteris* son pinas portadoras de auténticas pínulas y no de lóbulos que no seccionan en profundidad los limbos.

Por último cabe destacar el aspecto general de fragilidad que suelen mostrar sus raquises, finos y a menudo sinuosos; o la belleza de las pinas de algunas de sus especies.

### *Dicksonites*

Muestra raquises longitudinalmente estriados con estrechas interrupciones transversales no periódicas, y que van adelgazando progresivamente hasta el ápice. Dan en general una sensación de gran anchura por su característica configuración, donde un eje central redondeado es flanqueado a ambos lados por dos láminas aplanadas que conectan con las pínulas por sus bases.



**Fig nº 9** *Dicksonites plueckenetii*. Pina de último orden, con pínulas de inserción perpendicular, y grandes lóbulos redondeados.

Las pinas son alargadas, en una primera mitad con lados paralelos, que luego convergen gradualmente hacia el ápice.

Sus pínulas tienden a insertarse en ángulo muy abierto, con frecuencia perpendiculares al raquis. Suelen ser anchas y confluyentes por la base debido a su unión mediante la lámina aplanada de los raquises. Esta característica podría haber incluido la descripción de *Dicksonites* en otro apartado de este trabajo, junto con el género *Alethopteris*, pero son muy superiores el número de semejanzas formales de *Dicksonites* con otros géneros del presente apartado.

Las pínulas, subtrianguladas con bordes algo globulosos inicialmente, muestran pronto una tendencia a generar lóbulos redondeados que evolucionarán desde la base hacia la punta hasta conformar entre cinco y siete lóbulos circulares. Estos lóbulos redondeados maduros tienen una fuerte constricción basal, sin embargo no son pínulas individualizadas por unirse por sus bases mediante los aplanamientos alados de los raquises (ver Fig. nº 11).





**Fig n° 10** - *Dicksonites plueckenetii*. Izq. abajo: pínula globosa; izq. arriba: ídem con lobulación redondeada. Abajo: plena lobulación redondeada.



**Fig n° 11** - *Dicksonites plueckenetii*. Detalle de los aplanamientos alados del raquis.

Por último, resaltar que las pínulas presentan un nervio principal definido, y nervios secundarios poco evidentes que distribuyen de 4 a 8 nervios en forma de abanico para cada lóbulo.

### *Pseudomariopteris*

Constituye un género en que con frecuencia sus especies muestran pínulas maduras de inserción oblicua, algo espaciada, borde entero, ápice agudo, decurrentes y con un cierto estrechamiento basal.



**Fig N° 12** - *Pseudomariopteris cordato-ovata*. Observese la pina central, donde solo la pínula basal del lado basiscópico muestra una marcada lobulación, con estrangulamiento de su inserción basal.

No es demasiado habitual encontrar sus característicos grandes ramajes dicótomos de la base de la fronde, descritos como una característica genérica fundamental; pero si es más fácil observar la característica estriación longitudinal, a veces incluso con punteado, de los raquises más pequeños.

Pero si hay alguna característica evidente, fácil de reconocer para un aficionado y que se manifiesta con frecuencia en los restos fósiles es la presencia de una lobulación-partición de las pínulas inferiores del lado basiscópico\* de las pinas, sin que esta afecte a las pínulas superiores (Fig. n° 12).



**Fig n° 13-** *Pseudomariopteris*, nervedad. Un nervio central se va dividiendo por dicotomía en nervios secundarios de inserción alterna, lo que le da un cierto aspecto zigzagueante. Los nervios secundarios se vuelven a dividir dicotómicamente dos o más veces, llegando oblicuos al margen.

Han sido también descritas como singularidades genéricas otras características más infrecuentemente constatadas en el registro fósil, como la presencia en algunos ápices terminales de las pinas de estructuras a modo de zarcillos; esto se interpreta como clara evidencia de los hábitos trepadores de este género.

Por lo que a la nervedad se refiere, las pínulas muestran también un nervio central evidente y algo decurrente. De él nacen alternamente nervios secundarios que se dividen varias veces mediante dicotomía.

### Pínulas unidas al raquis por toda su base

#### *Callipteridium*

Presenta pinas lanceoladas, con un alargado y progresivo estrechamiento hasta la punta. Si podemos observar más de una pina de último orden consecutivas y unidas al raquis, es bastante fácil identificar *Callipteridium* por la presencia de pínulas aisladas de forma triangular unidas por su base directamente al raquis de penúltimo orden e intercaladas entre dos pinas.



**Fig n° 14** - *Callipteridium pteridium*. Detalle del decrecimiento progresivo de la afilada parte superior de las pinas. Observese igualmente las pequeñas pínulas intercaladas entre pina y pina.



Las pínulas, unidas al raquis con cierta perpendicularidad muestran márgenes laterales no muy paralelos con un ápice agudo que apunta hacia el terminal de la pina; en ellas un notorio nervio central se hunde entre dos semilimbos abombados y partiendo de él nervios secundarios en ángulo cerrado que se curvan rápidamente para llegar oblicuos al borde después de dividirse una o dos veces.

Las pínulas de *Callipteridium* guardan una cierta similitud formal con las pínulas de algunos *Pecopteris* y con las pequeñas pínulas poco desarrolladas de *Alethopteris*. Pero las pínulas de *Pecopteris* tienen ápice redondeado y sus nervios secundarios no parten en ángulos tan cerrados antes de bifurcarse. Por lo que a *Alethopteris* se refiere, no tiene márgenes laterales paralelos sino algo convexos, y sus nervios secundarios llegan más o menos perpendiculares al margen y no oblicuos como en *Callipteridium*.

### ***Odontopteris***

Raquis fuerte y longitudinalmente rayado, al que se fijan pinas de último orden alternas y oblicuas.

Pínulas entre trianguladas y casi romboidales, con punta definida, insertas por toda su base y algo decurrentes. La pínula apical tiene gran tamaño durante el crecimiento de la pina, borde redondeado y lóbulos asociados, también redondeados de donde por escisión se crearán nuevas pínulas.

Singularmente presenta un tipo de pínula basal en la axila abierta, en la inserción de la pina al raquis, totalmente diferente al resto de las pínulas maduras, tiene forma algo troncocónica y presenta nerviación radiada. El resto de las pínulas presenta una nerviación típica, muy nítida y profusa; pero sin práctica-



**Fig nº 15 -** *Odontopteris brardii*. Detalle de dos pínulas basales con forma orientada y nerviación distinta a las demás, y dispuestas en parte sobre un raquis fuerte y estriado.

mente nervio principal, aunque sí numerosos nervios subsidiarios que parten directamente desde el raquis, decurrentes y con cierto paralelismo, para girar hacia arriba dividiéndose varias veces.

### ***Oligocarpia***

También *Oligocarpia* presenta pínulas trianguladas, pero con el ápice redondeado y bases soldadas que se unen al raquis oblicuamente. El nervio central de las pínulas es también muy delgado pero bastante evidente, zigzagueante, algo decurrente, y del que parten en ángulo agudo nervios secundarios muy espaciados y que se dividen a medida que avanza la lobulación.

Los raquises de las pinas son finos, flexuosos, de inserción oblicua y alterna.



**Fig. nº 16 -** *Oligocarpia gutbierii*

### ***Senftenbergia***

La especie *S. grunerii* presenta pínulas triangulares de terminación aguda, con un nervio central no decurrente bien marcado y nervios secundarios rectos, sencillos, casi imperceptibles.

Puede presentar para el aficionado alguna dificultad a la hora de ser distinguida de otras especies de pequeñas pínulas trianguladas, con inserción oblicua y confluencia por las bases (como podría ser *Oligocarpia gutbierii*). Sin embargo un par de consejos prácticos pueden ser útiles para una identificación poco ortodoxa:

- *Senftenbergia* tiene unas pinas de penúltimo orden extraordinariamente largas (sobre todo en relación a su anchura), con raquises finos y por tanto generalmente flexuosos.





**Figs. nº 17 y 18 - *Senftenbergia-Oligocarpia*.** Arriba: *Senftenbergia*, foto reducida para mostrar la gran longitud y estrechura relativa de sus pinas de penúltimo orden. Izquierda: Imperceptible nerviación secundaria de *Senftenbergia grunerii*, frente a la nerviación fina y espaciada, pero visible, de *Oligocarpia*.

- Es fácil distinguir el nervio principal de sus pínulas, pero el resto de la nerviación es a efectos prácticos imperceptible, en clara diferencia a la débil, espaciada, pero casi siempre de algún modo constatable, nerviación de *Oligocarpia*.

### ***Lescuropteris***

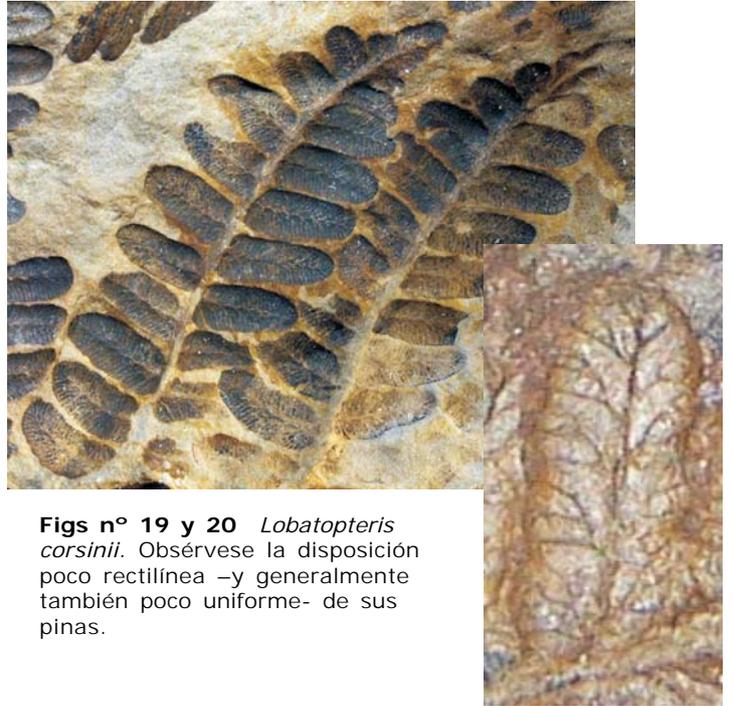
Muestra unas pínulas inconfundibles de forma que han sido bien comparadas a la aleta de tiburón. Su nerviación es odontopteroidea, con nervios subsidiarios que parten directamente del raquis. Pero además de por la forma de sus pínulas, es muy fácil diferenciar a esta «especie de *Odontopteris*», por la presencia de pínulas intercaladas entre pina y pina (como veíamos en *Callipteridium pteridium*) y de pínulas aisladas que se adhieren directamente al raquis de penúltimo orden.

### ***Lobatopteris***

Sobre un raquis de pina ancho se distribuyen alternas pínulas de aspecto pecopteroide, perpendiculares y unidas por toda la base, con nervio principal bien definido, grandes y lanceoladas. El proceso de lobulación generará nuevas pequeñas pínulas de aspecto globular, quizás rechoncho, de ápice redondeado, y someramente decurrentes. Rematando la pina, una pínula apical alargada, estrecha, también de extremo redondeado y con contorno definido.

El aspecto general de la nerviación es espaciado y fácilmente perceptible. Mientras las nuevas pínulas se forman, su nerviación es sencilla; siempre muestra un nervio principal del que parten nervios secundarios curvados y simples. La evolución de las pínulas lleva consigo cambios progresivos de la nerviación. Pronto, nervios simples curvados empiezan a dividirse por

dicotomía a cierta distancia del eje central. La rama anádroma de la dicotomía volverá a dividirse en dos, pudiendo llegar al margen en haces de tres nervios o en plena madurez volver a sufrir una división del nervio central y formar grupos de cuatro nervios que llegan con cierta perpendicularidad al borde y caracterizan al género. Esta peculiar nerviación facilita su diferenciación de *Pecopteris*.

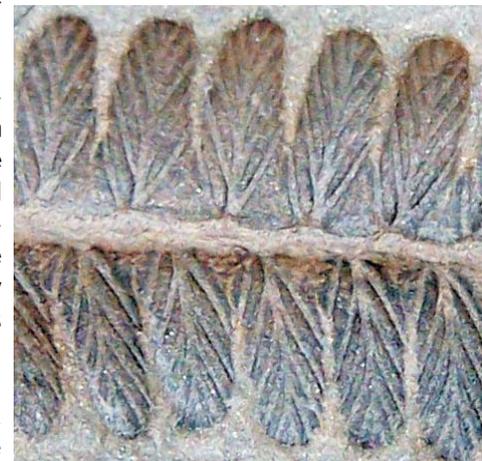


**Figs nº 19 y 20 *Lobatopteris corsinii*.** Obsérvese la disposición poco rectilínea –y generalmente también poco uniforme- de sus pinas.

### ***Nemejcopteris***

Raquis de penúltimo orden fuerte y estriado sobre el que se insertan alternas y oblicuas pinas de último orden con raquises delgados, márgenes paralelos y apretada vecindad entre ellas. Las pínulas, de aspecto pecopteroide, tienen márgenes paralelos, punta redondeada, son decurrentes por la base y se insertan por toda ella.

Lo más característico es la nerviación de sus pínulas. Tiene un nervio principal bien marcado que llega hasta el borde apical (Fig. nº 21) y una serie de nervios secundarios espaciados, fuertes, rectos, de disposición alterna y no divididos desde su oblicua inserción hasta el margen. La fortaleza y grosor de los nervios al llegar al margen dan al borde



**Fig nº 21 - *Nemejcopteris feminaeformis*.** Detalle de la típica nerviación de sus pínulas; con nervio central que cruza toda la pínula y secundarios fuertes, rectos y simples.



del limbo un aspecto áspero o finamente barbado, especialmente en su tercio superior. Esto no es apreciable si el fósil no presenta una excelente conservación del limbo; y con frecuencia la apariencia es de borde entero.

### ***Polymorphopteris***

Podríamos tomar por característica principal de este género la peculiar estructura de su nerviación pinular, común a todas sus especies. Esta consiste en un nervio principal definido del que parten en alternancia nervios secundarios oblicuos que se dividen pronto dicotómicamente a la vez que se arquean para, tras una nueva división dicótoma en cada rama, llegar perpendiculares al margen en grupos de a cuatro.

A sus fuertes raquises estriados, se unen pinas de último orden de inserción algo oblicua, y acabadas en una pequeña pínula terminal.



Por lo demás, y ya mas en función de cada especie, las pínulas pueden ser ovoides o algo apuntadas, siempre con ápice redondeado, nervio central decurrente y a s p e c t o pecopteroide en general, pero con bases contraídas uniéndose al raquis con alguna curvatura en sus márgenes.

**Fig nº 22** - *Polymorphopteris polymorpha*. Raquis ancho y estriado. Pínulas de inserción oblicua, de ápice algo acuminado, con nervios secundarios que llegan perpendiculares al margen en haces de a cuatro. Bases contraídas.

En algunos casos las pínulas de la especie *Polymorphopteris polymorpha* podrían confundirse con las de *Callipteridium pteridium* por su aspecto coriáceo, el nervio central de sus pínulas fuerte y hundido entre limbos abombados o sus ápices algo apuntados hacia el terminal de la pina. Pero recordamos que la nerviación de *Callipteridium* finaliza oblicua al margen y la de *Polymorphopteris* perpendicular. En cuanto a sus pinas, las del género *Callipteridium* finalizan con un adelgazamiento progresivo hacia una pínula aguda y la de *Polymorphopteris* contrariamente concluye de una forma algo más brusca con una pequeña pínula obtusa.

### ***Pecopteris***

Al igual que decíamos para el caso de *Sphenopteris*, el género *Pecopteris* fue parcial-



**Fig nº 23** - *Pecopteris arborescens*. Pínulas pequeñas y algo distanciadas con nerviación secundaria oblicua al margen.

mente descrito con una serie de características no especialmente exclusivistas; lo que generó una clasificación muy abierta donde cabían muchas especies, incluidas algunas definidas a posteriori como nuevos géneros.

En general corresponde este género a partes no fértiles de las grandes hojas compuestas de los helechos arbóreos, con frondes de gran longitud y muchas pequeñas pínulas muy recordadas. Pero en la práctica lo único que encontramos con frecuencia son las pinas de último orden, por lo general estrechas, alargadas, con muchas pequeñas pínulas adheridas al raquis por toda su base, márgenes paralelos enteros o con menos frecuencia algo ondulados y un ápice redondeado. Es también característico un nervio central bien definido (para toda o parte de la pínula), que suele insertarse recto aunque en ocasiones puede ser algo decurrente. De igual manera y según la especie, hay diferentes tipos de nerviación secundaria. La peculiar combinación de estas variables en los fósiles estudiados sirvió para establecer los distintos tipos de especies del género bien diferenciadas.

Es muy frecuente que para el género *Pecopteris* una misma especie haya sido nombrada con varios nombres diferentes, por desconocimiento del que más tarde lo hizo. Incluso que un nombre específico no correcto, por definir una especie ya establecida con anterioridad, sea más conocido en la literatura científica que el verdadero. Por ello, a continuación citaremos sólo algunas especies del género cuyos nombres parecen tener prevalencia según las últimas revisiones de los trabajos más actuales de entre los llegados a nuestras manos.

La clasificación de todas las especies citadas en este trabajo partirá de una primera sencilla premisa: que la nerviación secundaria llegue perpendicular u oblicua al margen de las pínulas.





**Fig nº 24** - *Pecopteris apicalis*. Pínulas separadas, pero confluentes por sus bases y de inserción algo oblicua.

Especies del género *Pecopteris* cuya nerviación secundaria concluye más o menos perpendicular al margen de la pínula:

- Con pínulas alargadas.

*Pecopteris candelloana*. Sus pínulas muestran además bases ligeramente contraídas y los nervios secundarios bifurcados.

- Con pínulas pequeñas.

*Pecopteris daubreei*. Sus pínulas no solo son pequeñas, sino contraídas, con un ápice algo aplanado y no perfectamente redondeado.

Especies del género *Pecopteris* cuya nerviación secundaria concluye oblicua al margen de las pínulas:

- Con pínulas alargadas.

*Pecopteris laxenervosa*. Tiene el ápice de sus pínulas algo apuntado, agudo, no redondeado. Nervios secundarios espaciados, sencillos o ampliamente bifurcados, que parten de un nervio central que llega hasta el extremo de la pínula.

*Pecopteris robustissima*. Tiene ápices agudos como la especie anterior, pero los nervios secundarios, por el contrario, son fuertes y divididos en ángulo cerrado.

*Pecopteris longiphylla*. Frente a las otras dos especies del género que acabamos de nombrar, *P. Longiphylla* tiene los ápices de sus largas pínulas redondeados y no agudos. El nervio central llega casi al extremo y su nerviación secundaria está marcada sin rotundidad, es fina, densa y dividida cerca de la base.

- Con pínulas maduras cortas:

*Pecopteris monyi*. Base de sus pínulas y nervio principal decurrentes. Las pínulas jóvenes tienen nervios secundarios sencillos, en las maduras se bifurcan.

*Pecopteris paleacea*. Tanto sus pinas como sus pínulas tienen un tamaño irregular, pudiendo ser más grandes o pequeñas que sus vecinas de manera arbitraria.

*Pecopteris arborescens*. Sus pínulas son también pequeñas, pero frente a las otras especies de *Pecopteris* con pínulas pequeñas citadas en el presente apartado, *Pecopteris arborescens* muestra sus pínulas algo espaciadas, no en apretada vecindad. Su nervio central llega hasta el final de la pínula y los secundarios son sencillos, rectos y separados.

*Pecopteris jongmansii*. Sus pínulas se disponen perpendiculares al raquis y unidas parcialmente por sus bases. Son bastante regulares en forma y tamaño, manteniendo sus pinas el paralelismo lateral casi hasta el ápice debido a que la pina finaliza de un modo algo brusco en una pequeña pínula apical redondeada. El nervio principal de las pínulas llega hasta el extremo, dando la impresión de separar dos semilimbos con fuerte relieve.

*Pecopteris ameronii*. Tiene pínulas uniformes de lados paralelos, ápices redondeados e inserción perpendicular y una pínula apical característica en forma de punta de lanza con ápice redondeado. Este ápice tan alargado diferencia claramente a esta especie de otras cuya pina de último orden finaliza de forma redondeada, como *P. paleacea*, *P. jongmansii*, *p. candolleana*...

*Pecopteris densifolia*. Tiene pinas muy juntas y paralelas y pínulas algo oblicuas

*Pecopteris apicalis*. Pinas largas de raquis estriado y algo flexuoso, cuya punta disminuye con progresión de tamaño hasta llegar a una pequeña pínula terminal.

*Pecopteris unita*. Las pinas pueden tener sus pínulas unidas hasta la mitad de su longitud, después se desueldan, acabando súbitamente la pina en una pínula redondeada. Nervios secundarios simples, con puntas algo curvadas hacia el ápice.



## Diplazites

La especie *D. longifolius* aparece con frecuencia entre otros restos fósiles vegetales del Estefaniense. Generalmente encontramos sus largas y estrechas pinas sueltas, con sus lados paralelos pero algo lobulados, ápice redondeado en su madurez y nervio central que llega hasta el extremo de la pina. De este nervio parten otros secundarios alternativamente, decurrentes en la unión y perpendiculares al principal y que a su vez muestran unidos

alternativamente nervios espaciados y arqueados que se distribuyen por cada pínula.



Fig nº 25 - *Diplazites longifolius*

### Pínulas que unen las bases de sus limbos compartiendo lámina.

## Alethopteris

Las pinas presentan una pínula ancha y redondeada en el ápice, que se presenta soldada a alguna otra.

Las pínulas apicales tienen una inserción oblicua, pero según descendemos hacia la base de la pina, la tendencia es a que las pínulas se inserten perpendiculares al raquis. Son decurrentes del lado basiscópico, mientras que las inferiores son confluentes (uniéndose por un margen de limbo paralelo al raquis).

El aspecto general de los limbos es coriáceo, con nervios principales bien marcados, no muy anchos y que aparentan hundirse en el fuerte limbo.

El crecimiento en tamaño de las pínulas, desde el ápice a la base de una pina es rápido, siendo una diferencia específica si la lobulación es progresiva, como en *A. zeillerii*, o brusca, como en *A. bohémica*. Los márgenes laterales de las pínulas se muestran algo biconvexos por estrechamiento en la base y el ápice, y este puede ser más obtuso *A. zeillerii*, o más agudo *A. virginiana*.



Fig. nº 26 - *Alethopteris*

La neriación se caracteriza por la presencia de un nervio principal fuerte del que parten nervios laterales de división prematura, numerosos y bien marcados, que se arquean para llegar casi perpendiculares a los márgenes laterales. También hay en las bases de las decurrentes pínulas algunos nervios subsidiarios, que nacen directamente del raquis y o del nervio principal de la pínula.

Las pequeñas pínulas apicales pueden tener un cierto parecido a las de *Callipteridium*, pero son fáciles de diferenciar si tenemos en cuenta que:

- *Callipteridium* no tiene márgenes laterales biconvexos, sino paralelos.

- Los ápices de las pínulas se muestran algo tendidos hacia la parte superior de la pina.

- La neriación lateral llega a los márgenes de forma oblicua en *Callipteridium*, y casi perpendicular en *Alethopteris*.

Con *Mixoneura* hay un cierto parecido formal, con bases muy decurrentes unidas compartiendo limbo. Pero mientras *Alethopteris* muestra un nervio principal muy definido, la neriación de *Mixoneura*, además de mostrar nervio principal, presenta otros nervios subsidiarios bien marcados y decurrentes que parten directamente del raquis de la pina ascendiendo a parte del limbo de la pínula. Los nervios secundarios llegan oblicuos al margen.

## Lonchopteris

Finalmente el género *Lonchopteris*, que para el aficionado prácticamente solo se diferencia de *Alethopteris* por presentar una neriación secundaria anastomosada.

Los géneros *Barthelopteris* y *Linopteris* muestran también una neriación anastomosada; pero tienen pínulas con peciolo al estilo neuropterode, y muy distintas a las de *Lonchopteris*.





Fig nº 27 - *Lonchopteris*. Nerviación secundaria anastomosada y aspecto general

### Otros géneros no encuadrables en los apartados anteriores

Existen otros géneros morfológicos frecuentes en el registro fósil que corresponden a pteridospermas o a verdaderos helechos, pero que no presentan pínulas y por lo tanto no son encuadrables en la clasificación anterior. Son troncos, semillas, brotes en fase de desarrollo espiral, sobreestructuras protectoras de las frágiles frondes nacientes...etc. Con géneros como *Aphlebia*, *Cyclopteris* o *Spiropteris*.

Fig nº 28 y 29 - *Cyclopteris fimbriata* o de *Neuropteris ovata*.  
*Cyclopteris*: son hojas protectoras propias de la base de las frondes de algunos «helechos con semillas», que presenta siempre una nerviación emparentada con las pínulas de dicha especie.  
 Abajo: semilla de *Neuropteris*.



### GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Limbo o lámina.** Parte aplanada de las hojas donde tiene lugar la mayor actividad fotosintética.
- **Raquis.** Eje vascular y de sostén de las estructuras foliares. Conjunto de ramillas que sustentan los limbos.
- **Nervio principal.** En los foliolos, vena mayor por la que la vascularización entra al limbo.
- **Nervios secundarios.** Son venas menores que parten del nervio principal hacia el resto del limbo.

- **Nervios subsidiarios.** Aquellos que parten directamente del raquis hacia el limbo sin nacer del nervio principal.
- **Nervios anastomosados.** Los que se unen reiteradamente formando una red o malla. Esta nerviación mantiene más eficazmente su función en caso de que la hoja sufra roturas o ataques parciales.
- **Nervio decurrente.** El que parte soldado lateralmente al nervio del que procede, manteniendo un cierto paralelismo a él en su base hasta girar y cambiar su dirección.
- **Peciolo.** Une el limbo al tallo. Suele ser cilíndrico y juntarse al limbo por la base.
- **Frondes.** Hojas compuestas de gran tamaño (megafilos) de las filicales. Estas hojas de helecho son circinadas (nacen enrolladas desde el ápice a la base) y perfoliadas (la estructura que se desarrollará está ya prefigurada en el pequeño brote enrollado).
- **Pínula o pínula.** En las hojas compuestas, es la unidad estructural diferenciada de limbo más pequeña con nerviación característica. Puede estar lobulada, pero estos lóbulos no son en ningún caso, ni por su conexión al resto de

la pínula, ni por su nerviación, estructuras totalmente independientes.

- **Pina o pinna.** Pina de último orden: la compuesta por un conjunto de pínulas unidas por un raquis común. Pina de último orden: la formada por pínulas de último orden; pina de orden N: la compuesta por pínulas de orden N-1.

- **Hoja compuesta pinada.** La que dispone sus pínulas a lo largo de un eje recto. Pueden ser bipinadas si las hojas son compuestas, tripinadas si son compuestas tres veces...etc.

- **Acroscópico.** Orientado hacia el ápice del eje que lo sustenta.
- **Basiscópico.** Orientado hacia la base o parte inferior.
- **Base cordada.** Con aurículas, como las de *Neuropteris*.
- **Divergencia.** Ángulo que forman dos raquises de orden consecutivo en su unión.
- **Catádro.** Más cercano a la parte de donde viene la nerviación principal.
- **Anádro.** En la parte basal más alejada de la nerviación principal.



Tabla I: Ejemplos de nerviación



**Alethopteris**  
Nerviación secundaria perpendicular a los dos márgenes laterales. Pínulas con lados biconvexos.



**Mixoneura**  
Nervio principal y subsidiarios. Nervios oblicuos a los márgenes no perpendiculares como *Alethopteris*



**Pecopteris**  
Ápice redondeado y lados paralelos. Nervios oblicuos en muchas de sus especies.



**Callipteridium**  
Venas oblicuas al margen, pero con ápice no redondo, como *Pecopteris*. Nervio central de la pinnula fuerte y hundido entre los semilimbos.



**Polymorphopteris**  
Nerviación casi perpendicular al margen lateral formando grupos de a cuatro por doble dicotomía.



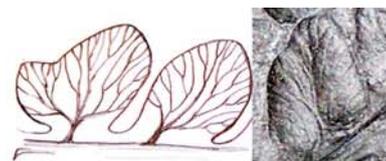
**Odontopteris**  
Numerosos nervios subsidiarios decurrentes giran para recorrer el limbo, con cierto paralelismo.



**Dicksonites**  
Tiene nervio principal decurrente, con secundarios alternos, oblicuos y espaciados, que radian los lóbulos.



**Linopteris**  
Típica nerviación enastomosada, comparada con *Lonchopteris* o *Barthelopteris*.



**Pseudomariopteris**  
Nervio principal que se divide por reiteradas dicotomías.



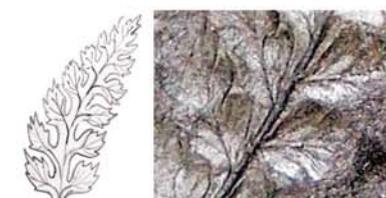
**Neuropteris**  
Desde la base de un nervio central que no llega al ápice numerosos nervios menores se arquean para llegar casi en ángulo recto al margen.



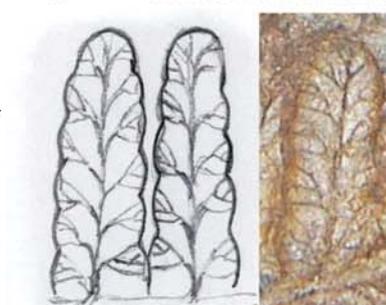
**Senftenbergia**  
Imagen bastante aumentada, para mostrar su casi imperceptible nerviación.



**Oligocarpia**  
Nervio principal zigzagueante, del que parten muy espaciados otros simples o una vez divididos.



**Sphenopteris**  
Nervio principal fino y decurrente del que parten nervios sencillos que finalizan en cada uno de los lóbulos.



**Lobatopteris**  
Los nervios, espaciados, llegan perpendiculares al margen en grupos de a tres o cuatro, según su estado de lobulación



**Diplazites**  
Tiene un nervio principal bastante decurrente, y de él parten otros espaciados, alternos, curvos y algo envolventes.



**Nemejcopteris**  
Nervio principal que llega al ápice. Secundarios simples, rectos y oblicuos al margen.



## Para saber más...

Gran parte de los géneros y especies vegetales fósiles, fueron descritos/as hacia el primer tercio del siglo XIX por los grandes padres de la paleontología vegetal, entre los que se cuentan Brongniart, Schlotheim, o Sternberg. Seis u ocho décadas después, Grand Eury, luego Zeiller y otros, ampliaron los horizontes de la paleobotánica. Son pues sus lecturas imprescindibles para el científico obligado a beber en las fuentes.

Pero son quizás algunos «clásicos» actuales los que pueden interesar más a un lego en la materia, por su actualidad, mayor facilidad para adquirir sus tratados, el avance de los métodos fotográficos...etc.

De entre ellos destacamos al doctor R.H. Wagner, maestro de maestros, ligado a la investigación en nuestro país desde los tiempos «heroicos». Sus trabajos son variados y numerosos y su capacidad pedagógica muy de agradecer. Como solo suele ocurrir a los verdaderamente grandes, es un buen científico capaz de escribir sesudos artículos especializados y un gran divulgador que puede hacer comprensible lo complejo, aún a los que somos menos dotados. Además de alguno de sus trabajos, es también recomendable la visita al bello museo que dirige: el Museo Paleobotánico del Jardín Botá-

nico de Córdoba. En un marco incomparable y con unas instalaciones punteras, se expone parte de la extraordinaria colección reunida por él a lo largo de una larga y fructífera vida de investigación. Sinceramente, no deja indiferente a ningún curioso.

Obligados autores del siglo XX son Corsin o Barthel, y como autor actual podemos citar también a Laveine, autor de una especializada guía paleobotánica. Pero creo más práctico para el aficionado que trate de enfocar sus esfuerzos hacia estudios que cubran el ámbito nacional. En este sentido cabe destacar –saltando a varias investigadoras «clásicas» del país- a la doctora M. P. Castro Martínez. Bajo el título: «La flora estefaniense B de La Magdalena (León, España), un referente europeo», editado por el servicio de publicaciones del I.G.M.E., podemos encontrar un trabajo de síntesis excelente y actual, sobre vegetales fósiles de nuestro país. Es muy recomendable su adquisición, y sin dilación, pues como sabemos los aficionados, estas publicaciones se agotan con rapidez.

Por lo demás ha sido el trabajo más consultado por nosotros en la elaboración de este artículo, junto con «Guide paléobotanique dans le terrain houiller sarro-lorrain» de Laveine y «La Cuenca Minera Ciñera-Matallana» de Wagner y Artieda.



## GEO TIERRA Ciencias Naturales

Mapas  
Fósiles  
Minerales  
Globos  
terráqueos  
Libros  
Revistas

Rocas  
Conchas  
Insectos  
Astronomía  
Orientación  
Telescopios

Martillos de geólogo  
Cajas entomológicas  
Peanas y soportes  
Lupas  
Microscopios  
Binoculares

GEOTIERRA Ciencias Naturales, S.L.  
Guzmán el Bueno, 41  
28015 Madrid

Tel-Fax: 91 549 06 84  
E-mail: info@geotierra.com  
www.geotierra.com



## El Armagedón prehistórico (o cuando casi murió el planeta)

Rafael Abad Arquer



Hace algo más de 250 millones de años, antes de que los dinosaurios rondaran por el planeta, la tierra y los océanos rebosaban de vida. Era el período Pérmico, una era dorada de biodiversidad que estaba a punto de finalizar catastróficamente. En unos cuantos miles de años, el 95% de las formas de vida marinas y más de la mitad de las terrestres desapareció del planeta en la mayor extinción conocida en la Tierra y que algunos denominan «la gran muerte». ¿Qué desastre natural podría producir una matanza a escala tan masiva? En los últimos años han empezado a aflorar evidencias, fundamentalmente en las rocas de la Antártida, Siberia, Australia y Groenlandia. Pero esto no significa que la causa definitiva se conozca. Las evidencias encontradas nos empujan a pensar en una causa múltiple o a una sucesión de circunstancias desastrosas. Por esa razón y en 1993, Douglas Erwin sugirió la hipótesis del «Asesinato en el Orient Express» para esta extinción, esto es, múltiples factores todos actuando al unísono.

La desaparición de los dinosaurios de hace 65 millones de años en el llamado límite K/T, fue un evento pequeño si lo comparamos con la extinción Permo-Triásica (P/Tr). Los datos geológicos que expliquen tanta destrucción resultan difíciles de encontrar y no tenemos manera de saber qué cantidad de vida había en el mundo del Pérmico porque el registro fósil de este periodo es incompleto e impreciso. Esto se debe por un lado a que es muy antiguo (entre 290 y 250 millones de años), que ha sido enterrado y erosionado por la posterior actividad geológica, y en particular porque la mayor parte de los registros fósiles no se encuentran en las tierras Pérmicas europeas y norteamericanas, que por aquél entonces eran un terreno semidesértico donde los restos animales no fosilizaron, sino en zonas que bien física o políticamente son de muy difícil acceso, resultado de lo cual solo recientemente hemos podido tener algunos datos más precisos del periodo.

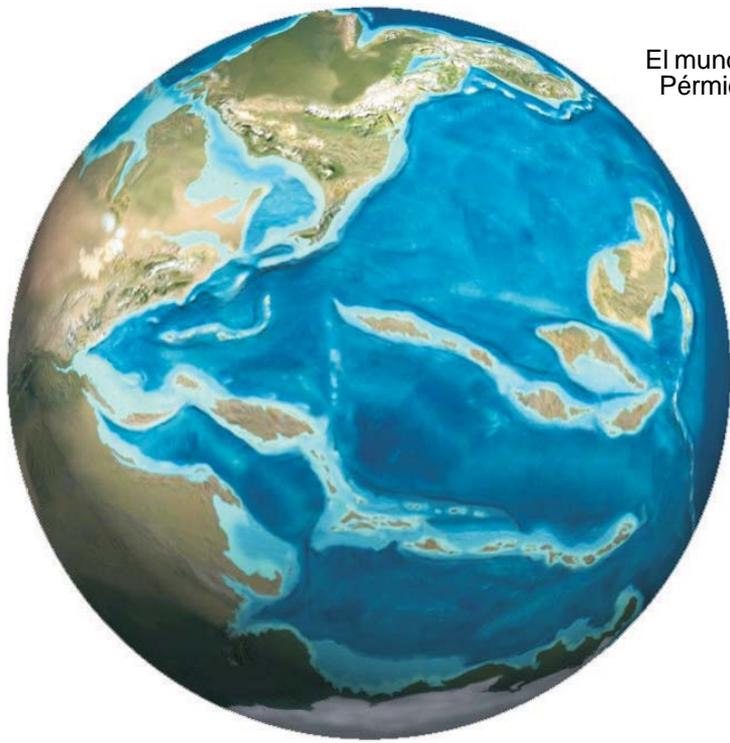
A pesar de esta escasez de datos, sí que sabemos algo significativo de este periodo geológico, y es que por vez primera prácticamente se ocupó cada nicho ecológico de forma parecida a como sucede actualmente. Hoy sabemos que algunas de esas criaturas estaban



en el proceso de evolucionar como mamíferos y podemos considerarlos como muy sofisticados en términos evolutivos. De hecho está en duda si los dinosaurios habrían sido capaces de encontrar un nicho si los animales del Pérmico no hubieran sido esquilados. En otras palabras, la extinción P/Tr limpió el camino a los dinosaurios, los cuales probablemente no habrían existido sin ella. Y no solo modificó el destino de los vertebrados terrestres. Peter J. Wagner y Scott Lidgard, conservadores adjuntos de fósiles de invertebrados del museo The Field, y Matthew A. Kosnik, de la escuela de biología marina y tropical de la Universidad James Cook en Queensland, Australia, han estudiado cómo las comunidades marinas se han ido haciendo más complejas a lo largo de los millones de años pero verificaron que la tendencia evolutiva no ha sido siempre hacia ecosistemas modernos. Ellos piensan que sin la extinción P/Tr los mares actuales se parecerían mucho a los que había a fines del Pérmico. Verificaron que hasta el límite P/Tr la cantidad de ecosistemas complejos era muy similar a la de los sencillos. Después de la catástrofe los complejos triplicaron a los sencillos. Los resultados de sus análisis evidenciaban cómo los ecosistemas se hacen progresivamente más complejos, desde las bacterias unicelulares hasta los modernos seres vivos, pero también mostraban cuan profundamente esta extinción cambió el mundo marino.

Un dato extrapolable de estos estudios y teorías es que las extinciones forman parte implícita de la evolución. La extinción de una especie dejó vía libre a otra, por lo que seguramente la extinción de los Terápsidos Pérmicos y de las criaturas quasi-mamíferas de aquel en-





El mundo Pérmico

tonces limpió el camino a los reptiles, y la de estos a los mamíferos. Se hace evidente que la evolución no es solo un proceso suave, sino a veces escalonado e incluso inverso. Puede también ser cierto que hay una fuerte relación entre la evolución de la vida y el desarrollo geológico de La Tierra. En otras palabras, mientras el planeta sufre un cambio geológico, igualmente sucede con la vida en él. Geología y evolución van de la mano cada una arrojando un poco de luz sobre la otra.

Hace 150 años que el geólogo John Phillips utilizó esta extinción para definir el fin del Paleozoico y el comienzo del Mesozoico. Los estudios recientes cifran en alrededor de 200.000 años el periodo de duración de la extinción principal, aunque otros estudios lo cifran entre 8.000 y cerca de un millón de años como duración total en función de cuál sea la causa principal. Los restos fósiles nos muestran que fueron afectadas sobre todo las formas de vidas marinas, y entre ellas principalmente los invertebrados, con una desaparición del 54% de todas las familias, el 98% de los crinoideos, el 78% de los braquiópodos, el 76% de briozoos, y la mitad de los foraminíferos planctónicos. Desaparecieron completamente grupos importantes como los blastoideos, euripéptidos y corales tabulados. El suceso provocó también la desaparición de los últimos representantes existentes de los trilobites o de múltiples especies de vertebrados, como diversas especies de peces agnatos y tiburones. En contraste sólo desaparecieron el 27% de los gasterópodos, esponjas y bivalvos, que constituyen hoy el grueso de los invertebrados marinos.



Si bien las formas de vida animal terrestres pudieron soportar mejor el fenómeno, este dejó sentir sus efectos de una forma cuando menos notoria, llegándose a cifrar en, al menos, un 50 por ciento la desaparición de las mismas, entre ellas gran parte de los representantes que ocupaban la cúspide de la cadena trófica de la época como *Inostrancevia* (reptil terápsido teriodonto), *Dinogorgon* o *Lycaenops* (reptiles mamíferoides terápsidos pertenecientes a los gorgonópsidos). También fue el final de los captorínidos, dinocéfalos, weigeltisaurios y del 81% de las familias de anfibios conocidas. En total desapareció el 75% de todas las familias de anfibios y reptiles. Terocéfalos, procolofónidos, dicinodontos... la lista de bajas resulta interminable.

Nadie sabe porqué algunos animales sobrevivieron a la hecatombe y otros no. Solo podemos jugar a adivinar porqué los *Lystrosaurus* fueron los únicos terápsidos que sobrevivieron. Los *Lystrosaurus* eran herbívoros y se cree que son los ancestros de todos los mamíferos actuales. Tras de examinar sus fósiles y para tratar de conseguir explicaciones, los paleontólogos especulan con la posibilidad de que su mandíbula o boca estuviera mejor preparada para poder alimentarse de vegetación más leñosa y así poder sobrevivir en un ambiente hostil casi desértico.

Las especies vegetales sufrieron también cambios importantes como, por ejemplo, la casi desaparición de los muy abundantes bosques de *Glossopteris* (gimnospermas pertenecientes a la clase de las liginopterópsidas o pteridospermas), *cordaites* (gimnospermas pertenecientes a la clase de las pinópsidas) o *calamites* (pteridófitos o helechos pertenecientes al orden equisetales, clase de las calamitáceas).



*Dinogorgon* del Pérmico



El declive de las formas de vida no fue continuo, tuvo lugar a intervalos e iba ligado a diversos factores ambientales en distintas partes del mundo. La extinción de la flora sigue un modelo mucho más complejo y sus pérdidas no pueden asociarse a un único evento de extinción «catastrófica». Tampoco se pueden correlacionar con ninguno de los sucesos que afectaron a la fauna marina o a los vertebrados terrestres.

### Las causas: algunas aproximaciones

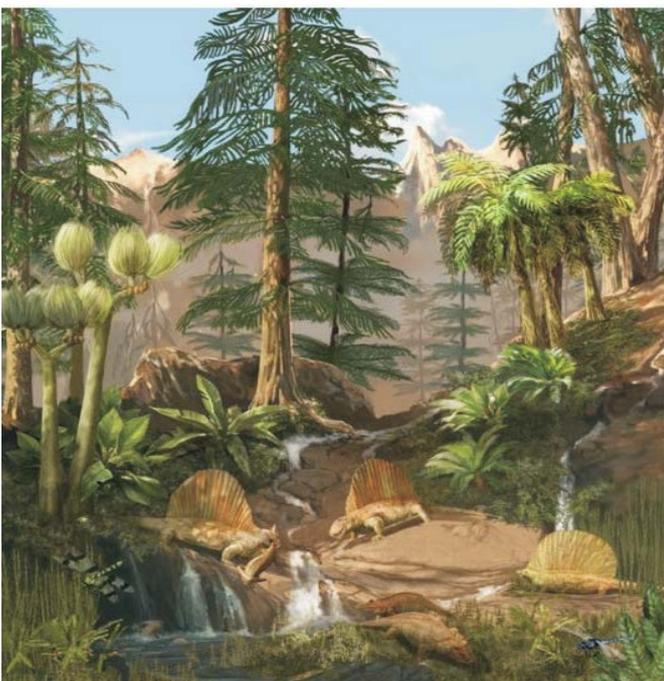
Casi ninguna de las extinciones puede ser atribuida a una causa única y demostrada. Casi todas las pruebas son circunstanciales: cambios en el nivel del mar, en las concentraciones de gases, episodios volcánicos, impactos de objetos extraterrestres, explosiones estelares, etc.

Durante el Pérmico tardío, las masas continentales se reunían en un único y enorme supercontinente: Pangea. Una de las consecuencias físicas de tal reunificación fue la reducción global de las plataformas continentales y mares someros: al unirse los continentes los mares entre ellos desaparecieron y con ellos la vida que contenían. A consecuencia de su obligada lejanía del mar, los interiores continentales formaban vastos y resecos desiertos cuyas temperaturas fluctuaban entre un calor y un frío intensos. El empuje de las masas continentales dio lugar a una intensa actividad volcánica, y en las cuencas sedimentarias de los viejos mares se levantaron cordilleras cuyos restos muestran señales de la acción de grandes glaciares. También se

produjo un marcado incremento de las variaciones climáticas de estacionalidad a nivel global con variaciones entre las temperaturas medias en verano e invierno en las latitudes «templadas» de unos 50° C.

¿Son suficientes estos sucesos para explicar la extinción? Como mínimo ayudaron: sabemos que se tradujeron en un cambio climático comparado con el cual el que vivimos en el presente no deja de ser una mera anécdota. Aunque, eso sí, se desarrolló a lo largo de un período de bastantes miles de años, en lugar de unos pocos siglos.

Hay varios estudios de indicadores ambientales que revelan claras modificaciones del entorno: la curva isotópica del oxígeno (relación  $O_{18}/O_{16}$ ) muestra en el límite Permo-Triásico un brusco descenso antes de la transición, seguida por una aguda elevación, lo que puede indicar un súbito aumento de las temperaturas globales seguida por un descenso. La curva isotópica del carbono ( $C_{13}/C_{12}$ ) muestra un rápido incremento un millón de años antes de la transición, seguida por una drástica caída durante el tránsito P/Tr, lo que indica episodios de anoxia (escasez de oxígeno). La curva isotópica del estroncio marino ( $Sr_{87}/Sr_{86}$ ) tiene relación con la erosión de rocas terrestres y está muy vinculada con la evolución del nivel del mar. Indica una gran regresión marina a finales del Pérmico, seguida por una transgresión (inundación de áreas continentales) durante el Triásico temprano. Los elevados ratios de estroncio registrados a lo largo del Pérmico decaen fuerte, pero gradualmente (a lo largo de quince millo-



Recreación de la vida del Pérmico



nes de años), hasta alcanzar un mínimo justo antes de la transición y se recuperan de nuevo tras ésta con bastante rapidez. Volveremos sobre los desfases isotópicos y sus posibles significados más adelante.

Una posible reconstrucción de los hechos, ofrecida por los científicos A. Hallam y P.B. Wignall, (ver «Mass extinctions and their aftermath» Oxford University Press, 1997) comenzaría con la formación de un único supercontinente, Pangea, que se extendía sin interrupción entre ambos polos, rodeado por un solo océano, Panthalassa, que iba a ejercer unos efectos drásticos sobre el clima con condiciones extremadamente secas y cálidas tierra adentro como prueban los inmensos depósitos salinos formados en niveles bajos durante el Pérmico medio (evaporitas). Sólo la zona ecuatorial poseería un clima tropical (depósitos de carbón de Asia e India), pero en los polos y en las nuevas cordilleras se formaron gruesos casquetes polares que provocaron un descenso generalizado del nivel del mar.

La retirada del mar dejó vastas áreas de tierra expuestas a la erosión química. El carbono orgánico depositado en los antiguos mares interiores y en las costas reaccionó con el oxígeno atmosférico incrementando el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera que vino a sumarse al aportado por las erupciones volcánicas provocando un «efecto invernadero» a escala global. Dada la distribución continental eso no haría sino empeorar las cosas: los modelos de ordenador muestran cómo los vientos circulantes a lo largo de las costas arrastrarían la humedad provocada por la evaporación hasta los casquetes polares y muy poca de esa humedad llegaría al interior de los desiertos. Resultado: acumulación de calor en los trópicos y desiertos y más y más hielo en los polos. Se ha estimado que el nivel de oxígeno atmosférico cayó de un 30% a un 15%. La pérdida de la mitad del oxígeno atmosférico debió de resultar letal para los animales terrestres, especialmente para los terápsidos, que habían desarrollado estilos de vida activos, que conllevan un elevado consumo de energía. También debió de menguar el aporte de oxígeno al océano como lo prueban los depósitos de esquistos negros y piritas que sólo pueden formarse en ausencia de oxígeno. Se estima que, cuando las aguas empezaron a subir de nuevo a principios del Triásico, la concentración de oxígeno en el mar era de menos de una quinta parte la actual.

En tierra la flora proliferaba por las zonas pantanosas del hemisferio sur y de sus residuos orgánicos se produjeron carbones que hoy ve-

mos en la zona de Australia. Pero las capas de carbón se paran abruptamente en el límite P/Tr sin que vuelvan a aparecer durante unos 6 millones de años. En tal escenario, la causa de la extinción pudo ser una progresiva anoxia. Una lenta y agónica muerte por asfixia. Una ventaja de esta hipótesis es que justifica la existencia de un agente mortífero capaz de matar en todo el globo sin excepción, en el mar como en la tierra, en el trópico como en los polos.

Esta cadena de acontecimientos pudo ser causada, ayudada o reforzada por una actividad volcánica sin precedentes desde los tiempos del nacimiento del planeta. Las erupciones volcánicas siberianas vertieron coladas de lava basáltica sobre varios millones de kilómetros cuadrados y las cenizas de los volcanes del sur de Asia, surgidos a causa de la colisión de la placa tectónica china con Gondwana, se extendieron sobre casi todo el planeta. Ambos sucesos tuvieron lugar justo antes del límite Permo-Triásico.

Otras causas de extinción que se han apuntado, como un posible gran impacto meteórico, sólo hubieran venido a golpear sobre unos ecosistemas ya muy debilitados. Pero vayamos por partes.

### **Las causas: Los volcanes más grandes del mundo**

Al principio de los 90, la búsqueda de evidencias condujo a los investigadores a una región de Siberia llamada «Las Trampas Siberianas» (Siberian Traps). Hoy es una zona virgen subártica, pero hace 250 millones de años cerca de 7 millones de km<sup>2</sup> de este territorio fueron un flameante torrente de lava. Las Trampas Siberianas experimentaron una erupción que se considera el mayor episodio de vulcanismo conocido en La Tierra. En lugar de volcanes aislados escupiendo lava, la corteza se abrió liberando cortinas de lava durante millones de años. Se especula con que la causa de la erupción fue lo que en geología se llama un «penacho del manto» (mantle plume en inglés), o sea, la ascensión de una burbuja de material incandescente desde la astenosfera que fundiendo la litosfera aflora en la superficie en forma de gran marea basáltica. Actualmente se piensa que un proceso similar, aunque a distinta escala, está teniendo lugar en la zona estadounidense de Yellowstone, cuyas consecuencias son apreciables a través de los géiseres, fumarolas y otros efectos volcánicos.

Las Trampas han sido muy estudiadas, particularmente la región de Noril'sk donde



desarrolla más de 4 km. en su mayor grosor, pero no así en otras zonas, tanto por la dificultad de acceso como porque gran parte de ellas yace bajo una buena capa de sedimentos. Algunos estudios recientes revelan que el proceso expulsó al menos 3 millones de km<sup>3</sup> de depósitos piroclásticos, lo que sería suficiente para cubrir toda Europa Occidental con una capa de 1 km de grosor. Solo la superficie aflorada cubre el 60% del Cratón Siberiano (unos 2.500.000 km<sup>2</sup>). Otros afloramientos se encuentran en la península de Taimyr, y sabemos que estas capas se prolongan bajo otras de sedimentos de la cuenca occidental Siberiana en dirección a los Montes Urales y el mar de Kara hasta cubrir un área total de unos 7 millones de km<sup>2</sup>. Si la causa fue un «penacho», se sospecha que tras la deriva de la corteza entre el Pérmico y hoy, este habría migrado su situación hasta situarse ahora bajo Islandia.



Al Oeste de los Urales, en el cratón Siberiano (azul) afloran los basaltos de las trampas Siberianas (morado). También se les ha localizado bajo los sedimentos de la cuenca occidental Siberiana.

Cuando el penacho rompe la corteza se libera a la atmósfera una gran cantidad de cenizas y aerosoles sulfurosos que podrían enfriar rápidamente el clima para formar grandes casquetes de hielo y consecuentemente reducir los niveles marinos. En los registros rocosos deberíamos encontrar variaciones en los isótopos de carbono y azufre, como así es. Posteriormente los gases de las erupciones provocarían un efecto invernadero algún tiempo después de la erupción tornando la glaciación en un cálido verano. Añadimos a este escenario los efectos de cualquier erupción, como lluvia ácida, disminución del Ozono atmosférico, abundancia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y ya tenemos suficientes ingredientes para una extinción masiva. Finalmente la erupción finaliza y la corteza se hunde y los aerosoles disminuyen y dispersan.

¿Pudo la actividad volcánica tan prolongada cambiar el clima de forma que llegase a matar casi toda la vida terrestre?. Vincent Courtillon utilizó la erupción de flujo basáltico de Islandia en 1783 como base de sus cálculos. En el siglo XVIII, Benjamin Franklin, a la sazón entonces embajador de EEUU en París, describió el año de 1784 como «el año sin verano». Cenizas de la erupción oscurecieron el cielo, y los cultivos se estropearon por toda Europa. Courtillon extrapoló el impacto climático del evento Islandés con el de las Trampas Siberianas y dedujo un «invierno nuclear» que debió de durar décadas, seguido de un rápido calentamiento global debido a los gases de efecto invernadero emitidos tras de la erupción a la atmósfera.

Vincent cree que la sucesión de frío-calor pudo causar la extinción pérmica, pero otros geólogos no lo creen así. Peter Ward volvió a estudiar los datos de las Trampas Siberianas, estimó la cantidad de dióxido de carbono emitido (y el efecto invernadero), y concluyó como peor escenario un aumento de 5°C, insuficiente para acabar con el 95% de las especies del Pérmico.

### Las causas: La asfixia planetaria

Hace unos años, un grupo de geólogos y químicos orgánicos buscaron biomarcadores, o sea, huellas fósiles químicas que algunas moléculas de organismos dejan tras su muerte. Esta técnica se usa para intentar detectar la primera presencia de vida en el planeta, pero recientemente se ha usado para estudiar los periodos próximos a las extinciones. Los resultados muestran claramente que, salvo en el límite K/T, los niveles bajos de oxígeno de los océanos primitivos se han repetido más de una vez. Los sedimentos de finales del Pérmico proporcionan una evidencia química de la acción de microbios consumidores de SH<sub>2</sub> (sulfuro de hidrógeno o ácido sulfídrico) que solo se dan en ambientes escasos en oxígeno. Estudiando zonas actuales donde se dan estas condiciones, los científicos han encontrado que estas bacterias proliferan en



ciertas profundidades marinas de alta concentración de  $\text{SH}_2$  y donde la luz solar aún llega. Por encima, si no hay turbulencias, hay una capa de aguas ricas en oxígeno, y ambas no se mezclan. Si la concentración de oxígeno baja de un determinado valor, el  $\text{SH}_2$  aflora a la superficie, creando una atmósfera tóxica y mortal para la mayoría de los seres vivos. El calor hace que los océanos no absorban tanta cantidad de oxígeno. Si el vulcanismo de la época elevó los niveles de Metano y  $\text{CO}_2$  y provocó un efecto invernadero, pudo haber sido la causa de una proliferación de bacterias «sulfurosas» anaeróbicas que liberaron el suficiente  $\text{SH}_2$  para conseguir que nadie en el planeta estuviera seguro. Esta propuesta, sugerida por el Lee R. Kump y Michael A. Arthur, de la Universidad de Pennsylvania, es capaz de establecer ciertos vínculos entre las extinciones terrestres y marinas, explica como el vulcanismo podría haber disparado ambas así como también resuelve los hallazgos sulfurosos en los yacimientos Pérmicos. El envenenamiento atmosférico y marino también podría explicar la lenta recuperación posterior a la extinción.

Otra propuesta aportada culpa a la ya mencionada situación de las masas terrestres emergidas. Estas estaban reunidas en Pangea, e implicaba que el resto del planeta estaba cubierto por el enorme océano Panthalassa, que debía de cubrir el 70% de la superficie del planeta. Hoy entendemos el ciclo de las corrientes marinas muy bien, pero ello no nos ayuda a entender cómo pudieron ser en aquellos mares. Yukio Isozaki estudió los sedimentos de Panthalassa que hay entre Japón y Canadá y encontró un deterioro hace unos 260 millones de años cuando las profundidades oceánicas sufrieron una anoxia mientras que en la superficie el nivel de oxígeno permitía cierta abundancia de radiolarios cuyos restos encontró. Estos parecen escasear hasta desaparecer en el límite P/Tr, lo que sugiere que Panthalassa sufrió una total anoxia progresiva. Los radiolarios vuelven a aparecer hace unos 245 millones de años normalizándose el oxígeno hace unos 240 millones de años. En el modelo de Isozaki la extinción está vinculada a una crisis química de las aguas de Panthalassa que es simétrica en el tiempo. No ve un efecto asociado a las erupciones de las Trampas Siberianas. En su lugar la crisis sucede en etapas, la primera de las cuales es la anoxia de las profundidades, asociada a una gran extinción a finales del Guadalupiense del Pérmico Superior. La segunda etapa es la anoxia total de Panthalassa y coincide con el límite P/Tr. Y finalmente todo se recupera paulatinamente en un periodo de unos 10 millones de años cuando vuelven a aparecer los habi-

tantes de los arrecifes en el registro fósil del Triásico. Hay datos en su planteamiento que no coinciden con la comprensión de los océanos que hoy tenemos, así como las variaciones isotópicas y los rápidos cambios en los niveles de las aguas. Algo más, y más repentino, debió de ocurrir.

En 1996 Henk Visser y sus colegas encontraron abundantes restos de células fúngicas fósiles en los sedimentos del límite P/Tr. Hay pistas de que un estrato rico en hongos es la marca de una crisis global donde estos se alimentaban de masivos restos orgánicos de vegetación que habrían sido víctimas de una gran catástrofe. Tal capa fúngica es única en el registro geológico de los últimos 500 millones de años. Las evidencias muestran una gran extinción de gimnospermas, especialmente en Europa y entre las floras que formaron el carbón Pérmico en el hemisferio sur.

Andrew Knoll y sus colegas sugieren que la extinción fue provocada por un océano saturado de  $\text{CO}_2$  que formaría una densa nube que cubriría los mares y las zonas bajas de las tierras emergidas. Algo parecido a lo ocurrido en el lago Nyos de Camerún donde se asfixiaron cientos de personas. La diferencia es que este proceso fue global.

Debido a la respiración normal y a la descomposición de los organismos muertos, las aguas profundas sufrieron una anoxia saturada de  $\text{CO}_2$ , metano y el ya mencionado  $\text{SH}_2$ . El carbono continuó cayendo a los fondos marinos pero quedaba enterrado al no haber oxígeno que lo oxidara. Mientras los niveles atmosféricos caían, las tierras y el océano se enfriaba y finalmente las aguas superficiales fueron tan densas que se hundieron sacando las aguas anóxicas a la superficie y provocando un gran efecto invernadero.

Pero en 1998, Samuel Bowring consiguió nuevos datos en China que mostraban un brusco cambio isotópico del carbono en un ciclo corto de unos 165.000 años. Sugirió como hipótesis un fallo de suministro de carbono orgánico que pudo ocurrir por tres posibles causas, una ligada a las Trampas Siberianas, otra a Panthalassa y sus ciclos de  $\text{CO}_2$  y la tercera un impacto de asteroide, esta última más improbable. La conclusión sugiere que el ciclo del  $\text{CO}_2$  es el vínculo vital entre un desastre medioambiental y las extinciones. El  $\text{CO}_2$  pudo aumentar gracias a las erupciones volcánicas, a los cambios oceánicos y se podría haber aumentado o prolongado por una muerte global repentina de plantas.



## Las causas: El $C_{12}$ y el efecto invernadero

Otra aportación nos viene de la mano del geólogo británico Paul Wignall, ya mencionado anteriormente. Este tenía serias dudas de que un meteorito hubiese causado la extinción masiva de hace 250 millones de años. A finales de los 90, tras una corazonada y para probar sus creencias, tuvo la buena idea ir a buscar nuevas evidencias a Groenlandia. Las rocas Pérmicas son difíciles de encontrar y generalmente se encuentran solo finas capas de sedimentos, pero en su viaje localizó capas de roca de varios metros, un campo de trabajo con evidencias muchísimo mejores de las que esperaba encontrar.

La roca mostraba una duración del proceso de 80.000 años, con tres fases distintas en las plantas y fósiles que contenían. La extinción pareció matar a la vida terrestre y marina de forma selectiva y en periodos diferentes. Un proceso tan largo contradecía la teoría de un meteorito como causa fatal, pero Wignall finalmente tampoco pudo explicar qué fue lo que llegó a matar tanta vida. Su mejor pista era la cantidad de isótopo de carbono de las rocas que mostraba un incremento muy fuerte de  $C_{12}$ . A Wignall le intrigó su significado, porque la explicación más probable (la putrefacción de las plantas) no podía causar un efecto tan fuerte.

La respuesta vino de la mano del geólogo Gerry Dickens, quien sabía cómo conseguir grandes cantidades de  $C_{12}$  gracias a su trabajo perforando la plataforma continental para compañías petroleras estadounidenses. Dickens estuvo algún tiempo intentando sacar provecho de las reservas de hidrometano helado que hay en la plataforma continental del Golfo de Méjico. El metano en el fondo de los mares se forma a partir de la descomposición del plancton. Cuando éste se muere y se hunde hasta las profundidades, el frío y la presión lo encapsulan en moléculas acuosas conocidas como «clathrat». Al juntarse llegan a integrar columnas enteras de hielo metánico, o hidrometano. Gerry sabía que estas reservas se hallan en todas las plataformas continentales del mundo y se preguntó cuánto debía aumentar la temperatura oceánica para descongelar y convertir en gas al hidrometano y que este subiera a la atmósfera. Los experimentos sugirieron que un aumento de  $5^{\circ}\text{C}$  sería suficiente, y sorprendían por la gran cantidad de gas que se podía conseguir de un trozo de hidrometano sólido.

Cuando Paul Wignall supo de los descubrimientos de Dickens, utilizó sus datos de  $C_{12}$  para

estimar cuanto hidrometano hubo de liberarse para afectar al equilibrio isotópico. El metano es uno de los más poderosos gases de efecto invernadero, y dedujo que la liberación del hidrometano habría provocado que la temperatura ascendiera entre  $4$  y  $5^{\circ}\text{C}$  a lo largo del tiempo. Sin embargo tampoco era suficiente para causar la muerte del 95% de las especies, así que propuso un efecto conjunto, es decir, la temperatura combinada de  $10^{\circ}\text{C}$  sumando el efecto del vulcanismo siberiano se podía aceptar como suficiente para causar una extinción masiva.

Estos trabajos sugieren que tenemos dos asesinos Pérmicos. La erupción de las trampas Siberianas contribuyó primero a causar un efecto invernal causado por el polvo y cenizas, y después un calentamiento global. Tras de unos 40.000 años, parte de la vida terrestre murió gradualmente sin que la vida marina sufriera serios reveses. Según el mar liberaba hidrometano fue subiendo de temperatura lo que produjo que en unos 5.000 años desaparecieran la mayoría de las especies marinas. En una tercera y definitiva fase, el asesino Pérmico volvió a esquilmar la vida terrestre durante otros 35.000 años. Hacia el final del proceso, la mayor parte de las especies del planeta se habían extinguido.

## Las causas: La caza de evidencias de impactos meteóricos



Si las erupciones siberianas y la anoxia global no fueron suficientemente mortales, ¿qué otros efectos pudieron entrar en acción? Para intentar responder a esto, Michael Rampino se puso en marcha para establecer un dato absolutamente fundamental: ¿Cuánto duró la extinción? Estudió ratios de sedimentación en rocas de los Alpes y concluyó que el asesino Pérmico acechó el planeta entre 8.000 y 10.000 años, mucho menos de lo inicialmente se pensó. Buscó las causas que pudieron provocar tal catás-



trofe en un parpadeo de tiempo geológico, y quiso explorar la posibilidad de impacto meteórico.

Igualmente, un estudio de Luann Becker de la Universidad de Santa Bárbara (California) y Robert J. Poreda de la de Rochester (NY), tras de examinar sedimentos y fósiles de Austria, Hungría, China y Japón, indicaba que las criaturas Pérmicas desaparecieron en tan solo 8.000 años o menos. El contenido de las muestras en isótopos de Argón ( $Ar_{36}$ ) y Helio ( $He_3$ ) encapsulados en fullerenos (moléculas esféricas de carbono o  $C_{60}$ ) auguraba un origen extraterrestre. La ausencia de grandes cantidades de Iridio y cuarzo fracturado fue interpretada como debida a un impacto en el océano en lugar de en tierra firme.

La idea de un impacto meteórico que borre la vida del planeta puede sonar a ciencia ficción, pero se acepta de forma general que uno de estos impactos causó (o ayudó mucho) la extinción K/T y el fin de los dinosaurios. Este meteorito tenía 10 km de diámetro y dejó un cráter (Chicxulub) en el hoy Golfo de Méjico. Recientes estudios nos hablan de una colisión hace 160 millones de años de un asteroide de 60 km. contra otro de 160 km., lo que produjo la familia de asteroides Baptistina y una lluvia de los mismos por todo el sistema solar, uno de los cuales fue el asesino cretácico. El polvo inundó la atmósfera de tal manera que la temperatura descendió en picado. Según este episodio, ¿qué grande debió de ser un meteorito para causar el desastre Pérmico? Rampino sugirió que uno un 50% mayor sería suficiente, pero hay un fallo en esta teoría, ¿Dónde está el cráter?

La búsqueda de pistas llevó al descubrimiento de microesférulas de Si y Si-Al, que podrían haberse originado mediante un impacto meteorítico y parecen corroborar la hipótesis. La presencia de concentraciones de Iridio algo superiores hacia el final del periodo en estratos localizados en China, aunque no ha probado ser determinante y son discutidas por otros autores, estarían en concordancia con la teoría de la colisión.

Adrian Jones piensa que los caza-meteoritos están buscando el rastro equivocado y para demostrarlo realizó un modelo de los efectos de los impactos en la corteza terrestre. Según sus pruebas la corteza rebota después del impacto para formar un cráter grande y poco profundo. Si el meteorito es lo suficientemente masivo ocurre un proceso extra que combina el calor del impacto y el rebote para fundir la corteza.

Como consecuencia la lava fluye y el cráter desaparece en la nueva corteza. Si esto es cierto, el cráter no puede ser encontrado porque no existe.

Todo lo hasta ahora mencionado sirve para apoyar a los que proponen la teoría del impacto meteórico. Sus detractores, sin embargo, apuntan que los meteoritos dejan rastros de minerales venidos del espacio debido a la fragmentación de los mismos. Gregg Rettaleck montó una expedición a mediados de los 90 para buscar en las rocas Pérmicas de la Antártida. Algunos de los granos de cuarzo que observó habían sido fracturados por un proceso de alta energía, ¿un meteorito? Aunque esta evidencia era un simple golpe de suerte, dejaba respuestas sin contestar. El meteorito K/T dejó un rastro de Iridio en todo el planeta, pero no hay evidencia de que una hipotética colisión Pérmica hiciera lo mismo. Rettaleck encontró indicios de una atmósfera muy rica en metano, y sugirió que el meteorito pudo haberlo liberado si este hubiera colisionado con un gran depósito de hidrometano marino.

#### **El descubrimiento de Bedout** (o Bedout High)

Los descubrimientos de pistas exoplanetarias no acaban aquí. La ya mencionada Luann Becker, descubrió en la primavera del 2004 lo que parecía un cráter que ella cree puede estar asociado a la extinción P/Tr. Su descubrimiento fue publicado en Science Express, la publicación electrónica de la revista Science.

El lugar del impacto estaba en la costa noroeste de Australia, bajo el mar, de un diámetro aproximado de 200 km. y al que llamaron Bedout. El descubrimiento se produjo a raíz de que algunas petroleras durante los años 70 y 80 realizaran perforaciones en busca de hidrocarburos. Las muestras fueron almacenadas, y unas décadas más tarde la ya mencionada Becker y su colega Robert Poreda, un geoquímico de la Universidad de Rochester en Nueva York, las analizaron. Su sorpresa fue total al encontrar lo que no esperaban. La roca analizada parecía provenir de un «impacto brecha» (la brecha es una matriz de roca formada por piedras o minerales de aspecto anguloso y muy ligada a impactos). La conclusión de su estudio fue que Bedout era el cráter provocado por el impacto de un asteroide de unos 10 km. similar al famoso cráter Chicxulub de la península de Yucatán en Méjico.



Una precisa datación fechó la catástrofe en 250,7 millones de años con un error de  $\pm 4,3$  millones de años.

Poreda había estado durante muchos años estudiando rocas volcánicas y esta experiencia le ayudó a descartar la procedencia magmática y reconocer las muestras como provenientes de un impacto. Los tipos de cristales encontrados no dejaba el menor lugar a la duda. Posteriores prospecciones les llevaron a la Atlántida donde localizaron fragmentos del meteorito en un delgado estrato de brecha (la ya mencionada roca ligada a impactos).

Otro colaborador de Becker llamado Kevin Pope también localizó trozos de cuarzo con evidencias de proceder de un impacto en sedimentos Pérmicos de Australia y que posteriormente también fueron localizados en la Antártida. La pista provenía del modo en que el cristal estaba fracturado. Si las fracturan guardan una dirección su origen es volcánico. Si las fracturas siguen múltiples direcciones esto es una indicación de que el origen es un impacto. El tamaño del cuarzo sigue un patrón de disminución del tamaño en función de la cercanía al centro del impacto como lo demuestran diversos análisis del Chicxulub. Este patrón lo encontramos también en estas rocas.

Hay un hecho diferencial con el cráter de Yucatán, y es que los restos de este evento se pueden localizar prácticamente por todo el mundo, mientras que la mayoría de los de Bedout se localizan en el hemisferio Sur. La razón es puramente geográfica. Mientras Bedout se situaba en el Pérmico cerca del Círculo Polar Antártico (ver mapa), el Chicxulub se situaba muy próximo al Ecuador a finales del Cretácico.

Los detractores de Bedout como cráter de impacto argumentan su postura en la casi inexis-

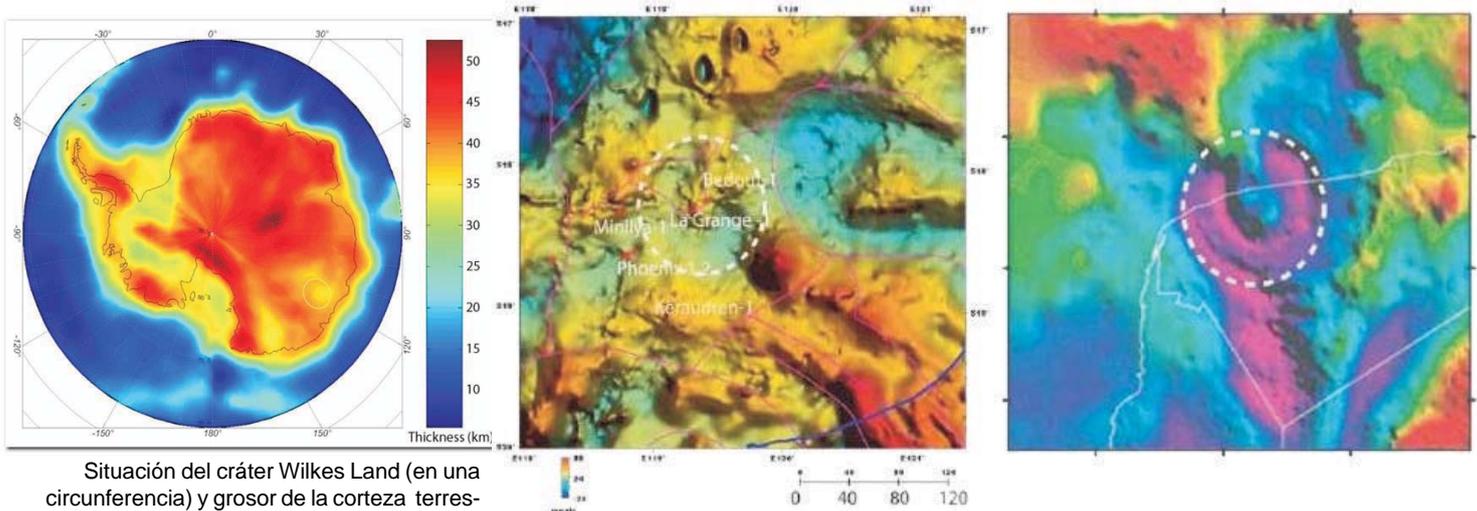
tencia de Iridio, pero sus defensores arguyen que no necesariamente cada cráter de impacto ha de ser rico en este elemento.

Si aplicamos un poco de la teoría del Orient Express en este punto, podemos plantearnos que los impactos pueden inducir al vulcanismo. Durante la extinción K/T también hubo masivas emanaciones de lava asociadas y coincidiendo temporalmente con el evento en las denominadas Trampas del Deccan, en la actual India. La coincidencia en el tiempo del impacto Bedout y el vulcanismo masivo de Siberia a fines del Pérmico puede ser una pista para considerar esta posibilidad en serio. «Quizá un penacho del manto ya comenzaba a afectar en Siberia, y pudiera ser que las ondas sísmicas de este acontecimiento causaron que el flujo de lava aumentara dramáticamente», dijo Pope. «Me gusta usar como modelo un vaso de champán: si usted golpea suavemente en el vaso todas las burbujas suben hasta la parte superior».

Douglas Erwin, un paleobiólogo del Museo de Historia Natural en Washington D.C, aporta un dato importante a asociar a este suceso. El se dio cuenta de que la lava siberiana atravesó en su subida la cuenca más grande de carbón del mundo. El carbón vaporizado habría producido cantidades inmensas de dióxido de carbono y dióxido de azufre lanzándolas a la atmósfera, y cuyas implicaciones hemos planteado ya en este artículo.

### El cráter de Wilkes Land (Antártida)

Pero no acaba ahí la racha de descubrimientos. Los científicos han detectado lo que parece ser otro cráter de 480 kilómetros de diámetro bajo varios cientos de metros de hielo de la capa este de la Antártida, y que pudo haber sido provocado por el impacto de un meteorito gigante hace 250 millones de años.



Situación del cráter Wilkes Land (en una circunferencia) y grosor de la corteza terrestre en la Antártida.

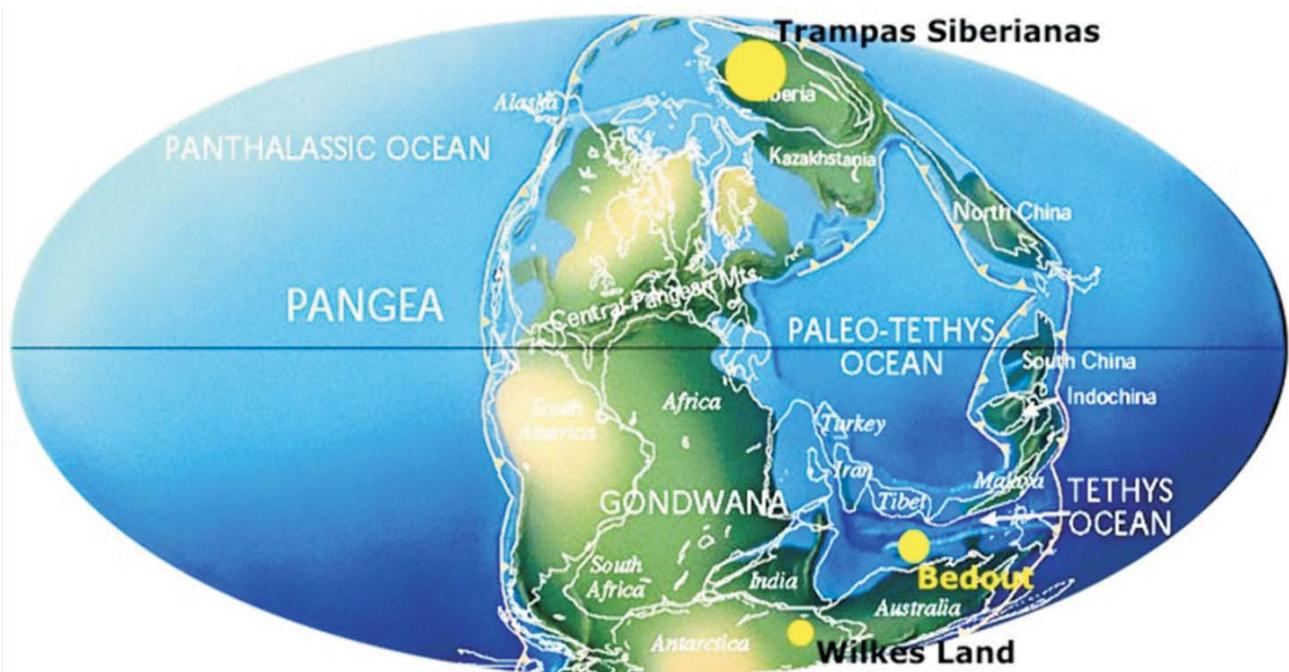
Gráficos de teledetección gravimétrica del cráter de Wilkes Land en la Antártida.



El hallazgo en la Tierra de Wilkes fue realizado por satélites GRACE de la NASA que estaban estudiando las fluctuaciones gravitatorias bajo la capa de hielo.

La información sobre este cráter fue presentada en la Asamblea de la Unión Geofísica Americana en Baltimore. «Este impacto en la Tierra de Wilkes es mucho más grande que el impacto que mató los dinosaurios,» dijo el Profesor Ralph von Frese, de la Universidad Pública de Ohio, en los Estados Unidos. Si el cráter es tal y se formó realmente cuando von Frese y sus colegas creen, este podría ser otra posible causa de «la gran muerte», la más grande de todas las extinciones masivas de la Tierra. El impacto pudo haber sido

además el causante del comienzo del desmembramiento de Gondwana. «Si descubriese esta señal «mascon» (concentración de masa) en la Luna, esperaría encontrar un cráter» dijo Frese, por lo que él y sus colegas superpusieron los datos gravimétricos con imágenes tomadas por un radar aerotransportado y el resultado mostró un sistema circular de 480 km. que coincide con el círculo «mascon». Además apuntó que si conocemos al menos 20 impactos tan grandes en La Luna, ¿porqué no encontrar uno en La Tierra? El problema de este descubrimiento es lo caro que resultaría transportar a la Antártida personal y herramientas para taladrar casi 2 km. de hielo y conseguir rocas y evidencias que pudieran confirmar el evento.



Distribución en el mundo de finales del Pérmico de los tres eventos catastróficos mencionados en el presente artículo.

*Fósiles*

*Meteoritos*

*Útiles*

*prehistóricos*

*norteafricanos*

[www.fosilpaleos.com](http://www.fosilpaleos.com)

**PAZ  
Y  
LUIS**

C/ Rfo Sella nº 2  
19200  
Azuqueca de Henares  
Guadalajara  
España  
626 958 529  
949 262 188

**PALEOS**



[fosilpaleos@hotmail.com](mailto:fosilpaleos@hotmail.com)



# LOS AMMONITES HETEROMORFOS

Autor : Pablo Antonio García Gil.  
Ilustraciones: Luis F. Real Martín.

## INTRODUCCIÓN

Se denominan ammonites heteromorfos a todos aquellos ammonites cuya concha no se enrolla según una espiral situada en un plano o cuyas vueltas no se tocan. Fueron muy abundantes en determinadas épocas pero sobre todo en el periodo Cretácico; sin embargo, para los aficionados que estamos acostumbrados a movernos por la provincia de Guadalajara, son fósiles casi desconocidos.

Cuando preparé el artículo que titulé «Ammonites. Descripción y Biología» que apareció en el número 3 de esta revista, se mencionó de pasada a los ammonites heteromorfos. Me sorprendió la poca información que encontré de esta clase de ammonites, de tal modo que me quedó un deseo de conocer algo más sobre estos fósiles.

En los meses posteriores se sucedieron varios acontecimientos que hicieron que fuera posible que se cumpliera ese deseo. Por un lado recogí algunas muestras de ammonites heteromorfos del Cretácico inferior de mi tierra, Murcia. En las Béticas, el periodo Cretácico aflora en multitud de sitios y sobretodo, el Cretácico inferior que proporciona gran cantidad de fósiles de buena calidad si bien, muchas veces son muy frágiles por la poca resistencia mecánica de la roca que los envuelve. Por otro lado y animado por mis hallazgos, encontré un artículo en Internet sobre ammonites heteromorfos que incluía una buena bibliografía. A partir de ese momento comencé a indagar en ella y este artículo es el resultado de mi trabajo. A continuación os presento los últimos estudios sobre la morfología y modo de vida de los ammonites heteromorfos, así como la bibliografía consultada.

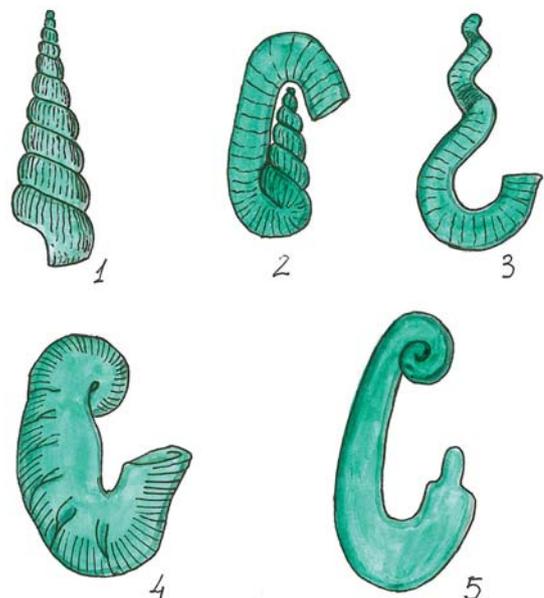
## Modos de enrollamiento

Los ammonites son cefalópodos que poseen una concha dividida en cámaras. Normalmente la concha es un tubo cónico enrollado exogástricamente<sup>1</sup> siguiendo una espiral plana. Aparecieron durante el periodo Devónico y perduraron hasta el final del Cretácico. A lo largo de tan vasto periodo de tiempo; a veces, durante el periodo Triásico y Jurásico aparecieron algunas formas heteromorfas que se extinguieron «rápidamente». Sin embargo, durante el periodo Cretácico aparecieron las formas heteromorfas de nuevo y se diversificaron en gran medida hasta el punto que a finales del Cretácico predominaron en número de individuos y especies.



Imagen en vida de una pareja de *Aspino-ceras* según el modelo de Monks. Un cuerpo grácil, elástico y con finos tentáculos dotaría al animal de gran movilidad. En esta reyerta, la prolongación del cuerpo de uno y la contracción rápida del otro dan al encuentro una inusitada violencia.

La concha de estos ammonites heteromorfos es muy variable; van desde conchas planiespiraladas con enrollamiento abierto, donde no hay contacto entre una vuelta y la siguiente, a otras que no parecen seguir ningún tipo de enrollamiento lógico (Figura 1). Esto provocó que los estudiosos de siglo XIX y principios del XX las considerasen como formas aberrantes fruto del agotamiento del grupo y el anuncio de su extinción. Hoy en día, sin embargo, a los ammonites heteromorfos se les consideran formas especializadas adaptadas a diversos habitats. Su diversidad de formas es tan grande que no es posible hacer interpretaciones generales simples acerca del significado adaptativo de sus conchas.



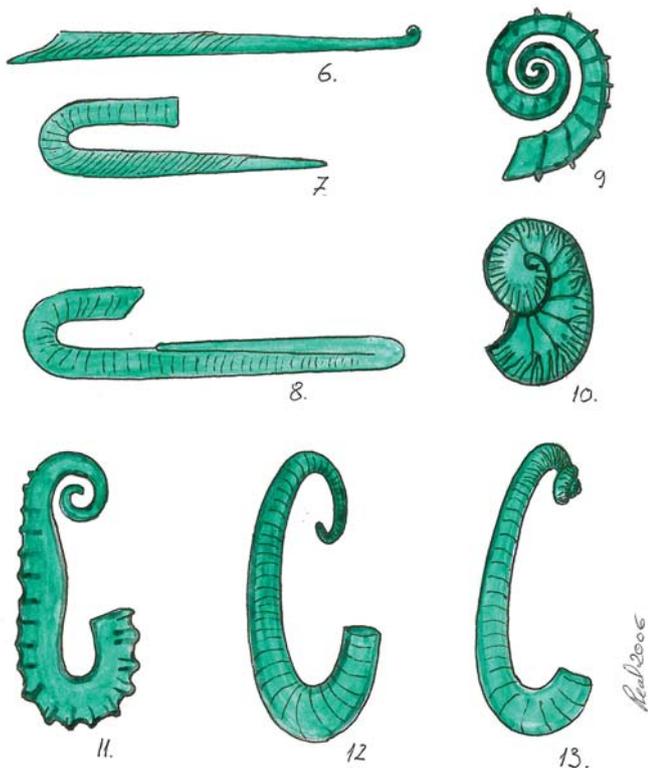


Figura 1. Tipos de enrollamiento en las conchas de los ammonites heteromorfos. 1. Ostingloceras, 2. Anaklinoceras, 3. Hyphantoceras, 4. Scaphites, 5. Worthoceras, 6. Baculites, 7. Hamulina, 8. Ptychoceras, 9. Criocetaites, 10. Clioscaphites, 11. Ancyloceras, 12. Hamites y 13. Heteroceras. Basado en *Trataise on invertebrate paleontology. Part L Mollusca 4. Cephalopoda, Ammonoidea*. R. C. Moore

## Equilibrio hidrodinámico

Antes de entrar en las interpretaciones que se han realizado sobre el modo de vida de los ammonites heteromorfos es necesario recordar algunos conceptos de hidrostática para entender como se movían y orientaban.

Sabemos que el animal, por el hecho de estar sumergido en un líquido, experimenta un empuje ascendente igual al volumen del agua que desaloja (principio de Arquímedes). El punto donde se aplica esta fuerza está en el fragmocono<sup>2</sup> que es la parte más voluminosa.

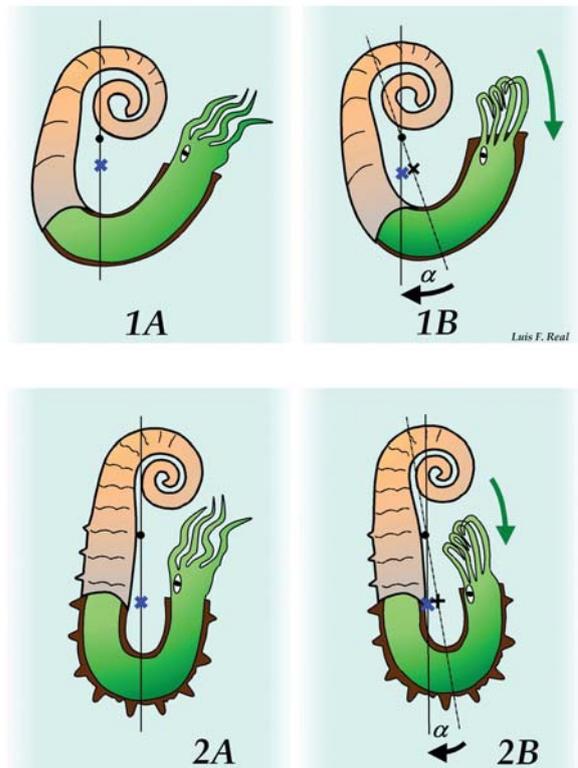
Por otro lado, la parte más pesada corresponde al cuerpo del animal que se sitúa en la cámara habitación por lo que el punto donde se aplica la fuerza debida al peso se sitúa cercano a aquella. El equilibrio hidrostático se consigue cuando ambas fuerzas se sitúan en la misma línea vertical y se contrarrestan.

Para alcanzar este equilibrio y flotar sin esfuerzo a cualquier profundidad, los ammonites, al igual que hace el *Nautilus* todavía hoy en día, vaciaban el líquido de las cámaras y lo reemplaza por gas. De este modo disminuía su peso y conseguían que esta fuerza se equilibrase con el impulso ascensional.

## Interpretaciones de su modo de vida

El modo de vida de los ammonites es una discusión sin fin debido a la falta de fósiles que conserven impresiones de sus partes blandas. Sin embargo, las ideas de Trueman son las que más ampliamente han sido aceptadas.

Arthur E. Trueman de la Universidad de Glasgow calculó, en la década de 1940, el centro de flotación y de gravedad de un cierto número de conchas planiespiraladas y heteromorfas (Figura 2). Trueman asumió en sus cálculos que el cuerpo del ammonite ocupaba toda la cámara de habitación. El resultado fue que los ammonites heteromorfos eran los más estables por ser los que tenían más separados los puntos de aplicación de estas fuerzas. Las interpretaciones del modo de vida basada en el modelo de Trueman conducen a la visión de un animal con movimientos muy reducidos que, además, lo sitúa en muchos casos mirando hacia la superficie, una posición del todo inadecuada para llevar una vida bentónica<sup>3</sup>. Muchos investigadores señalan que estas características evidencian que estos ammonites heteromorfos eran formas de vida pelágicas<sup>4</sup> que se alimentaban de plancton.

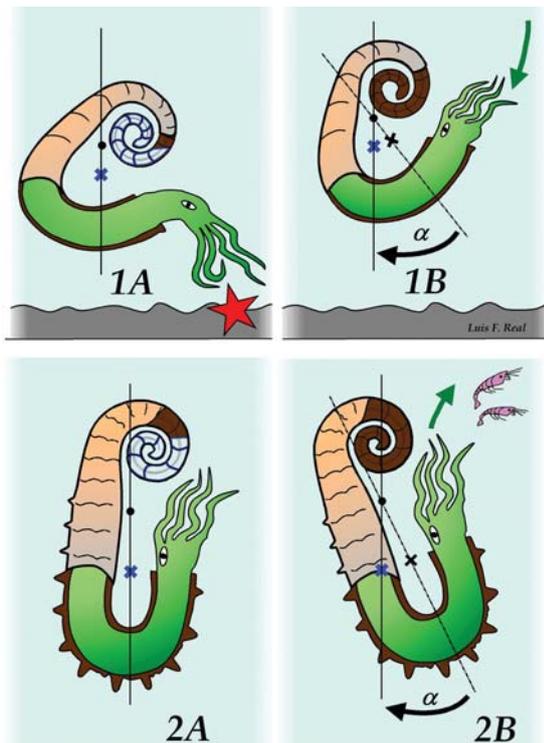


### Modelo de Trueman

Figura 2. Modelo de Trueman en *Aspinoceeras* (1) y *Ancyloceras* (2). La extensión (A) o retracción (B) de los tentáculos provocan ligeras variaciones del centro de gravedad (cruces) del animal que, para equilibrarse bajo el centro de flotación (punto negro) provocan ligeros movimientos oscilantes.



Cincuenta años después, en 1993, Kakabadzé y Sharikadzé propusieron un modelo diferente. Sugerían que ciertos ammonites heteromorfos pudieron tener dos posiciones estables; una con la apertura hacia arriba como Trueman proponía, y otra con la apertura volcada hacia el fondo marino. Para conseguir esta última posición, estos investigadores proponían que el animal era capaz de cambiar rápidamente la distribución de líquido en las cámaras de la concha, lo que cambiaría la posición de su centro de masas y, por tanto, la orientación de la concha (Figura 3).



### Modelo de Kakabadzé y Sharikadzé

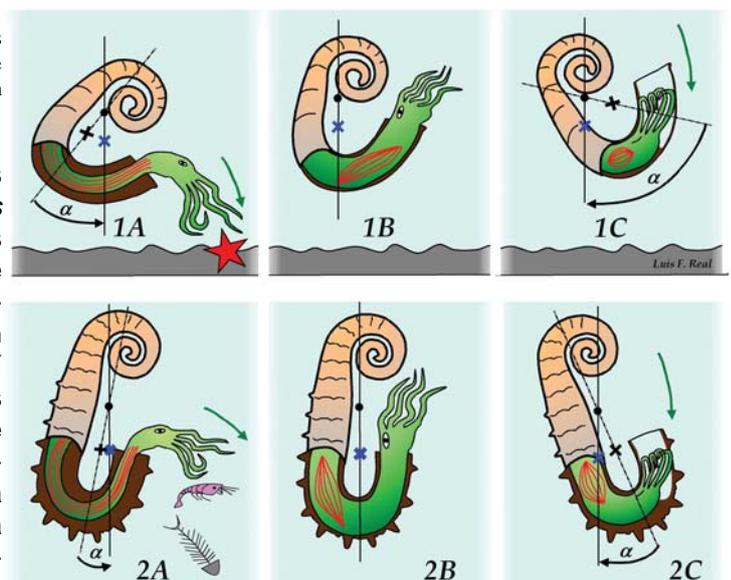
Figura 3. Modelo de Kakabadzé y Sharikadzé. En las cámaras internas se modifica la distribución del líquido haciendo variar el centro de gravedad lo que permite mayor movimiento al animal traducido en un ángulo mayor.

Estos investigadores se apoyaron en los estudios realizados por otros investigadores. Si bien el *Nautilus* actual es capaz de cambiar la cantidad de líquido en las cámaras, en los experimentos realizados se ha visto que estos cambios son lentos y están limitados a cantidades de líquido muy pequeñas (Peter Ward 1981). Sin embargo otros cefalópodos actuales como la sepia sí son capaces de hacer estos cambios de manera más rápida. Parece ser que rellena y vacía parcialmente de líquido las cámaras de su concha cuando desea permanecer a una determinada profundidad. La sepia tiene una concha con una estructura muy diferente a la concha del *Nautilus*. Es interna, ancha y está dividida en numerosas cámaras pequeñas por medio de láminas calcáreas. El sifón es también ancho.

El principal obstáculo que tiene la propuesta de Kakabadzé y Sharikadzé es que el sifón y la concha de los ammonites es mucho más parecida al *Nautilus* que a la de la sepia por lo que si los ammonites eran

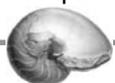
capaces de variar rápidamente la cantidad de líquido contenido en sus cámaras, no se ha propuesto aún un mecanismo plausible y convincente de realización.

En 1997, Neale Monks y Jeremy R. Young presentaron una propuesta que recogía parcialmente las ideas de Kakabadzé y Sharikadzé pero con algunas modificaciones importantes. Estos investigadores se centraron en tres tipos de ammonites heteromorfos; los aspinoceros, los ancyloceros y los hamitoceros (representados en los géneros *Aspinoceras*, *Ancyloceras* y *Hamites* respectivamente) y propusieron que el cuerpo del animal no ocupaba toda la cámara de habitación sino que era más pequeño y podía moverse a lo largo de aquella<sup>5</sup>. Como en la propuesta de Kakabadzé y Sharikadzé, esto significa que la concha cambia de orientación como consecuencia del cambio en la distribución de masas conforme el animal se mueve en la cámara de habitación. Estos investigadores presentan a los ammonites heteromorfos de los tipos comentados anteriormente, como un pequeño pulpo que transporta una concha, como hace un gasterópodo. Cuando el animal va en busca de alimento, se desplaza hacia la abertura de la concha lo que provoca su giro hacia el substrato. El animal sería capaz de rebuscar en el fondo con sus brazos (Figura 4). En caso de sentirse amenazado, el ammonite se refugiaría en el fondo de la cámara de habitación provocando la rotación de la concha que quedaría con la abertura alejada del fondo marino. La estrategia defensiva de este tipo de ammonites sería esperar a que el peligro pasase y confiar en la protección que le proporcionaba su concha que generalmente está reforzada con costillas, para hacerla más resistente, y con espinas para disuadir a los predadores más osados. Además la cámara de habitación suele ser larga y estrecha haciendo complicada la tarea de que el animal pudiera ser extraído de su concha.



### Modelo de Monks y Young

Figura 4. Modelo de Monks y Young. El animal posee una musculatura (líneas rojas) muy elástica que le proporciona un amplio movimiento dentro y fuera de la cámara habitación desplazando, en consecuencia, el centro de gravedad y proporcionando amplios ángulos de oscilación para estabilizarse.





*Ancyloceras* en vida siguiendo el modelo de Trueman. Tal vez, protegidos en un bosque de algas no tuvieron la necesidad de efectuar amplios movimientos. Podrían alimentarse de pequeños invertebrados o incluso carroña escondidos entre los frondes

Estos investigadores han calculado que el ángulo máximo de rotación (valores del ángulo  $\alpha$ ) podría llegar a  $40^\circ$  para las formas *Aspinoconas*,  $50^\circ$  para las *Ancyloconas* y hasta  $100^\circ$  para los *Hamiticonas*.

Pero en la década de los 90 hubo otras interpretaciones que rompían drásticamente con la idea original de un ammonite estático sin apenas capacidad de movimiento. Ebel en 1992 reconstruyó varios tipos de ammonites heteromorfos como *Escaphites* y *Nipponites*, con cuerpos grandes que eran incapaces de retraerse al interior de la concha. Ebel imagina a estos animales como pulpos capaces de reptar por el fondo marino con sus brazos poderosos y llevando una parte de su cuerpo dentro de una pequeña concha.

En 1996, Lewy propuso un ammonite heteromorfo libre, sin concha, de manera que esta era solo el envoltorio que generaba la hembra para proteger los huevos. Lewy se basa en los estudios realizados sobre el argonauta. Este pequeño cefalópodo habita cerca de la superficie marina en mares cálidos. Presenta un gran dimorfismo sexual siendo la hembra mucho mayor que el macho, pero lo más curioso es que la hembra genera un envoltorio para sus huevos que es muy parecido a la concha de un ammonite (Figura 5). Para Lewy, el argonauta es el sucesor de los ammonites donde la concha pasó de ser usada como elemento de flotación a ser un elemento de protección de la puesta.



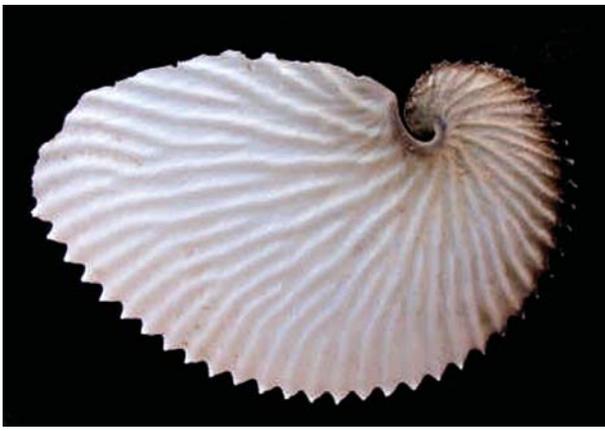


Figura 5. Envoltorio para la puesta de un *Argonauta argo* L. 1758. Se asemeja al ammonite triásico *Trachyceras*. (Ejemplar de 83 mm.)

En cuanto a las especies ortoconas y las enrolladas helicoidalmente, la abertura de estos ammonites queda mirando hacia el fondo marino. En ambos tipos de concha es posible el movimiento que debido a su posición de equilibrio, sería vertical. Pero en ambos casos sigue siendo un misterio su alimentación y el modo de vida que llevaban. Podrían haber sido animales bentónicos alimentándose de pequeñas criaturas del fondo marino donde, al primer atisbo de peligro, podrían haber huido rápidamente desplazándose hacia arriba. Pero también podrían haber sido criaturas pelágicas que ascendían de noche a la superficie en busca de plancton y descendían lentamente a mayores profundidades durante el día en busca de la seguridad de la oscuridad.

## CONCLUSIONES

Todas estas interpretaciones se basan en pequeñas evidencias encontradas en algunos fósiles. Sin duda muchas de ellas serán descartadas cuando nuevos descubrimientos y nuevos estudios salgan a la luz.

Lo que es apreciable es el cambio que hay en la comunidad científica sobre el modo de vida de los ammonites. A partir de las investigaciones de Trueman, se llegó a la conclusión de que los ammonites eran animales pasivos, generalmente poco adaptados a la natación, y estas ideas han cambiado en las últimas décadas. A pesar de la similitud que existe entre la concha del nautilus y la concha de los ammonites desde el punto de vista funcional, existen también diferencias importantes como son:

- Posición del sifón.
- Línea de sutura.
- Tipos de enrollamiento y de ornamentación.

Por tanto, el *Nautilus* puede no ser el mejor modelo de comparación. Además, se ha constatado que existen una serie de analogías con los cefalópodos coleoideos (belemnites, sepias, calamares y pulpos) de las que podemos destacar:

- Concha embrionica pequeña.
- Rádula<sup>6</sup> con 9 dientes. Uno central flanqueado por una fila con 4 dientes cada una.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Neale Monks & Philip Palmer, *Ammonites*, The Natural History Museum of London Eds., 2002. Página 159.
- Neale Monks and Jeremy R. Young, 1997. »Body position and the functional morphology of Cretaceous heteromorphy ammonites«. *Palaeontologia Electronica*, vol. 1, issue 1 - January 1998, art. 1: 15pp., 1841KB. [http://palaeo-electronica.org/1998\\_1/monks/issue1.htm](http://palaeo-electronica.org/1998_1/monks/issue1.htm)
- Peter Ward « La extinción de los ammonites». *Investigación y Ciencia*, nº 1983, Pág. 92-102
- W. J. Arkell, W. M. Furnish, Bernhard Kummel, A. K. Miller, R. C. Moore, O. H. Schindewolf, P. C. Sylvester-Bradley and C. W. Wright, *Treatise on invertebrate paleontology Part L Mollusca 4*, Geological Society of America and University of Kansas Press. 1957.

- Golletes sifonales que apuntan hacia la abertura de la concha.

Puesto que los cefalópodos coleoideos son animales depredadores activos, se ha cuestionado la primitiva idea de un ammonites meramente flotador. Hoy en día se les considera animales activos, parecidos en muchos casos a pequeños pulpos que se alimentaban de presas diminutas. En otros casos se le considera capaces de hacer migraciones diarias de cientos de metros para alimentarse de plancton. Sin embargo, la falta de evidencias directas de cómo era su cuerpo en realidad deja el abanico de posibles interpretaciones demasiado abierto; aún.

## APÉNDICE: LOS NAUTILOIDEOS ORTOCÓNICOS

Antes de acabar el artículo quiero comentar un aspecto de los ammonites ortocónicos que me resultó curioso. A los nautiloideos del paleozoico de concha recta se les representa siempre en posición horizontal y son considerados nadadores veloces de mares abiertos, sin embargo a los ammonites rectos del Cretácico se les representa en posición vertical y nadadores lentos. ¿Por qué esa diferencia si la estructura del cuerpo es muy similar? La respuesta es sencilla. En las conchas de los nautiloideos ortocónicos fósiles se ha observado que tenían rellenas de mineral las cámaras del extremo opuesto donde vivía el animal, para contrarrestar su peso. Con estos depósitos intracamerales conseguían una posición de equilibrio horizontal. También se observa en el peristoma (la abertura de la concha), un seno en el lugar donde sobresalía el embudo, luego este debió ser un órgano bien desarrollado. En cambio, los ammonites ortocónicos no tiene depósitos intracamerales por lo que su posición de equilibrio sería vertical con la cabeza hacia abajo y no presentan el seno en el peristoma (ningún ammonite heteromorfo lo presenta) por lo que se piensa que, o no tenían embudo o este era reducido.

<sup>1</sup> Que se enrolla por la espalda quedando la parte ventral hacia el exterior.

<sup>2</sup> Se denomina fragmocono a la parte tabicada de la concha.

<sup>3</sup> Bentónico: que lleva una vida ligada al fondo marino.

<sup>4</sup> Pelágico: que lleva una vida en aguas abiertas. En oposición a bentónico.

<sup>5</sup> Hay que puntualizar el término «moverse». Recordemos que el cuerpo de los ammonites se fija a la concha por unos músculos que están situados en el fondo de la cámara de habitación. Además, el cuerpo se prolonga mediante un órgano cilíndrico llamado sifón que atraviesa todas las cámaras y que es el encargado de vaciarlas de líquido. Cuando Neale Monks y Jeremy R. Young proponen que el cuerpo era pequeño y podía moverse en la cámara de habitación significa que el cuerpo del animal era bastante más pequeño que la cámara de habitación y que podía estirarse hasta el exterior de la abertura de la concha (nota del autor).

<sup>6</sup> Órgano situado detrás de la mandíbula, parecido a la lengua y que está cubierta de dientes rasposos.



## GALERÍA DE FOTOGRAFÍAS

A continuación se presentan algunos ejemplos de ammonites heteromorfos de las cordilleras Béticas. Este tipo de conchas es más frágil que la de los ammonites planiespirados lo que se traduce en que el material que se encuentra suele estar muy fragmentado. Eso unido a la escasez de documentación hace que la clasificación sea muy complicada, por lo que a continuación solo se sugerirán posibles familias.

Fotografías de: Pablo García Marcial Moya y Juanjo Gracia



Figura 1. Podría tratarse de un *Uhligia* sp. Es un pequeño ammonite de sección en «O» alargada. Comienza con un tramo recto que se curva 180° (no se ha conservado) para seguir con un tramo ligeramente curvo acabado en la «U» final. La ornamentación está formada por costillas finas y muy suaves en la mayor parte de la concha salvo en el tramo final, en donde se hacen más recias. También ahí aparecen costillas intercaladas. No tiene tubérculos. Vivió durante el Barremiense inf. (58 mm)



Figura 2. Otro pequeño ammonite de forma elipsoidal. Las costillas son más marcadas que en el anterior y dan la vuelta completa a la concha. No presenta ni tubérculos ni costillas intercaladas. Se ignora de que especie se trata. Cretácico inf. (Barremiense-Aptiense) (47 mm).

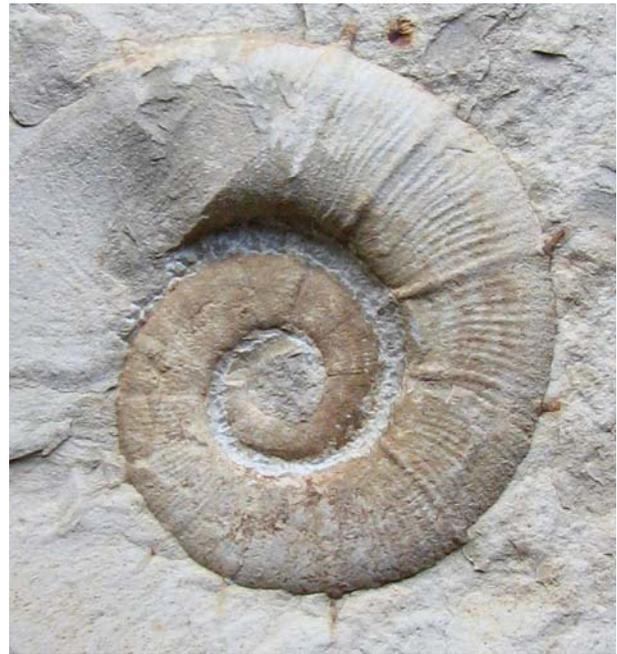


Figura 3. *Crioceratites* sp. Ammonite cirtocónico muy variable en su enrollamiento, variando desde formas donde sí hay contacto entre vueltas a otras de espiral muy abierta. Presenta muchas costillas finas entre las que se intercalan una costilla más gruesa que posee una corona de espinas repartidas a lo largo de todo su perímetro. Está presente en los sedimentos del Hauteriviense sup. hasta el Barremiense sup. (53 mm)



Figura 4. Un gran ammonite heteromorfo del que solo se ha conservado el tramo final en «U». Presenta un gran tubérculo en el flanco del que parten costillas finas en la parte dorsal (parte interna de la U). En la parte ventral las costillas son más recias y simples y presenta otras dos filas de tubérculos. Apareció en margas del periodo Aptiense-Albiense. (300 mm).





Figura 5. Este ammonite es muy frecuente en los niveles donde aparece Crioceratites y a veces aparecen fosilizados en grupos como el caso de la fotografía. Al principio es casi recto y poco a poco la concha va adquiriendo mayor curvatura. Las costillas recuerdan a Crioceratites en su distribución, es decir, grupos de costillas finas donde se intercalan cada poco una costilla más recia. Puede presentar alguna costilla intercalada y algún tubérculo aislado. No se conoce de que espécimen se trata. (89 mm)



Figura 7. Este ejemplar podría tratarse de un miembro de la familia Ptychoceratidae. Son ammonites de tramos rectos que presentan una o varios giros de 180° en los que la concha continúa su crecimiento junto al tramo anterior o con una pequeña separación. La ornamentación es variable; pueden ser lisos o presentar suaves costillas que ganan en intensidad en la parte final. Se desconoce el periodo al que pertenece porque fue recogido rodado en el fondo de una rambla. (224 mm)



Figura 9. Un fragmento de ammonite donde se ha conservado la parte en forma de «U». Se observa como cambia la ornamentación al desarrollarse el ángulo de la concha, quizás estos cambios de ornamentación estén relacionados con la madurez del animal. Las finas costillas de juventud dan paso a costillas recias en el tramo final de la concha. También desaparecen los estrangulamientos periódicos. Fue hallado en margas de edad Albiense-Cenomaniense. (70 mm)



Figura 10. Este ejemplar puede ser un representante de la subfamilia ancyloceratinae en el que se observa que comienza con una forma enrollada en la que seguramente no había contacto entre las espiras para pasar luego a un tramo recto en el que las finas costillas simples transcurren oblicuamente. El tramo final en U viene marcado por un cambio de ornamentación a costillas separadas y gruesas con algunos tubérculos. Cretácico inferior-Barremiense (410 mm).'



Figura 6. Otro ammonite procedente del Hauteriviense sup.-Barremiense. Se trata de una forma que comienza su desarrollo con una concha espiral que se desenrolla con el crecimiento y acaba en forma de «U». La ornamentación está formada por costillas finas que en la cámara de habitación son más notorias. Presenta una costilla recia intercalada cada poco y no se observan tubérculos ni costillas intercaladas. Recuerda a la ornamentación de Crioceratites. Podría tratarse de un representante de la subfamilia Ancyloceratinae. (84 mm)



Figura 8. Posiblemente otro miembro de la misma familia donde el cambio de ornamentación es espectacular. Es del Cretácico inferior, piso Aptiense. (240 mm)



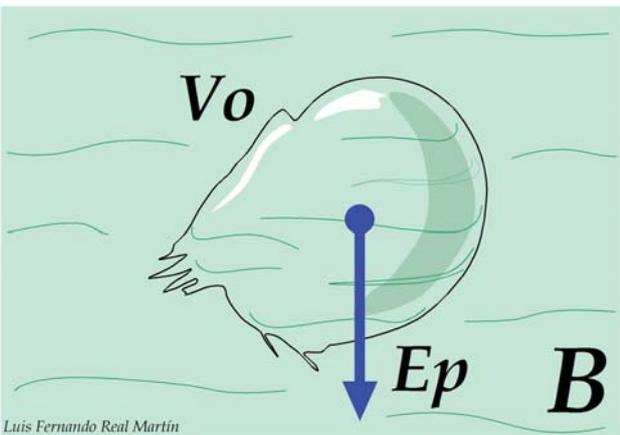
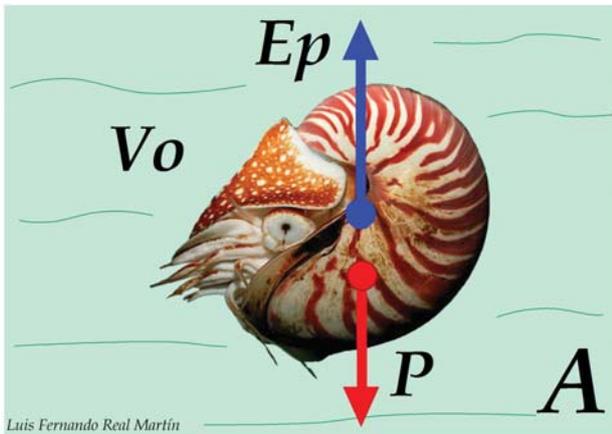
Figura 11. Ammonite de enrollamiento helicoidal (fragmento) procedente ya del Cretácico superior. La ornamentación está formada por costillas simples que presentan numerosos tubérculos a lo largo de ellas. Seguramente se trata de un miembro de la familia Turrilitidae. (150 mm)



# En el taller de Arquímedes. Conceptos básicos de hidrostática.

Texto y dibujos: Luis Fernando Real Martín.

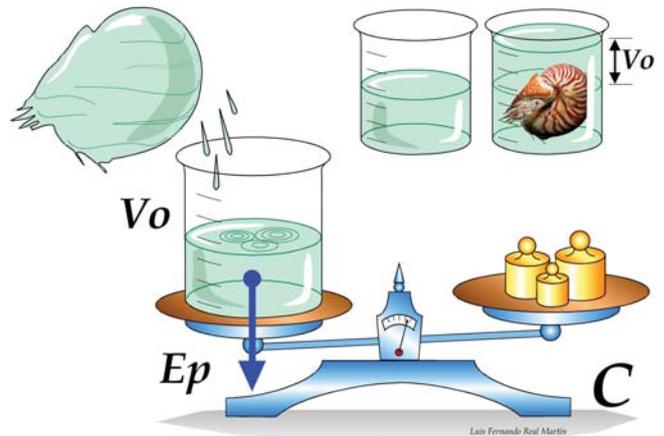
Nosotros, como Arquímedes 200 años a.c., podemos comprobar como los cuerpos sumergidos pesan menos dentro del agua. Este peso aparente es debido a que experimentan dos fuerzas opuestas y lo que percibimos es su resultado: la diferencia entre ambas. Repasemos los conceptos de la hidrostática para entender este fenómeno acompañando al *Nautilus* de la Figura A.



## El empuje

Un cuerpo sumergido, el *Nautilus*, sustituye el espacio físico que antes ocupaba el agua. La cantidad de líquido desalojado tiene el mismo volumen que el cuerpo,  $V_o$ . La Fig. B representa el volumen del líquido con la forma irregular del cuerpo. En un recipiente, por ejemplo, vemos como el nivel del líquido (Fig. C arriba) sube un volumen igual al del objeto introducido. De este modo se mide su volumen.

El *Nautilus* experimenta una fuerza de sentido ascendente denominada de Empuje  $E_p$  (Fig. A). Su valor es el peso del volumen del líquido  $V_o$  que ha desalojado (Fig. C).



El punto azul sobre el que se considera que actúa el empuje se llama Centro de Flotación (Figuras A y B). Corresponde al centro de gravedad de la forma líquida del cuerpo, (Fig. B).

La otra fuerza antagónica es el propio peso  $P$  del cuerpo. El punto rojo donde actúa es su Centro de Gravedad (o centro de masas) (Figura D). Es importante no confundir el centro de gravedad que corresponde al centro de flotación y el centro de gravedad del peso del cuerpo.

El resultado de la interacción de ambas fuerzas ofrece tres posibilidades: cuando el empuje es mayor que el peso, el cuerpo flota; si es al contrario, se hunde. Si ambas fuerzas se igualan, el cuerpo permanece en una posición intermedia dentro del líquido.

Reescribiendo lo expuesto enunciamos el principio de Arquímedes como: «Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje hacia arriba (o fuerza que lo mantiene a flote) igual al peso del volumen del fluido desalojado por la inmersión, parcial o total, del cuerpo».

## El concepto de densidad.

Dos cuerpos del mismo volumen pero de diversos materiales, como hierro, plástico o madera, sufren el mismo empuje, pero sus pesos no son iguales. Por el contrario, si tienen el mismo peso, el empuje que experimentan es distinto porque sus volúmenes son diferentes. Para no tener que precisar si estamos hablando de pesos y volúmenes utilizamos el concepto de densidad de un cuerpo. Se define como el peso por unidad de volumen:  $\text{gr/cm}^3$ . La capacidad de flotación se determina comparando: si la densidad del cuerpo es menor que la densidad del líquido, el cuerpo flota y si es mayor se hunde. Cuando ambas densidades son similares, el cuerpo está en equilibrio en cualquier punto dentro del líquido.

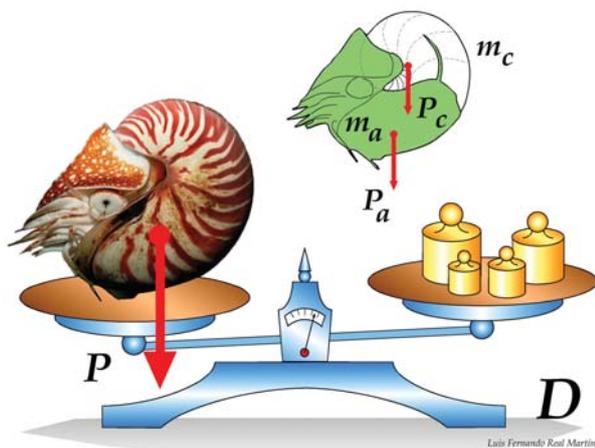


Pueden darse casos más complejos, puede ocurrir que los cuerpos no tengan una densidad homogénea al estar hechos de distintos materiales. La flotabilidad de estos cuerpo se describe a continuación.

### La estabilidad.

En el *Nautilus* de la Figura A el centro de flotación (punto azul) no coincide con el centro de gravedad (punto rojo). Esto es debido a que el cuerpo del animal no está constituido por una masa de materia homogénea. En la Figura D, arriba, observamos como las vísceras,  $m_a$ , están en la zona inferior del animal y la concha y los gases internos,  $m_c$ , más ligeros, en la superior. El centro de gravedad del animal depende de la distribución de estas masas.

El centro de flotación, en cambio, está relacionado con la masa del líquido y éste tiene una densidad homogénea, Figura B.

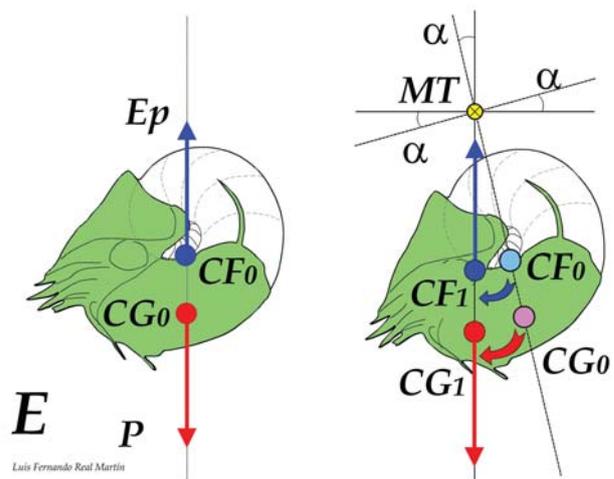


Cuando la densidad de un cuerpo sumergido total o parcial no es homogénea el centro de gravedad no coincide con el centro de flotación. Esta situación ocurre en los barcos. La posición del centro de flotación depende de la forma y volumen de la carena (parte del casco sumergido). El centro de gravedad depende de la instalación de la maquinaria, la colocación de las cargas en las bodegas, etc. En los veleros de competición se lastra la quilla para situar el centro de gravedad muy abajo. (En la película Piratas del Caribe 3, los protagonistas dan la vuelta a un barco, observe el lector como desatan la carga y los cañones para que se desplace el centro de gravedad del barco, aunque la idea parece buena, ¿sería factible?).

La posición del centro de flotación y de gravedad determina la estabilidad del cuerpo. El cuerpo está estable cuando ambos centros y las fuerzas se encuentran en línea vertical. Cuanto más separación hay entre ellos, mayor será la estabilidad. Si ambos centros coinciden, el cuerpo está en equilibrio indiferente. Cuando el centro de gravedad se desplaza, las fuerzas dejan de estar acopladas en la misma vertical, Figura E. Entonces se crea un eje de giro llamado Metacentro  $MT$ , que se encuentra en el cruce de las prolongaciones de las líneas que unen los centros

de la posición anterior ( $CG_0$  y  $CF_0$ ) con la actual ( $CG_1$  y  $CF_1$ ). Las líneas forman un ángulo  $\alpha$ . Desde el metacentro tiene lugar un balanceo que tiende a situar los centros en la vertical y recuperar la posición estable el cuerpo.

La posición del metacentro en un animal tan pequeño puede ser poco relevante comparado con otras fuerzas impulsoras o nadadoras (la Fig. E es orientadora). En la navegación y en la construcción naval es trascendente. En los barcos, el oleaje varía la forma y el volumen de la carena, por consiguiente el centro de flotación cambia constantemente de posición. El balanceo desde el metacentro se denomina momento adrizante y puede escorar el barco sin que recupere la verticalidad y zozobre.



### Estabilidad en los ammonites heteromorfos.

Algunos heteromorfos tienen los centros muy separados y poseen bastante estabilidad vertical. Se puede deducir que ésta fue la posición en vida de algunas especies pelágicas. La suposición de cuerpos y tentáculos elásticos junto con la regulación de los gases intercamerales podría proporcionarles más movilidad de la imaginada jugando con los cambios de posición de los centros.

### Conclusión.

Esperamos haber dado al lector una idea clara del fenómeno de la flotabilidad para que comprenda mejor las teorías del artículo «Ammonites heteromorfos».

### Para seguir recordando.

*Puente Azcutia, Julio. Lo que usted estudió y nunca debió olvidar de Física. Acento Editorial. 2001. Madrid.*

*Lozano Leyva, Manuel. De Arquímedes a Einstein. Los diez experimentos más bellos de la física. Ed. Debate. 2005. Barcelona.*



# Arquímedes entre calamares y plastelina.

## Flotabilidad de los ammonites heteromorfos.

Texto y figuras Luis Fernando Real Martín.

¿Cómo flota un ammonite heteromorfo?, ¿Cuál es su posición en vida?, ¿Cuánto pueden desplazarse, nadar, girar, etc.? Aplicaremos los conceptos de hidrostática para responder a estas preguntas. Acercaremos al lector a las suposiciones que hay que asumir para abordar el problema sin la existencia de un ser vivo que podamos observar.

Para tener una reconstrucción sencilla del animal, la primera conjetura es imaginar que la parte del cuerpo que asoma de la concha tiene ocho o diez tentáculos. Utilizaremos unos modelos construidos con plastelina como en la Figura 1. Se muestran dos posturas creíbles del animal, cuando estira el cuerpo y los tentáculos para depredar y cuando los encoge para esconderse. También se realizan en una hoja los dibujos de estos modelos. Calcularemos el peso y el empuje y la situación de los centros de gravedad y de flotación en los modelos de cada postura. Estos centros se marcan en los dibujos. La diferencia de las posiciones de estos centros entre una postura y otra observada en los dibujos, indicará la capacidad de movimiento que puede adquirir el animal por el hecho de cambiar de postura; por ejemplo, cuando cazando una presa sufre repentinamente el acoso de un enemigo.

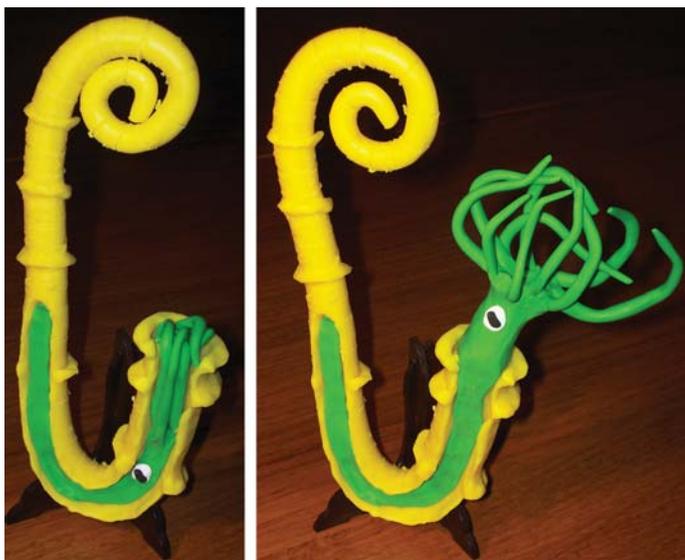


Figura 1

Las conclusiones que deseamos obtener son:

1ª. El grado de flotabilidad del animal según sea la diferencia entre el empuje y el peso.

2ª. La posición y estabilidad del animal en cada postura dependiendo del alineamiento y separación de los centros de gravedad y de empuje.

3ª. La movilidad conseguida por la amplitud del ángulo que forman las líneas de estabilidad en cada una de las posturas.

Estas distancias y los ángulos se medirán sobre los dibujos.

El análisis de la flotabilidad puede proporcionar información sobre la vida y el entorno de estos invertebrados. No se consideran otras estructuras anatómicas que los doten de más movimiento como la propul-

sión por expulsión de agua por el embudo o membranas intertentaculares. Estas especulaciones podrán tenerse en cuenta después de examinar otras más admisibles.

La Figura 2 muestra los distintos pasos de medidas y cálculos necesarios para lograr un resultado verosímil. Cada dato se anotará en las tablas. El peso y la posición del centro de gravedad del animal dependen de tres componentes: la masa visceral, la masa de la concha y los gases intracamerales. Cada uno contribuye de forma diferente al peso total (en el apartado «En el taller de Arquímedes» se explica cómo la masa del ammonite no es homogénea). El trabajo se inicia considerando estas tres partes por separado. Empezamos determinando la densidad de la masa visceral y de la concha tomando como referencia animales actuales, calamares o pulpos frescos y conchas de marisco. La densidad del gas la encontramos de los tratados de química (pasos 1.1, 1.2 y 1.3). El volumen del cuerpo y de la concha (3.1, 3.2 y 3.3) se miden en el modelo de plastelina (paso 2). Las densidades y los volúmenes proporcionan el peso de cada parte: vísceras y concha (paso 4). Con la contribución de estos pesos por separado recomponemos el peso total del animal (paso 5). En este punto tenemos el modelo como si fuese el ser vivo de «carne y hueso». En el siguiente tramo de cálculos se halla la fuerza de empuje (paso 6) y el centro de flotación (paso 7). Para tener los resultados gráficos, marcamos los centros de gravedad y de flotación en el dibujo del papel.

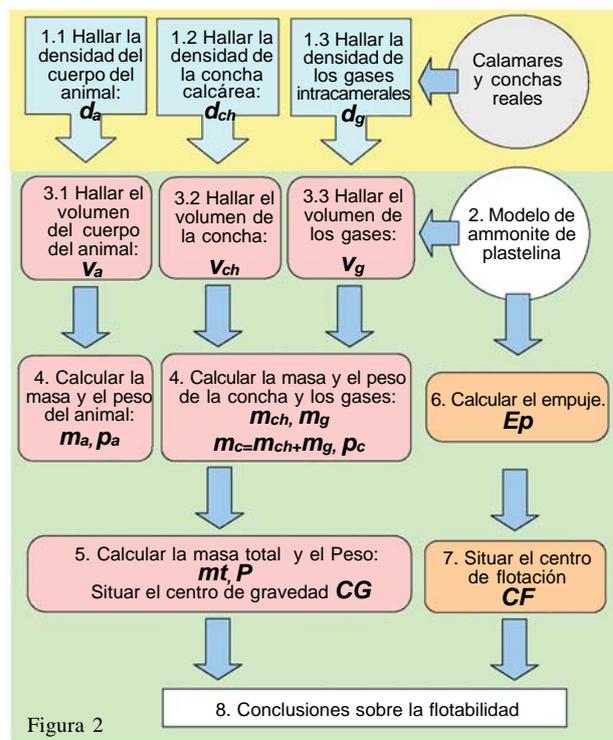


Figura 2

Repetiremos el procedimiento anterior con la otra pose del modelo de la Figura 1. Entre los dos dibujos de posturas diferentes analizaremos las variaciones de los centros de gravedad y de flotación para llegar a las conclusiones enumeradas anteriormente.



A continuación se detallan las operaciones que hay que realizar en cada paso.

Tabla 1. Datos de animales actuales: masa (gr.), volumen (cm<sup>3</sup>) y densidad (gr/cm<sup>3</sup>).

Peso de los calamares		Peso de las conchas	
$peso =$	$peso =$	$peso =$	$peso =$
$masa = peso / 9,8 =$	$masa = peso / 9,8 =$	$masa = peso / 9,8 =$	$masa = peso / 9,8 =$
Volumen de los calamares		Volumen de las conchas	
$volumen =$	$volumen =$	$volumen =$	$volumen =$
1.1 Densidad del cuerpo del animal.	1.2 Densidad de la concha calcárea.	1.3 Densidad de gases intracamerales.	
$d_a =$	$d_{ch} =$	$d_g = 0,00116$	

Tabla 3. Volúmenes del modelo de plastelina (cm<sup>3</sup>)

3.1 Volumen del animal	3.2 Volumen de la concha	3.2 Volumen del gas de las cámaras internas
$V_a =$	$V_{ch} =$	$V_g =$

Tabla 4. Masas y pesos naturales equivalentes en el modelo (gr.)

4.1 Masa animal	4.2 Masa de la concha (material calcáreo)	4.3 Masa de los gases internos	4.4 Masa de la concha
$m_a = d_a \times V_a =$	$m_{ch} = d_{ch} \times V_{ch} =$	$m_g = d_g \times V_g =$	$m_c = m_{ch} + m_g =$
Peso animal	Peso de la concha	Peso de los gases	Peso de la concha
$p_a = m_a \times 9,8 =$	$p_{ch} = m_{ch} \times 9,8 =$	$p_g = m_g \times 9,8 =$	$p_c = m_c \times 9,8 =$

Tabla 5. Masas y pesos totales del ammonite (gr.)

Masa total, $mt$
$mt = m_a + m_c =$
Peso Total
$P = mt \times 9,8 = p_a + p_c =$

Tabla 6. Volumen del modelo

Volumen del ammonite
$V_0 =$
Empuje (peso del volumen del líquido desplazado)
$E_p =$

Material necesario: Báscula o dinamómetro de precisión, recipiente graduado con agua, plastelina, hojas de papel, metro flexible, hilo, tijeras, alfileres. Descripción de los pasos.

## 1. ¿Cómo hallar densidades $d_a$ , $d_{ch}$ , y $d_g$ ?

### 1.1 Densidad del cuerpo del animal, $d_a$ .

Suponemos que la masa visceral y muscular de un ammonite sería similar a un calamar actual. Las densidades serán iguales, por lo tanto hallamos la densidad del calamar:

- Pesamos unos calamares comprados en la pescadería, Figura 3a. (La masa es el peso dividido por la gravedad, 9,8 m/seg<sup>2</sup>). Dividimos el peso por 9,8. (Aunque el peso se midan familiarmente en gramos no confundir con los gramos de la masa).
- Sumergimos los cuerpos en agua en un recipiente graduado. La diferencia de volumen de líquido antes y después de la inmersión es el volumen de los cuerpos, Figura 3b.
- Calculamos la densidad del animal  $d_a$  con las ecuaciones:

$$\text{masa (gramos)} = \frac{\text{peso en el aire (gramos)}}{9,8 \text{ m/seg}^2}$$

$$\text{densidad } d_a \text{ (gramos/cm}^3\text{)} = \frac{\text{masa (gramos)}}{\text{volumen (cm}^3\text{)}}$$

### 1.2 Densidad de la concha calcárea, $d_{ch}$ .

Suponemos que la concha calcárea de un ammonite

sería similar a los moluscos actuales. Calculamos la densidad de la concha de ammonite  $d_{ch}$  pesando y midiendo el volumen de un grupo de conchas de mejillones, berberechos, etc. como en el paso anterior.

### 1.3 Densidad de los gases intracamerales, $d_g$ .

El gas en las cámaras del *Nautilus* es  $N_2$  (nitrógeno molecular o diatómico) con algunas trazas de  $O_2$  (oxígeno molecular). Suponemos que los ammonites tenían sólo nitrógeno. El *Nautilus* vive de 0 a 200 m. de profundidad. La presión de los gases en el interior de las cámaras se mantiene constante próximas a 1 atm<sup>1</sup>, pero la temperatura en el mar varía con la profundidad, de 25°C (298°K) en la superficie a 18°C (291°K) a 200m. La temperatura varía el volumen y por lo tanto también la densidad del gas. Calculamos la densidad del gas  $N_2$  a 0 m (25°C) y a 200 m (18°C). Según el peso molecular del  $N_2$  (un mol de  $N_2$  pesa 28 gr y ocupa 22.400 cm<sup>3</sup> en condiciones de 1 atm. y 0°C, 273°K) y la Ley de Gay-Lussac que relaciona el volumen de los gases con la temperatura:

La densidad del  $N_2$  a 25°C y 1 atm. de presión es:  $dg1 = 0,001145 \text{ gr/cm}^3$

La densidad del  $N_2$  a 18°C y 1 atm. de presión es:  $dg2 = 0,001173 \text{ gr/cm}^3$

La variación de la densidad del gas con la profundidad es despreciable, consideramos un valor intermedio de  $dg = 0,00116 \text{ gr/cm}^3$

## 2. Construcción del modelo.

Modelamos con plastelina un ammonite heteromorfo en una postura de la Figura 1. Hay que tener en cuenta que la cámara habitación está ocupada por una gran porción del cuerpo.

### 3. ¿Cómo hallar los volúmenes $v_a$ , $v_{ch}$ y $v_g$ ?

#### 3.1 Volumen del cuerpo del animal, $v_a$ .

El animal de plastelina, parte verde de la Figura 1, se «extrae» de la concha y hallamos su volumen  $v_a$  como en pasos anteriores.

#### 3.2 Volumen de la concha, $v_{ch}$ .

Es más complejo determinar el volumen de la concha. Idealizamos la concha real enrollada en un cono

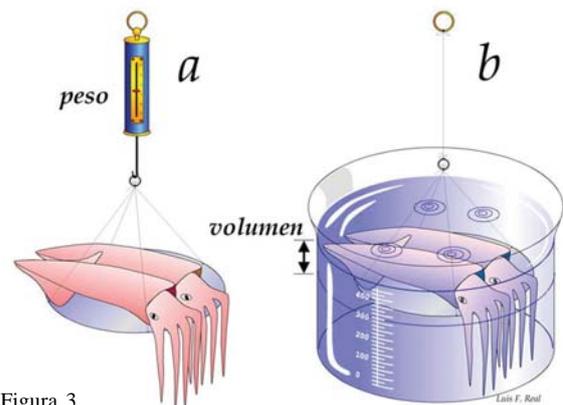


Figura 3



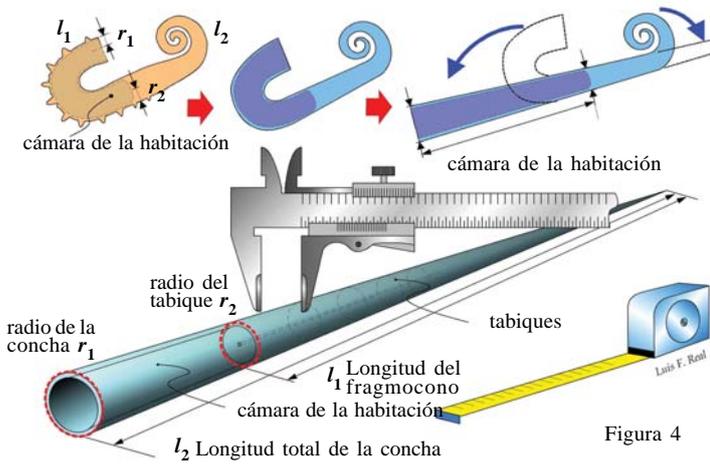


Figura 4

perfecto, Figura 4. De esta forma podemos calcular más fácilmente la superficie. La superficie total de un cono es la suma de la superficie lateral y la superficie de la base. En nuestro modelo, la superficie de la base corresponde al primer tabique. Medimos la longitud oblicua de la concha  $l_1$  y el radio  $r_1$  para calcular la superficie lateral y el radio  $r_2$  para calcular la superficie de la base

(Figura 4). (La longitud oblicua es la distancia desde la base al ápice sobre la superficie lateral y no es la altura del cono por su eje central).

$$\text{Superficie (cm}^2\text{)} = \delta \cdot \text{radio } r_1 \text{ (cm)} \cdot \text{Longitud oblicua } l_1 \text{ (cm)} + \delta \cdot \text{radio } r_2^2 \text{ (cm)}$$

El volumen de la concha  $v_{ch}$  será el producto del espesor (décimas de milímetro) de la pared de la concha por las superficies anteriores. Suponemos que el espesor del tabique es la misma que la superficie lateral. Despreciamos el volumen de los tabiques internos.

### 3.3 Volumen del gas intracameral, $v_g$ .

El volumen del gas lo calculamos a partir del volumen del cono ideal. Consideramos sólo la parte del fragmocono: la longitud  $l_2$  y el radio  $r_2$  de la Figura 4.

$$\text{Altura (cm)} = \sqrt{\text{longitud oblicua } l_2 \text{ (cm)}^2 - \text{radio}_2^2}$$

$$\text{volumen del cono (cm}^3\text{)} = \frac{1}{3} \pi \text{ radio } r_2^2 \text{ altura (cm)}$$

El volumen de este cono es la cantidad de gas  $v_g$  que puede albergar el ammonite en sus cámaras internas.

## 4. ¿Cómo calcular las masas y los pesos?

Cada uno de los volúmenes anteriores,  $v_a$ ,  $v_{ch}$  y  $v_g$ , multiplicados por sus respectivas densidades  $d_a$ ,  $d_{ch}$  y  $d_g$ , nos proporciona las masas  $m_a$ ,  $m_{ch}$  y  $m_g$  como si el modelo fuese un ammonite real. Aplicamos a cada una la ecuación:

$$\text{masa (gramos)} = \text{densidad (gramos/cm}^3\text{)} \cdot \text{volumen (cm}^3\text{)}$$

Para simplificar cálculos posteriores sumamos la masa de la concha y los gases a una única masa de concha  $m_c = m_{ch} + m_g$ . La masa del animal es  $m_a$  y la masa de la concha + gases es  $m_c$ .

Los pesos  $P_a$  y  $P_c$  son el producto de las masas por la gravedad 9,8.

## 5. ¿Cómo situar los centros de gravedad $cg_a$ , $cg_c$ y $CG$ ?

Estos pasos se calculan gráficamente. Dibujamos en un papel la silueta a escala del ammonite del modelo de plastelina. Sobre él marcamos los centros de gravedad y más adelante el centro de flotación que hallaremos sobre el modelo tridimensional.

### 5.1 Centro de gravedad del animal, $cg_a$ .

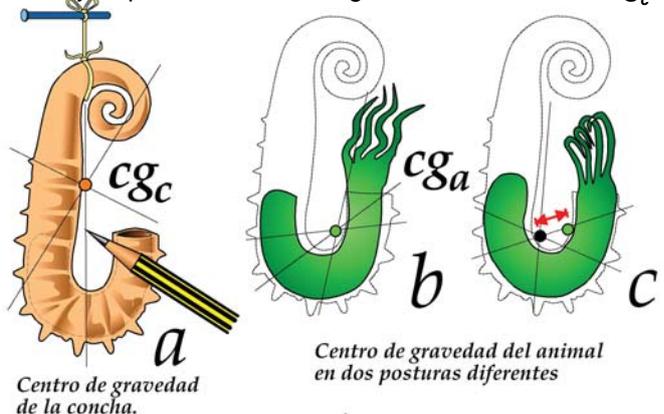
Tomamos un trozo de hilo de 30 a 40 cm. y el cuerpo del animal de plastelina, parte verde de la Fig. 1, fuera de su concha. Sujetamos un extremo del hilo en el borde del cuerpo y lo colgamos verticalmente desde el otro extremo. Continuamos con la línea recta vertical del hilo y observamos cuidadosamente por dónde cruza el cuerpo de plastelina. Sobre el dibujo de la silueta del papel trazamos esta línea recta con un lápiz. Esta línea debe de cruzar el dibujo de la parte del cuerpo por los mismos puntos en que lo hace la línea vertical continuación del hilo.

Repetimos esta operación sujetando el hilo y colgando el cuerpo desde otra parte extrema.

El punto donde se cruzan las rectas que hemos dibujado con lápiz sobre el papel es el centro de gravedad del cuerpo del animal  $cg_a$ .

### 5.2 Centro de gravedad de la concha, $cg_c$ .

Realizamos la misma operación anterior colgando la concha, parte amarilla de la Fig. 1. Marcamos sobre el dibujo el punto del centro de gravedad de la concha  $cg_c$ .



Centro de gravedad de la concha.

Centro de gravedad del animal en dos posturas diferentes

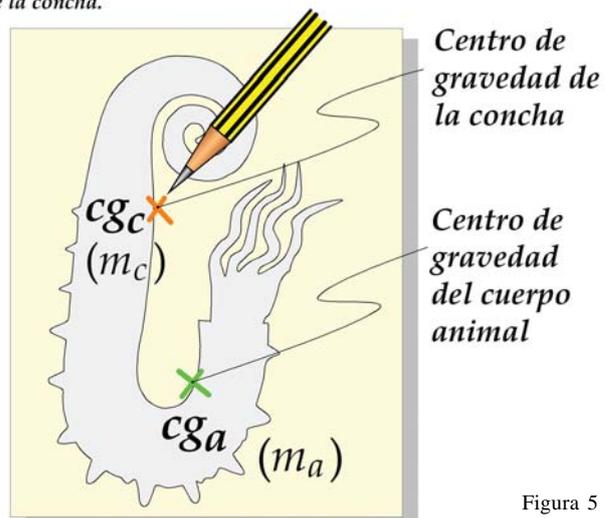


Figura 5



Las Figuras 5-a, b y c muestran el procedimiento para la concha y el cuerpo en dos posturas. La figura inferior es el dibujo sobre papel con las marcas de  $cg_a$  y  $cg_c$ .

### 5.3 Centro de gravedad $CG$ y masa total $mt$ .

Determinamos el centro de gravedad y el peso del ammonite (el animal y su concha) a partir de los dos anteriores.

Tenemos un sistema de masas discreto. El peso del conjunto  $P$  (o la masa total  $mt$ ) es la composición de los pesos  $P_a$  y  $P_c$  (o  $m_a$  y  $m_c$ ) y actúa sobre un punto denominado centro de gravedad  $CG$ . El peso  $P$ , o la masa  $mt$ , es la suma de ambos pesos y masas respectivamente. La situación de  $CG$  está situada a la distancia ponderada de los centros  $cg_a$  y  $cg_c$ . Este sistema cumple la siguiente relación:

$$P = P_a + P_c \quad r_a \cdot m_a = r_c \cdot m_c$$

$$M_t = m_a + m_c \quad r = r_c + r_a$$

Donde  $m_a$  y  $m_c$  son conocidos y  $r$  se mide con una regla sobre el dibujo, Figura 6. Con los datos anteriores se calcula  $r_a$  y  $r_c$  y se marca el punto  $CG$  en el dibujo:

$$r_c = r \cdot \frac{m_a}{m_a + m_c} \quad r_a = r \cdot \frac{m_c}{m_a + m_c}$$

Tenemos situado el centro de gravedad  $CG$  y la masa  $mt$  del ammonite «real» cuando adopta la postura del modelo de la Figura 1 seleccionada. ( $P$  es el producto de  $mt$  por 9,8).

### 6. ¿Cómo calcular la fuerza del empuje $Ep$ ?

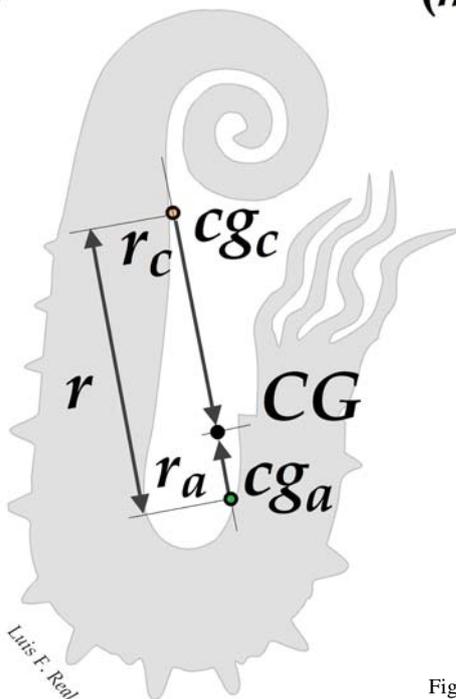
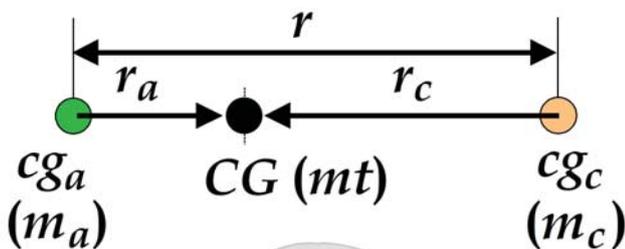


Figura 6

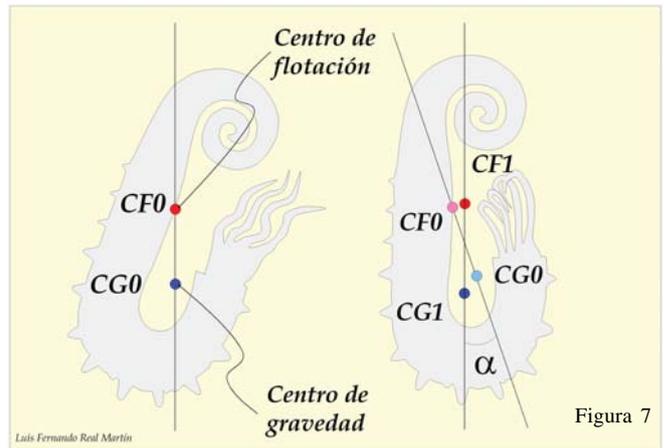


Figura 7

Hallamos el volumen del ammonite  $V_0$ . En otro recipiente echamos este volumen de agua y lo pesamos. El peso es el valor de la fuerza de empuje  $Ep$ .

### 7. ¿Cómo situar el centro de flotación $CF$ ?

Es el punto donde se considera que actúa el empuje. Hallamos el centro de gravedad como lo realizamos anteriormente pero con modelo completo (el cuerpo y su concha).

En el dibujo del papel marcamos el centro de flotación  $CF$  (Figura 5).

### 8. Conclusiones:

#### a. Flotabilidad.

Si el peso es mayor que el empuje,  $P > Ep$ , el ammonite se hundirá; si es al contrario,  $P < Ep$ , flotará. ¿Es mayor el peso que el empuje?. ¿Se hunde, flota o permanece en equilibrio?.

#### b. Estabilidad.

La distancia mayor o menor entre el centro de flotación y el de gravedad indicará la estabilidad y su alineación vertical la posición.

¿Qué distancia hay entre los centros  $CG$  y  $CF$ ?. ¿Mantendría una posición estable?. ¿Cuál es la posición real con respecto a la vertical para cada postura?.

#### c. Movilidad angular.

¿Cuánto puede balancearse?. ¿Qué ángulo hay entre las líneas que unen los centros de una postura inicial  $CG_0-CF_0$  y otra final  $CG_1-CF_1$ ?. (Ver Figura 7).

### La simplificación, elementos no considerados.

En la simplificación no hemos tenido en cuenta los siguientes datos:

*El peso de los tabiques intracamerales.*

No hemos considerado el peso de los tabiques internos. Podemos reconsiderarlos contando los tabiques en un ammonite seccionado. Medimos las distancias entre ellos y las trasladamos proporcionalmente al modelo cónico. Calculamos el área de estas secciones circulares en el cono. El producto de estas superficies por el espesor nos da el volumen. Consideramos los



cies por el espesor nos da el volumen. Consideramos los tabiques planos, pero en realidad son curvos o sinuosos aportando una superficie es ligeramente mayor.

El volumen de los tabiques hay que sumárselo a la concha y restárselo a los gases.

#### *El espesor de la concha.*

Durante el proceso de crecimiento el espesor de la concha no es constante. Varía en el desarrollo. En un ammonite seccionado podemos medir el espesor desde su juventud hasta su madurez. Para los cálculos estimamos un espesor de valor medio.

#### **Otros factores.**

Existen factores biológicos y ambientales que influyen en la flotabilidad.

#### *Líquido en las cámaras.*

Los *Nautilus* pueden rellenar parcialmente las cámaras de agua. Podemos analizar los cambios que se producirían en la flotabilidad y estabilidad suponiendo que los ammonites hiciesen algo similar. El peso aumenta y el centro de gravedad se desplaza dependiendo de qué cámaras fuesen las que se llenasen de agua.

#### *La cantidad de grasa en el cuerpo.*

Si los tejidos almacenasen grasa el ammonite sería más ligero, con tendencia a flotar. Si tuviese estructuras córneas como el pico de la boca, sería más pesado.

#### *La actividad.*

Pudieron ser nadadores activos o pasivos. Se propulsarían expeliendo agua por el embudo o «caminarían» con los tentáculos. Estos movimientos modifican la flotabilidad y la estabilidad de los animales.

#### *El entorno marino.*

Otros factores del entorno son: el aumento de la presión con la profundidad o las variaciones de la densidad del agua marina ( $1,025 \text{ gr/cm}^3$ ) con la salinidad, con la temperatura y con la profundidad

#### **Otros animales diferentes.**

Podemos cambiar a otros modelos de animal como sugiere la teoría de N. Monks (Ver en este número «Los Ammonites Heteromorfos»), dibujaremos el cuerpo en una postura más estirada y unos tentáculos más largos y otra con el cuerpo más encogido en el interior de la concha. Podemos variar el número de tentáculos. Se deja a la imaginación del lector la creación de nuevos modelos.

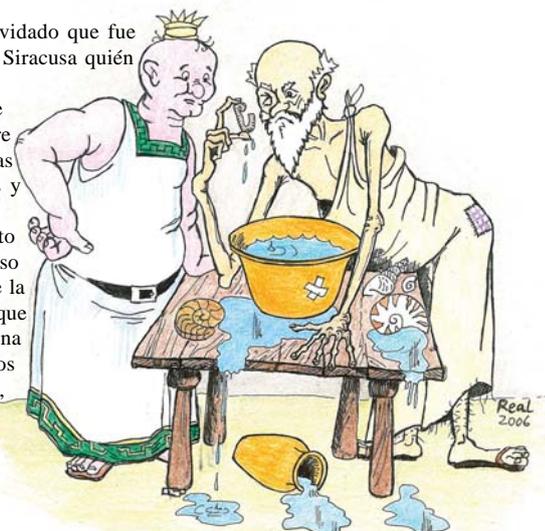
Queda pendiente la hidrodinámica de estos animales. No obstante, la capacidad de flotación estática repercute en el consumo de mayor o menor energía. Si tiende a flotar o hundirse necesitaría de la natación para mantener al animal en la profundidad adecuada.

Dejamos al lector la labor de corregir y experimentar los postulados expuestos.

<sup>1</sup> Clarkson, E. N. K. *Paleontología de invertebrados y su evolución*. Ed. Paraninfo. Madrid 1986.

<sup>2</sup> En general se denomina Centro de masas cuando se refiere a cualquier fuerza.

La historia ha olvidado que fue el rey Herión de Siracusa quien interrumpió los experimentos de Arquímedes sobre la flotación de las conchas actuales y fósiles. Sólo se recuerda el asunto que el rey propuso al sabio, aquél de la cantidad de oro que había en su corona o el engaño de los orfebres... Total, qué más da una corona o una concha...



**FOSILES • MINERALES • BISUTERIA**

**Francisco Alonso Couce**

Geólogo Paleontólogo

Colegiado en el ICOG N° 4564

C/ Hermosilla, 72 - 28001 Madrid

Telf. 91 575 97 12, Almacén, 91 3093677

e-Mail fosilespaco@hotmail.com

**?TE GUSTA EL  
COLECCIONISMO?  
?QUIERES HACER UN  
REGALO DIFERENTE?**

**Ven a visitar nuestra exposición  
de Fósiles, Minerales y Bisutería.  
En Geoda somos profesionales y  
estamos a tu disposición para  
cualquier consulta que necesites.**

**Se compran colecciones completas**



# Cefalópodos de la Sierra de Llevant Mallorca

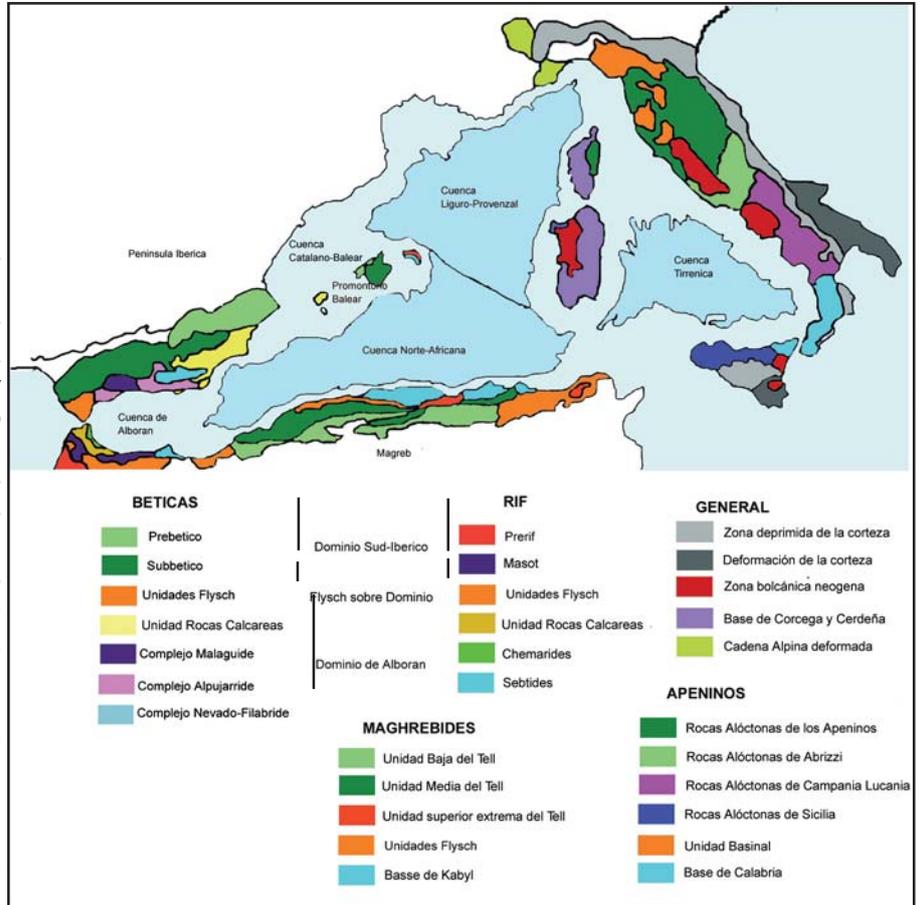
Autores, fotografía:  
 -Tommy Torres Van Bergen  
 -Dori Quesada Aguado



## LAS ISLAS BALEARES

Las Islas Baleares forman parte del conjunto emergido Balear, que empieza en el Cabo de la Nao hasta la Cuenca Ligo - Provenzal. Este Promontorio(\*) se prolonga hacia el noreste de la Cordillera Bética y está limitado por tres cuencas: La catalano - Balear al noroeste, la Norte - Africana al Sur y la Cuenca Ligo - Provenzal al noreste. Las Islas Baleares tienen una semejanza a las Islas de Córcega y Cerdeña, aún existiendo grandes diferencias. Estas dos Islas también se encuentran entre tres cuencas: la Ligo - Provenzal al oeste, la Tirreniana(\*) al Este y la Norte - Africana al Sur. La zona del mediterráneo donde están situadas este conjunto de Islas, forman parte de un conjunto de cuencas, algunas de fondo oceánico, separadas por las mismas islas y rodeadas por una cadena de montañas como las Sierras de Llevant, las cuales se van a tratar en el estudio.

## UNIDADES GEOLÓGICAS DEL MEDITERRÁNEO EL ORÓGENO RIFEÑO-BÉTICO-BALEAR



Las Islas Baleares están limitadas por fallas que tienen un desplazamiento de más de 4km (como la Falla Emile Baudot situada a 15km al sureste de Mallorca). Estas fallas tienen movimiento desde el plioceno (5-1,8 M.a.) y han perdurado hasta el día de hoy.

Las Islas Baleares forman parte del segmento más nororiental del orógeno(\*) que incluye el Rif(\*), las Cordilleras Béticas y en definitiva, el Archipiélago Balear.

El orógeno Rifeño - Bético - Balear es el conjunto de Estructuras que aparecen en la región montañosa del Rif (Marruecos) y Bokoyas(\*), la Cordillera Bética y el Archipiélago Balear, en donde podemos incluir también la parte sumergida de las Islas, del mar de Alborán(\*), parte de la Cuenca Algeriana y la cuenca Catalano - Balear. Este último conjunto de estructuras se ha formado debido al movimiento de las placas Africana y la Ibérica, una de las cuales se hunde debajo de la otra consumiéndose en el manto. Entre estas dos placas se encuentra una pequeña placa, el dominio de Alborán, que sufrió un movimiento hacia el oeste produciéndose el choque con las placas anteriores.

Los dominios existentes en el orógeno(\*) Rifeño-Bético-Balear son:

1- El dominio Sudibérico incluye: las Islas Baleares, el Subbético, el Prebético y la depresión(\*) del Guadalquivir. El inicio de la estructuración de su cobertera se da en el Aquitaniense (22,5 M.a.), aunque los primeros sedimentos que provienen de las zonas situadas internamente son del Burdigaliense superior (19 M.a.). Representa el paleo margen meridional de la Placa Ibérica durante el Mesozoico (230 - 65 M.a.) y gran parte del Cenozoico (65 M.a. - Actualidad). El acortamiento de las unidades de este dominio prosigue en el tiempo más allá del momento en que finaliza la estructura del dominio de Alborán que hablaremos en tercer lugar. La compresión del Dominio se produjo a partir del Aquitaniense superior (19 M.a.) hasta la actualidad.

2- El segundo dominio es el Magrebí que incluye el RIF, excepto el interno. Equivale al dominio Sudibérico pero representa el paleo margen del norte de África. La evolución es distinta a la anterior debido a la dinámica propia de las placas Africana y Europea.

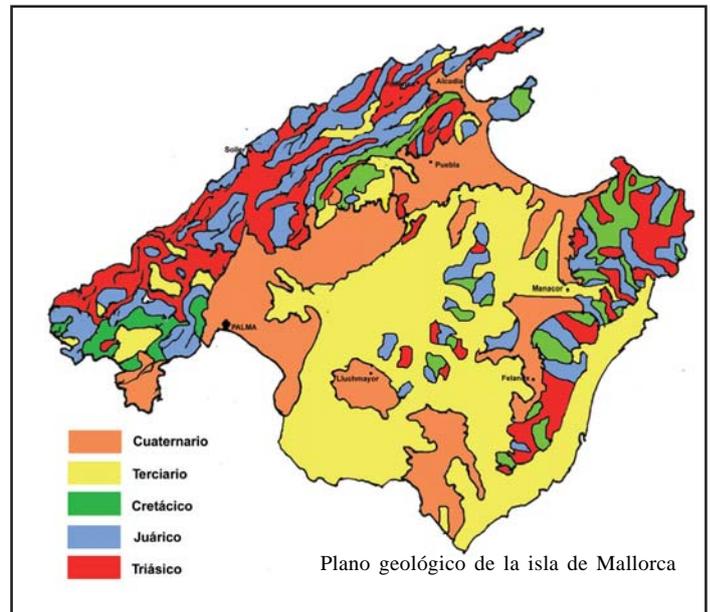


3- El tercer dominio es el de Alborán que incluye Bokoyas, los mantos del zócalo(\*) Névado-Filábrides, Alpujarrides-Sébtides y Maláguides-Gomárides y las zonas dispuestas unas sobre otras de la Dorsal(\*) Bética, Rifeña y Kabílica y Predorsal. Estas zonas están constituidas principalmente por materiales paleozoicos y triásicos metamórficos en el ciclo alpino. En definitiva este dominio consta de diversos mantos de edad probablemente Paleógena (Saenz de Galdeano, 1990). La facilidad de contracción entre los mantos ha sido obstruido por deformaciones de carácter extensivo que se produjeron durante el Mioceno Superior (11 M.a.). Los autores García-Dueñas y Balanyá (1991), García-Dueñas et al. (1992) y Crespo-Blanc et al. (1994) describen sistemas de carácter extensivo afectando el Dominio de Alborán de las Béticas: extensión Norte-Sur durante el Aquitaniense (22,5 M.a.), Este-Oeste durante el Burdigaliense superior (19 M.a.), Norte-Sur durante el Langhiense (16 M.a.) y Suroeste-Noreste durante el Serravalliense (14 M.a.). Progresivamente los nuevos sistemas de carácter extensivo iban cortando los antiguos. El primer lugar donde se produjo la extensión inicial estaba situado a unos 250-300 Km. más al oeste de su situación actual, en la inicial cuenca Algeriana. Todos estos diferentes tipos de extensión produjeron que la corteza sufriera un gran adelgazamiento en los alrededores del mar de Alborán. Durante el Mioceno superior (11 M.a.) las Cordilleras Béticas sufrieron una compresión en dirección norte-sur, por la cual se produjeron plegamientos de los diferentes sistemas de carácter extensivo del Mioceno Inferior-medio y se desarrollaron unos sistemas de fallas direccionales enlazadas en las cordilleras Béticas orientales según autores como (De Larouzière et al., 1988; Meghraoui et al., 1996). El inicio de la progresión hacia el Oeste del Dominio del Alborán sucedió probablemente en el Neógeno y estaría formado por zonas dispuestas unas encima de otras de las unidades de la Dorsal, situados en la zona del cabalgamiento de la corteza en el Estrecho de Gibraltar.

4- Y por último está el dominio del surco de Flysch(\*). De este únicamente se conoce una parte de su cobertera despegada (el Flysch del campo de Gibraltar) que se da como un medio de sedimentación muy profundo sobre un trozo de corteza continental adelgazada o parcialmente oceánica. Las unidades de este dominio, sin su basamento(\*) cabalgan la cobertera del Dominio SudIbérico y a su vez están cabalgados por el dominio de Alborán. Lo que provocó la obstrucción progresiva del Surco de Flyschs fue la superposición del dominio de Alborán sobre los otros tres que se efectuó mediante un cabalgamiento de la corteza durante el Mioceno Inferior (22.5-16 M.a.).

## LA ISLA DE MALLORCA

En este estudio vamos a hacer referencia a la Isla de Mallorca y en concreto a los cefalópodos hallados en las Sierras de Llevant que más adelante describiremos. La isla de Mallorca forma parte de un conjunto de islas del archipiélago Balear situado en el mar mediterráneo al este de la Península Ibérica.



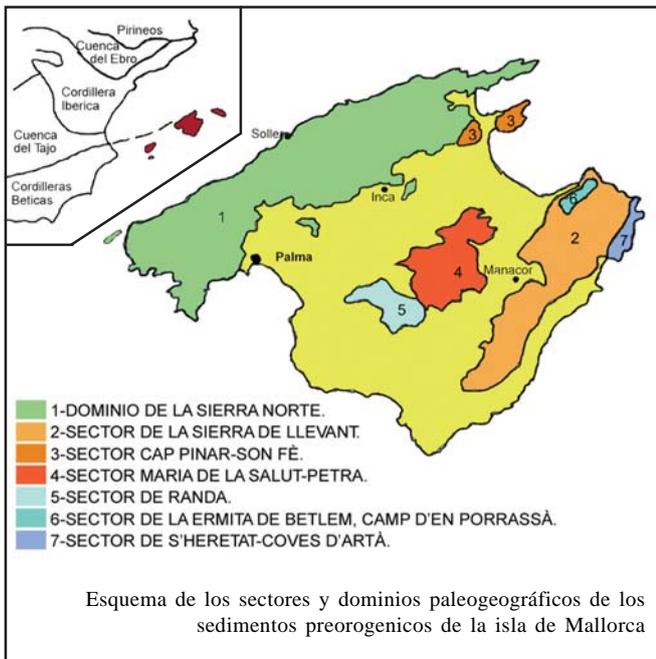
La evolución de la Isla de Mallorca se divide en tres etapas: una primera etapa mesozoica, que ocurrió antes de la colisión en donde básicamente se extendió una parte que estaba comprimida, la a continuación la colisión oligocena-miocena (38-5 M.a.) y finalmente el desplegamiento neógeno y reciente. La isla se une con la cordillera Bética Oriental mediante el Promontorio de Las Islas Baleares, el cual está limitado septentrionalmente por la falla direccional dextra. Esta permitió el giro antihorario de las Islas de Córcega y Cerdeña, producido durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (30-23 M.a.) con formación de corteza oceánica en el Mar Liguro-Provenzal.

La Isla de Mallorca está constituida por materiales que transcurren desde el carbonífero (345-280 M.a.) al Mioceno medio (11 M.a.) estructurados durante la compresión alpina. Estos materiales provienen principalmente de los relieves montañosos y de materiales del Mioceno medio-superior, Plioceno y Cuaternario (14 M.a.-Actualidad) que rellenan las fosas del «Pla de Mallorca» y la costa sur oriental.

Estas estructuras han sido estudiadas por diversos autores: Fallot (1922), Álvaro y del Olmo (1984), Álvaro (1987) en la sierra Norte o de Tramuntana, y Darder (1913,1921,1924,1925, 1932, 1933), Sabat (1986), Anglada et al (1986), Pares et al (1986) y Sabat et al (1988) en la Sierra de Levante.

La Isla está constituida por un conjunto de bloques levantados (Horst) y fosas (Grabens) debido a la acción combinada de varias fallas con desplazamiento incluso kilométrico. Su edad es del Mioceno superior (11-5 M.a.) y están orientadas de noreste a suroeste. Los bloques se disponen alternativamente y se corresponden con las sierras y llanos de la morfología actual de la isla. Se diferencian de Sureste a Noroeste las Sierras de Levante), la cuenca de Campos, las Sierras Centrales, las cuencas de Palma, Inca, Sa Pobla y las Sierras de Tramuntana.





El Jurásico de Mallorca ha sido estudiado por numerosos autores: la Marmora (1835), Hermite (1879), Nolan (1895), Darder (1915), Fallot (1922), Colom (1935, 1947, 1955, 1967, 1970, 1973, 1975), Bourrouilh (1973), Metaillet y Pechoux (1978), Fornos et al. (1984, 1988), Prescott (1988), entre otros, y en el marco del proyecto Magna (I.G.M.E.) por Alvaro et al. (1983, 1984), Barnolas y Simó (1984 a y b, 1987, 1988), Simó y Barnolas (1985) y Goy y Ureta (1988).

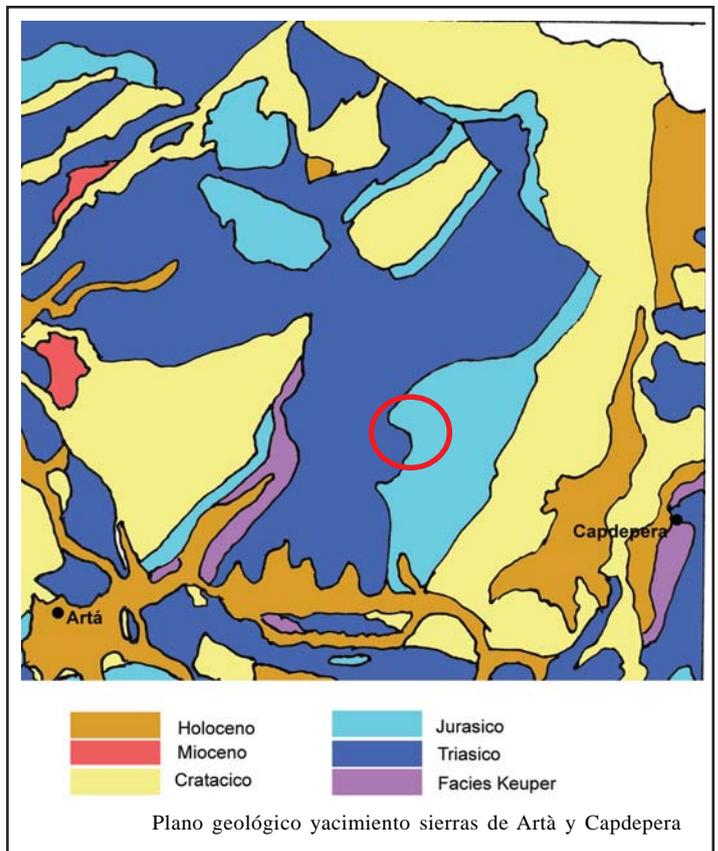
El Jurásico de las Sierras del Norte y de Levante tienen similitudes y diferencias pertenecientes a dos etapas paleogeográficas diferentes.

La sedimentación del Jurásico no fue uniforme. En ambas sierras los rasgos comunes que se encuentran en las litofacies(\*) y en las discontinuidades(\*). Durante el Liásico (195-175 M.a.) la sedimentación se dio de una forma uniforme con fácies(\*) carbonáticas de plataforma situada casi encima de la superficie hasta el Pliensbachiense (185 M.a.). Después durante el Carixiense se generó la primera diversificación con la individualización de pequeñas cuencas. A partir del Toarciense inferior (180 M.a.), debido probablemente a la fracturación de la plataforma, se produce una discontinuidad(\*) importante, dando paso a la sedimentación de facies margocalcáreas situado en una parte del mar que dista mucho de la tierra. Estas condiciones se mantienen durante el Toarciense, Aalenense (180-175 M.a.), de manera local y discontinua, dando lugar a un nivel ferruginoso con fósiles, aunque se hallen en mal estado y bastante fragmentados.

En el Bajociense superior (170 M.a.) se produce otra modificación importante en las condiciones de sedimentación que afecta a ambos dominios. Este cambio se tradujo inicialmente en la sedimentación de calizas conglomeráticas con fósiles reelaborados y resedimentados que dan paso a los sedimentos gene-

rados por corrientes de turbidez y de contorno (calizas de filamentos). Estas facies, inicialmente muy uniformes en toda la isla, finalizan con sedimentación oolítica local, producida por corrientes gravitacionales.

Tras la discontinuidad Calloviense-Oxfordiense (165-155 M.a.) la sedimentación se reanudó con condiciones de máxima profundidad: calizas nodulosas rojas en la Sierra Norte y margas radiolaríticas en la Sierra de Levante. En el dominio de la Sierra Norte se mantuvieron durante todo el Malm (160 M.a.) condiciones similares con faunas de calizas nodulosas, micritas y, sólo ocasionalmente, esporádicas capas bioclásticas y conglomeráticas. El espesor de las facies fue reducido en este dominio. Por el contrario en la Sierra de Levante se acumuló mayor espesor de sedimentos, que contienen importantes masas de capas deslizadas gravitacionalmente y de materiales procedentes de la plataforma, que han sido interpretadas como constituyentes de un talud carbonático (Simó y Barnolas, 1985).



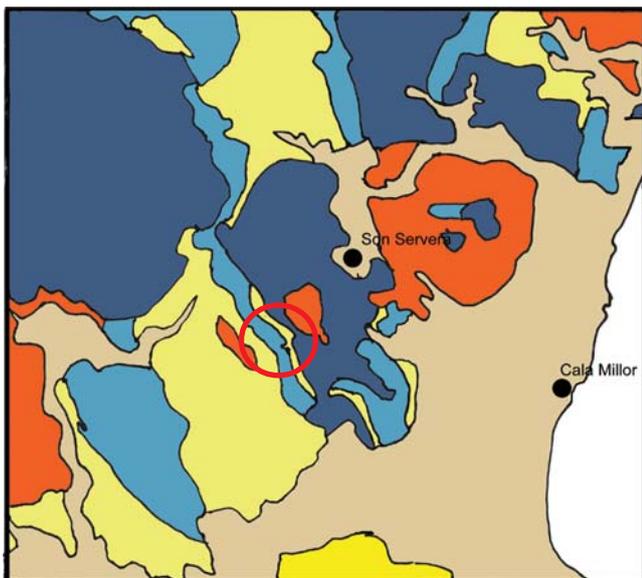
Este yacimiento se encuentra en una ladera de una montaña llamada «Coll de Ses Buines» situada entre el término municipal de Artà y el de Capdepera. Se trata de un terreno montañoso con bastante desnivel en donde hace años, los agricultores lo adaptaron para la siembra haciendo varios escalones en esta ladera. Como consecuencia de las obras dejaron varios montones de piedras partidas en donde se pueden observar con facilidad los fósiles que contienen.





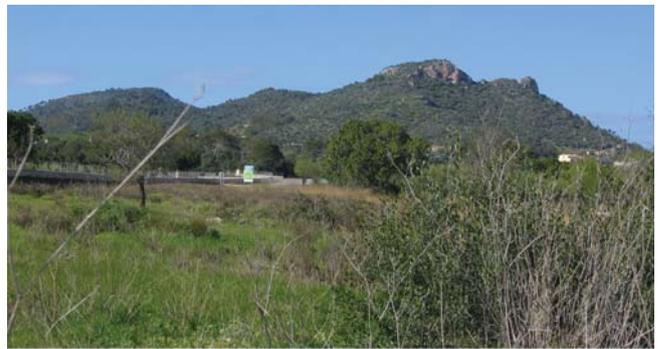
Yacimiento de las sierras de Artà y Capdepera

Este terreno está formado por rocas tableadas formando como se observa, láminas de piedra. Al parecer hubo un gran choque entre placas en este lugar. Los ammonites que se observan están muy bien conservados, sus costillas están intactas, eso sí, la piedra está muy fragmentada y los ejemplares hay que manejarlos con mucho cuidado, cuando los encuentras enteros. Lastima que la mayoría sean fragmentos muy pequeños.



 Holoceno	 Cretácico Inf.
 Mioceno Sup.	 Juarásico
 Mioceno Inf.	 Triásico

Plano geológico yacimiento sierras de Sant Llorenç y Son Servera



Yacimiento de las sierras de Sant Llorenç y Son Servera

Este yacimiento se encuentra entre el término municipal de Sant Llorenç des Cardassar y Son Servera. Es un campo de cultivo muy pedregoso. Cada año al pasar el tractor para arar el terreno y después de unas cuantas lluvias es fácil observar nuevos ammonites. Estos fósiles se encuentran en peor estado de conservación. Con un poco de detenimiento se puede observar lo que el tractor aún no ha roto y lo que el tiempo aún no ha desgastado.

#### LAS SIERRAS DE LLEVANT

Se dividen en dos grandes unidades estructurales, la septentrional y la meridional. Se diferencian por la distinta orientación que presentan sus unidades estructurales como plegamientos y cabalgamientos. La estructura septentrional está dividida en cuatro unidades cabalgantes superpuestas parcialmente y la meridional en tres. Este sistema de cabalgamientos presenta el nivel de despegue en el Keuper(\*), el cual se inclina hacia el noroeste.

Todas estas sierras están alineadas y tienen una altura media que ronda los 300-400m sobre el nivel del mar. Están separadas por depresiones con una altura media de 100-200m. Las colinas de estas sierras son más suaves y se diferencian con las del norte sobretodo en la altitud y en que las del norte son más bien abruptas.

Las sierras de Llevant descienden progresivamente hacia el este y suroeste hacia la Marina de Llevant la cual termina de forma brusca contra un macizo llamado Cap D'es Pinar. En este estudio se van a reflejar dos yacimientos de cefalópodos:

En este estudio se van a reflejar dos yacimientos de cefalópodos:



- Uno está situado en el término municipal de Sant Llorenç, en las Sierras de Na Penyal, límite con el municipio de Son Servera. La geología de esta zona está dada por calizas Oolíticas, tableadas con Silex. Los Fósiles pertenecen al Jurásico, en concreto al Malm / Dogger, con una edad comprendida entre los 145 a 175 millones de años. En este yacimiento se pueden encontrar muchos tipos de cefalópodos, pero la mayoría de ellos, en muy mal estado de conservación. Los cefalópodos que mejor se han conservado son los de las especies: *Nannolytoceras Tortisulcatum*, *Phylloceras* y *Holcophylloceras*.

- El segundo yacimiento está situado entre el Término municipal de Capdepera y Artà en un lugar llamado Coll de ses Buines. La geología de esta zona también está dada por calizas Oolíticas, tableadas con Silex. Los Fósiles pertenecen al Jurásico, en concreto al Malm / Dogger, con una edad comprendida entre los 145 a 175 millones de años. En este yacimiento se pueden encontrar muchos tipos de cefalópodos, la mayoría de ellos muy fragmentados, pero eso sí muy bien marcadas sus costillas y demás características.

En los dos yacimientos nos encontramos sobre la unidad cartográfica que constituye la mayor parte de afloramientos triásicos- Jurásicos (230-145 M.a.) de la zona noreste de las Sierras de Llevant. Los principales

elementos que nos encontramos en los estratos de las rocas son del Triásico Superior (210-195 M.a.) y el Liásico (195-175 M.a.). Son calizas y dolomías originadas en una plataforma marina situada casi encima de la superficie. Esto se caracteriza especialmente por la existencia de facies turbídicas que contienen clastos carbonáticos. Ya en el Dogger (176-163 M.a.) nos encontramos con marga calizas situado en una parte del mar que dista mucho de la tierra. En el Paleógeno (65-22.5 M.a.) y por último el Mioceno (22.5-5 M.a.) nos encontramos con calcarenitas y turbiditas que son sincrónicas con el emplazamiento de los cabalgamientos. En la mayoría de estos elementos nos podemos encontrar en su cobertera con materiales cuaternarios y de origen aluvial-coluvial, es decir, materiales depositados gracias a una corriente de agua. Estos materiales suelen ser gravas, arenas, arcillas. Los materiales del mesozoico (230-65 M.a.) y una pequeña parte del Terciario (65-1.8 M.a.) están deformados por una estructura que ha sufrido una compresión de bajo ángulo, que dio lugar a cabalgamientos, mantos de corrimiento y fallas. La deformación más importante se produjo durante el Oligoceno-Mioceno medio (30-14 M.a.), esta fue una deformación de carácter contractivo. Ya durante el Mioceno Superior (11-5 M.a.) se produjo una deformación extensiva. Estas dos deformaciones se produjeron muy cerca de la superficie de la Tierra.

Cefalópodos encontrados en las sierras de Sant Llorenç y Son Servera



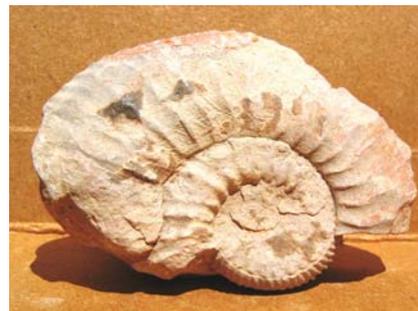
**Lamellaptychus Lamellosus.** Este es un claro ejemplo de mandíbula de ammonite. La mayoría de los ammonites pre-jurásicos tenían mandíbulas en forma de pico, al igual que los cefalópodos actuales de la subclase Coleoidea. Las placas quitinosas(\*) simples (anaptychus), que representan la mandíbula inferior, fueron determinadas por primera vez en los goniatites del devónico superior y se han encontrado también en Psilocerátidos, Eoderocerátidos y Lytocerátidos. Distribución: Los aptychus se desarrollaron durante el jurásico superior y se encuentran hasta finales del Cretácico.

**Género:** Lamellaptychus Lamellosus  
Tamaño: 1.5cm.



**Holcophylloceras Mediterraneum.** De concha estrecha y alta, de sección ojival donde las primeras vueltas quedan envueltas por la última y el ombligo es pequeño (forma muy involuta). En el molde se pueden observar las líneas de sutura muy recortadas donde las prolongaciones que van hacia el interior de la concha (lóbulos) son muy puntiagudos mientras que las que apuntan hacia la abertura (sillas) son muy redondeadas. Además se pueden observar unas estrangulaciones periódicas muy marcadas. Es una especie cosmopolita. En España se puede encontrar sobretodo en las Cordilleras Béticas, Baleares y también en la Cordillera Ibérica. Distribución: Jurásico medio (Bajociense-92 M.a.) a Cretácico inferior (Apítense-118 M.a.).

**Género:** Holcophylloceras Mediterraneum.  
Subfamilia: Calliphylloceratinae (Spath 1927).  
Familia: Phylloceratidae (Zittel 1884).  
Superfamilia: Phyllocerataceae (Zittel 1884).  
Suborden: Phylloceratina (Arkell 1950).  
Orden: Ammonoidea (Zittel 1884).  
Tamaño: 6 Cm.



**Garantiana:** Tiene una sección circular ligeramente comprimida lateralmente.

La concha presenta unas costillas, que pueden ser simples o dividirse en dos o tres aunque lo normal es que se dividan en dos. Las costillas no pasan de un lado a otro sino que hay un surco profundo que las interrumpe en el extremo ventral. En este punto, las costillas forman un pequeño engrosamiento. En las últimas vueltas desaparece esta interrupción. Podemos encontrarlo en el Europa, Norte de África y Asia. En España podemos encontrarlo en las Cordilleras Béticas, Baleares, Cordillera Ibérica y Catalánides. Distribución: Bajociense superior (168 M.a.).

**Género:** Garantiana Sp.  
Subfamilia: Garantianinae (Wetzel 1937).  
Familia: Stephanoceratidae (Neumayr 1875).  
Superfamilia: Stephanocerataceae (Neumayr 1875).  
Suborden: Ammonitina (Hyatt 1889).  
Orden: Ammonoidea (Zittel 1884).  
Tamaño: 5cm.





**Bullatimorphites.** La característica más peculiar de este ammonite esta es que tienen un ombligo muy ancho. Esto es debido a que sus vueltas internas son más anchas que la última vuelta. El aspecto de este ejemplar es como si tuviera hinchado la parte tabicada (fragmacono). En este ejemplar es posible aún observar un poco sus costillas en la parte inferior, a pesar del desgaste que tiene. Suelen ser más bien suaves. Distribución: corresponde al Bathoniense Inferior (163 M.a.) – Calloviense Inferior (158 M.a.).

**Género:** Bullatimorphites Sp.  
**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Familia:** Tullitidae.  
**Superfamilia:** Stephanocerataceae.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Orden:** Lytoceratida.  
**Tamaño:** 5cm.



**Nannolytocras.** Tiene una concha lisa con un crecimiento lento y serpentiforme, es decir, las vueltas de la concha solo se tocan (no hay solapamiento). La sección de la concha es rectangular y más bien estrecha. Tiene un ombligo amplio. En este caso no se aprecian estrangulaciones típicas que tienen. Parten del bode umbilical inclinadas hacia la abertura para girar en la zona ventral hacia el interior de la concha. En la foto inferior se aprecian los diversos septos de la concha así como la cámara de habitación que llegaba a ocupar casi la última vuelta completa. En este yacimiento es uno de los ejemplares que podemos encontrar en mejor estado. Distribución: Jurásico medio (Bajociense-Bathoniense). Es muy abundante en las Cordilleras Béticas.

**Género:** Nannolytocras Tortisulcatum  
**Subfamilia:** Ammonoidea  
**Familia:** Nannolytoceratidae  
**Superfamilia:** Nannolytocerataceae  
**Suborden:** Lytoceratina  
**Orden:** Lytoceratida  
**Tamaño:** 4cm



**Ammonites.** Este es un pequeño ammonite en matriz. Este ejemplar aunque le falte la parte inferior es uno de los mejores ejemplares que se ha encontrado en este yacimiento. Hay poquísimos con las costillas tan marcadas y bien conservadas. Tiene un ombligo muy ancho y las vueltas son poco envolventes. Su sección es redondeada y su ornamentación esta formada por costillas un poco inclinadas hacia delante y que se bifurcan en dos costillas en la zona ventral a la que atraviesan sin interrupción. Distribución: Se desconoce al no poder tener la clasificación del ejemplar.

**Género:** Ammonites, Sp.  
**Tamaño:** 1.5cm.



**Morphoceras.** Tiene una concha con sección redonda e involuta en las primeras vueltas (esferocónica) mientras que la última vuelta solo cubre parcialmente a las anteriores y crece muy lentamente. Tiene un ombligo plano y no es profundo. En todo su recorrido nos encontramos con una serie de constricciones profundas bien marcadas y suavemente curvadas hacia delante. En este caso no se aprecia por su desgaste pero en estos ejemplares en el extremo ventral de su concha nos encontramos con unas costillas muy suaves. Distribución: corresponde al Bathoniense Inferior (163 M.a.).

**Género:** Morphoceras Macrecens.  
**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Familia:** Morphoceratidae.  
**Superfamilia:** Perisphinctaceae.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Orden:** Lytoceratida.  
**Tamaño:** 4.5cm



**Ammonites.** Este ammonite se encontró entero en una gran roca tableada característica del terreno pero tiene una marca que indica que era más grande. Es frecuente que los ammonites pierdan la cámara de habitación antes de quedar enterrados porque al no tener tabiques esta es una zona frágil. Le falta casi media vuelta; era gigantesco, pudo tener una medida de unos 40cm por lo que se puede apreciar. Las líneas de sutura de este ejemplar se conservan muy bien, aparecen numerosos elementos muy bien representados, de tipo ammonítico. Distribución: Se desconoce al no poder tener la clasificación del ejemplar.

**Subfamilia:** Ammonoidea  
**Tamaño:** 25cm.

Cefalópodos encontrados en las sierras de Artá y de Capdepera



**Stephanoceras.** Ammonite cuya sección de la concha es más bien circular aunque en este ejemplar es muy estrecha porque está aplastado. Es un ammonite que puede llegar a presentar grandes dimensiones, su concha crece de una manera muy lenta. La ornamentación está formada por costillas que parten de la zona del ombligo hasta un tubérculo. A partir de ahí se dividen en número de dos a cinco. Atraviesan ortogonalmente (en ángulo recto) la región del vientre. Lo podemos encontrar en Europa, norte y este de África, Asia y América. En España se encuentran en la cordillera cantábrica, Catalánides, cordillera Ibérica, Cordilleras Béticas y Baleares. Distribución: Jurásico medio (Bajociense inferior y medio, 172 M.a.).

**Género:** Stephanoceras Sp.  
**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Familia:** Stephanoceratidae.  
**Superfamilia:** Stephanocerataceae.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Orden:** Lytoceratida.  
**Tamaño:** 10cm.





**Nautilus.** Tiene una concha involuta con un rápido crecimiento llegando a tener la cámara de habitación muy amplia. Tiene un ombligo muy pequeño, casi no se aprecia. Las líneas de sutura son curvas con la inclinación hacia atrás. La línea de sutura es simple, sin los recortes típicos de los ammonites. Las cámaras casi no están encajadas unas dentro de otras. Es una especie que la podemos encontrar en Asia, Oceanía y Norteamérica, España. Distribución: Jurásico – Actualidad. Los primeros nautiloideos aparecieron en el Cámbrico, siendo la era paleozoica la de mayor expansión para estos animales; en la actualidad solo persisten cinco especies del género Nautilus en los océanos Pacífico e Índico.

**Género:** Nautiloideo.  
**Subfamilia:** Nautiloidea.  
**Familia:** Nautilidae.  
**Superfamilia:** Nautilaceae.  
**Orden:** Nautilida.  
**Tamaño:** 9cm.



**Ammonites.** Pequeño ammonite en matriz que tiene un ombligo muy ancho debido a que las vueltas son poco envolventes. El crecimiento es lento u su sección es redondeada y su ornamentación esta formada por muchas costillas, rectas que se dividen en dos o tres en la zona ventral. Distribución: Se desconoce al no poder tener la clasificación del ejemplar.

**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Clase:** Cephalopoda (Cuvier 1797).  
**Filum:** Mollusca (Linné 1758).  
**Tamaño:** 3cm.



**Ammonites.** Ammonite en matriz que tiene un ombligo muy ancho y las vueltas también son poco envolventes. Su sección es rectangular con el borde ventral redondeado. Su ornamentación esta formada por muchas costillas, rectas pero inclinadas hacia adelante. Estas salen desde el ombligo, y se bifurcan en la zona ventral. En su última vuelta aparecen algunas costillas secundarias. Todas ellas cruzan en exterior de la concha sin interrupción. Distribución: Se desconoce al no poder tener la clasificación del ejemplar.

**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Clase:** Cephalopoda (Cuvier 1797).  
**Filum:** Mollusca (Linné 1758)  
**Tamaño:** 4cm.



**Ammonites** Ammonite que al igual que ocurre con la especie Garantiana, las costillas no pasan de un lado a otro sino que hay un surco profundo que las interrumpe en la zona ventral. Las costillas se dividen en otras dos o más en el extremo exterior. Sin embargo, en este ammonite las costillas se van inclinando hacia la abertura conforme crecen hacia el exterior. Tiene un ombligo relativamente ancho consecuencia de que las vueltas son poco envolventes y su sección se rectangular alta con el bode redondeado. Distribución: Se desconoce al no poder tener la clasificación del ejemplar.

**Subfamilia:** Ammonoidea.  
**Suborden:** Ammonitina.  
**Clase:** Cephalopoda (Cuvier 1797).  
**Filum:** Mollusca (Linné 1758)  
**Tamaño:** 6.5cm.



Fragmento de ammonite sin clasificar



Ammonite piritizado (probablemente es un nannolytoceras tortisulcatum).

En los dos yacimientos se encuentran varias rocas con fragmentos de Pirita Limonitizada y sobre todo en el Yacimiento del Coll de Ses Buines aparecen ammonites piritizados, siempre en ejemplares muy pequeños y con un desgaste notable. En otros casos aparecen formando parte de ammonites y de rocas en general. En otras zonas de Mallorca se han encontrado varios ejemplares de ammonites piritizados bien conservados. El nombre de Pirita deriva del griego pyros, «fuego», y hace referencia a la capacidad del mineral de desprender chispas cuando se golpea con un metal. Es el más abundante de los sulfuros y su formación tiene lugar en muchos ambientes. Por ejemplo, aparece pirita como mineral accesorio en las rocas ígneas, en las regiones donde se ha dado procesos de metamorfismo de contacto, como resultado de procesos de segregación magmática, o incluso en regiones sedimentarias. La aparición de cristales de pirita es relativamente frecuente y, en algunos casos, resultan sorprendentemente bellos y grandes. Su forma varía desde los cubos hasta los pentagonodecaedros, pasando por los octaedros. Todos estos modos de cristalización pueden mezclarse entre ellos para dar origen a sorprendentes formaciones que, en ocasiones, recuerdan reproducciones en miniatura de algunas afamadas esculturas. La pirita se encuentra en multitud de lugares del planeta. Sin embargo, los yacimientos más importantes, bien sea por los cristales que producen o por la cantidad de mineral que se acumula en ellos, se localiza en España, en concreto en la localidad de Río Tinto, Huelva.

**Fórmula:** FeS<sub>2</sub>  
**Clase:** Sulfuros  
**Sistema:** Cúbico  
**Dureza:** 6-6,5  
**Fractura:** Concoidea  
**Exfoliación:** Imperfecta  
**Brillo:** Metálico  
**Raya:** Negro - Verdosa



## VOCABULARIO

**Alborán:** Islote de España situado en el mediterráneo, adscrito a la provincia de Almería, se encuentra a 56km al norte del Cabo de Tres Forcas en Marruecos, y a 90km al sur de la rada de Adra en Almería.

**Basamento:** Cuerpo que esta por debajo del elemento, donde se asienta.

**Bokoyas:** Tribu rifeña de beduinos o beréberes de Marruecos, comprendida entre la bahía de Alhucemas y el Peñon de la Gomera.

**Cabalgamiento:** Fenómeno de índole tectónica que comprende todas aquellas circunstancias en que un grupo o paquete de rocas monta sobre sí mismo o sobre otro a lo largo de una superficie denominada de cabalgamiento o de arrastre.

**Depresión:** Terreno situado bajo el nivel del mar o bajo el nivel de regiones vecinas.

**Dorsal:** Relieves de las zonas centrales de los océanos, constituidos por dos alineaciones montañosas separadas por una depresión o Rift central a través del cual ascienden materiales fundidos procedentes del manto.

**Facies:** Conjunto de características litológicas (litofacies) y paleontológicas (bifacies) de un estrato o masa de roca sedimentaria.

**Flysch:** Formación sedimentaria caracterizada por una alternancia de sedimentos arenosos, calcáreos, arcillosos o esquistosos. Se origina en ambientes geosinclinales antes de las fases prals. De las orogénesis.

**Grabens:** Son fosas (sentido inverso al Horst).

**Horst:** Bloque levantado respecto a las áreas circundantes debido a la acción combinadas de varias fallas.

**Keuper:** Nombre del piso superior del triásico de fácies germánica.

**Orógeno:** Ocurre cuando el movimiento convergente de las placas tectónicas arrastra un fragmento continental contra otro. Las fuerzas y movimientos predominantes son horizontales (patalectónicos) y de origen propiamente tectónico (mecánico), con una pequeña participación de procesos específicamente volcánicos o, más generalmente, magmáticos. Se llama erógenos de colisión a los que se forman por este mecanismo. Para que la colisión pueda llegar a producirse es preciso primero que la subducción absorba la cuenca oceánica entre dos continentes, lo que implica que siempre hay una fase de orogénesis térmica antes de que se produzca la colisión. La orogénesis de tipo mecánico ha producido el relieve más importante del planeta, el formado por los Himalayas y la Meseta del Tibet, que se han levantado por el choque de lo que ahora forma la India, después de que se separara de África Oriental, con el continente eurasiático.

**Promontorio:** Altura muy considerable de la tierra que avanza dentro del mar. Término válido para monte, colina, montaña.

**Quitina:** Sustancia cuyas moléculas están formadas por numerosos eslabones alineados de monosacáridos, (de N-acetil glucosalina). Muy resistente a la acción de los ácidos y álcalis e insoluble de los jugos digestivos.

**Rif:** Comarca de Marruecos, región montañosa, ribereña del Mediterráneo. Va desde el río Muluya hasta el estrecho de Gibraltar.

**Tirreniana:** Cuenca del mar continental del Mediterráneo occidental, que está situado entre la península italiana y las islas de Córcega, Cerdeña y Sicilia.

**Zócalo:** Conjunto de materiales graníticos y metamórficos que forman la base de la cobertera de un relieve. Son materiales duros que al recibir empujes tectónicos, se fracturan.

## BIBLIOGRAFÍA

- Guía de campo de los fósiles de España, Nieves López Martínez. Ediciones Pirámide, S.A. Madrid.
- atlas ilustrado de los fósiles. Susaeta Ediciones, s.a. Madrid.
- Aspectes geológicos de les Balears. Universitat de les Illes Balears. Fornós J.J. (ed.) 1998.
- Boletín de la sociedad española de historia natural. Tomo xl.- núms. 5-6. Madrid, mayo-junio 1942.
- Mapas Geológicos de mallorca del instituto tecnológico geominero de españa.
- Diccionario enciclopédico Espasa. Espasa-Calpe s.a. Madrid-Barcelona 1992.

- Cuadernos de geología ibérica nº13 67-120. Madrid 1989. Edit. Universidad Complutense de Madrid.
- Fallot y Termier, 1923 – ammonites nouvelles des Iles Baléares.
- Guía de minerales RBA editores.
- deriva continental y tectónica de placas. Ediciones H. blume, 2ª edición revisada y aumentada.
- salvat alfa diccionario enciclopédico.
- PÁGINAS WEB:
  - <http://es.geocities.com/paleontofilo.htm>
  - <http://www.paelontologia-hispana.com/fotografias/index.php>.



# Los seres humanos no venimos del mono

Dr. Manuel Sánchez Angulo.

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología.

Universidad Miguel Hernández (Alicante)

Una mañana de primavera yo paseaba por el parque madrileño del Retiro cuando fui abordado por una pareja de señoras mayores equipadas con sendos libritos negros y un taco de pequeñas revistas. Una de ellas, al tiempo que me ofrecía una de las revistas en cuya portada se veía a una familia occidental rodeada de animales típicos de la fauna africana como son los leones y las cebras, me espetó: «Sabe usted que los pérfidos biólogos dicen que el hombre proviene del mono».

En aquella época ya hacia un par de años que había acabado la licenciatura de Biología y estaba enfrascado en sacar adelante mi tesis doctoral. Confieso que mi primer impulso fue el de echarme a reír, pero me contuve. En lugar de eso y tras aceptar la revista, me dirigí a mi interlocutora en el tono más educado que pude y le dije: «Verá, en primer lugar soy biólogo. En segundo lugar, usted está equivocada pues los biólogos no decimos que el hombre viene del mono. Tan sólo somos sus primos. En tercer lugar, lamento mucho no quedarme más tiempo a explicarle su error pues he quedado con mi novia y no me gusta llegar tarde». Y dicho esto, las deje mientras continuaba con mi paseo.

Pero lo cierto es que mucha gente piensa que los biólogos decimos que «el hombre desciende del mono». Eso es debido a que es uno de los errores de interpretación de una teoría científica más antiguo de los que se conocen. Es un error que tuvo su origen en el siglo XIX, cuando Charles Darwin publicó su famosa obra «Sobre el origen de las especies por medio de la Selección Natural» y que generalmente se conoce como la Teoría de la Evolución de Darwin. Lo gracioso es que la teoría original de Darwin se quedó anticuada al principio del siglo XX. Ahora utilizamos una versión mucho más moderna y actualizada. Más de una vez he pensado que debería haberme quedado con la pareja de señoras y aunque hubiera llegado tarde a mi cita, quizás habría podido explicarles el porqué el hombre no proviene del mono y cuál es el significado de «Evolución» en la Biología actual. Sirva este artículo divulgativo como un intento de subsanar aquella omisión.

Vayamos al grano. ¿Qué es la Evolución?

Evolución significa «cambio a lo largo del tiempo» y por tanto Evolución Biológica hace referencia al «cambio de los seres vivos a lo largo del tiempo». Generalmente el término «tiempo» hace referencia a millones de años, pero también puede referirse a sólo unos cuantos miles de años e incluso hay ocasiones en que se refiere a unos cuantos meses e incluso a unos pocos días.

La experiencia de ver cambiar a un ser vivo a lo largo del tiempo no es algo extraordinario. Nosotros mismos lo hacemos todos los días al mirarnos en el espejo por las mañanas. Si no nos diéramos cuenta de dichos cambios los hombres no se afeitarían o las mujeres no se depilarían. Sin embargo está claro que «Evolución» no hace referencia a esos cambios que ocurren en un ser vivo particular, aunque estos ocurran en el período de tiempo que abarque toda su vida. Más bien

nos referimos a esos cambios que afectan profundamente a la clase a la que pertenece ese ser vivo y que le transforma en algo distinto. De nuevo, esa experiencia no es extraña para nosotros, aunque no es tan evidente como la anterior. Cualquiera de nosotros sabe que las variedades de fruta o verdura que se venden en la actualidad no existían hace tan sólo 100 años. También sabemos que esas variedades han sido creadas por el hombre tras innumerables pasos de selección y cruce (y actualmente incluso manipulación genética) a partir de unos ancestros que muy poco tienen que ver con los productos actuales. Y lo que vale para las plantas también vale para los animales como puede comprobarse en cualquier concurso o convención sobre mascotas. Es lo que conocemos como procesos de «evolución dirigida» y en estos procesos el responsable de dichos cambios ha sido y es el ser humano. Pero estos cambios tienen una característica fundamental. Son cambios heredables y por tanto se transmiten a la descendencia. Se entenderá con el siguiente ejemplo. Es mejor tener una vaca lechera que tenga terneras que crezcan a vacas lecheras que tener 10 vacas lecheras que no tengan terneras.

En la Naturaleza también los seres vivos cambian. Muchos de esos cambios sólo permanecen brevemente, durante el tiempo de vida del individuo que los porta. Pero algunos de ellos son transmitidos a la descendencia. Y si se acumulan suficientes cambios a lo largo del suficiente tiempo, se pueden dar lugar a nuevas especies. Pero claro, alguien puede decir que aquí hay trampa. Como he indicado arriba la obtención de variedades vegetales y animales es algo que se explica porque el motor de dichos cambios es el ser humano. Entonces la pregunta obvia es:

¿Cuál es el motor del cambio evolutivo en la Naturaleza?

También podríamos haber enunciado esta pregunta de la siguiente forma ¿Qué es lo que hace que surjan nuevas especies? A esta nueva pregunta se han dado un montón de respuestas. La más conocida y probablemente la más antigua de ellas es la religiosa. Existen múltiples versiones pero pueden resumirse en esta frase: Dios crea la vida y hace con ella lo que quiere. Esta idea incluso se ha ido modernizando con el paso del tiempo. La última actualización es lo que se conoce como «Teoría del Diseño Inteligente» y que espero comentar en un futuro artículo. La respuesta religiosa tiene una ventaja y un inconveniente. Es un verdad revelada que se basa en la fe personal y en la creencia de cada cual, luego no hace falta demostrarla experimentalmente. El inconveniente es que uno puede creer en esa verdad revelada, y el vecino no creérsela.

Otro tipo de respuesta es la de la Ciencia. En este caso se ha intentado responder a la pregunta aplicando el Método Científico, y eso implica el planteamiento de una hipótesis que puede ser validada o refutada mediante la experimentación. La experimentación tiene el lado bueno de que es reproducible y que convence por la vía de los hechos. El lado malo es que a veces uno no tiene



el experimento adecuado para validar o refutar la hipótesis. O peor aún, uno puede llegar a tener resultados experimentales contradictorios, en los que unos datos apoyan una teoría y otros parecen contradecirla.

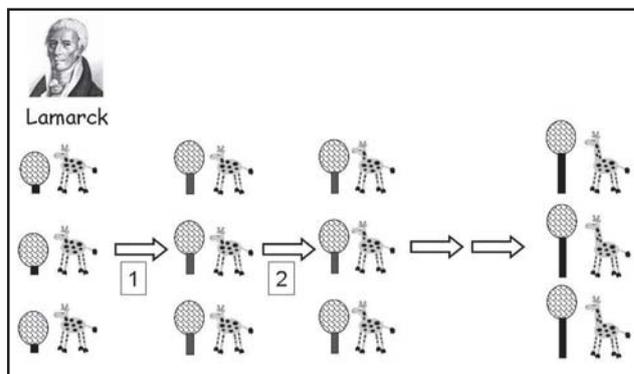
Un pequeño inciso. El caso más famoso de dos teorías científicas actuales que son contradictorias entre sí está en el campo de la Física, y no en el de la Biología. La Teoría de la Relatividad y la Teoría Cuántica son completamente opuestas entre sí. La primera explica muy bien el Universo a la escala grande, pero fracasa estrepitosamente cuando intenta explicar el comportamiento de los átomos. La segunda explica muy bien el comportamiento de los átomos, pero no puede explicar cómo se mueven los planetas y el funcionamiento de las estrellas. Y sin embargo construimos televisores y hacemos volar naves espaciales gracias a ambas Teorías. El hecho de que una teoría científica no explique todo no la invalida automáticamente.

Volviendo a la Biología. Actualmente la Evolución biológica es explicada en su mayor parte por la teoría Neodarwinista (o Neodarwinismo), una síntesis entre las ideas de la Selección Natural de Darwin y los descubrimientos en el campo de la Genética, sobretudo en la cuestión del papel adaptativo de la mutación. La Teoría Neodarwinista fue enunciada por T.H. Dobzhansky hacia 1941. En 1977 la idea incorporó los descubrimientos del campo de la Bioquímica (Dobzhansky, Ayala, Stebbins y Valentine). Y últimamente se está volviendo a replantear y refinar alguno de sus aspectos gracias a los conocimientos de la Biología Molecular.

Hagamos una pequeña parada para recalcar algo básico pero esencial para evitar confusiones futuras: la teoría científica que mejor explica el cambio evolutivo es la Teoría Neodarwinista. Sin embargo, no es la única teoría evolutiva. Además, la Teoría Neodarwinista incluye parte, pero no todo, de la anticuada teoría darwiniana o darwinismo o teoría enunciada por Darwin en su libro sobre el origen de las especies publicado en el siglo XIX. Esto último ha provocado que por comodidad muchos científicos cuando hablan de teoría darwiniana estén hablando en realidad de la teoría neodarwiniana. Simultáneamente, muchos críticos actuales de la teoría neodarwiniana critican aspectos de la anticuada teoría darwiniana. Se que parece un trabalenguas, pero lo descrito en el párrafo de arriba es importante para entender lo que viene ahora.

Tenemos que hacer un pequeño viaje al pasado para comprender como se originó la actual teoría evolutiva. Ya hemos comentado que la pregunta sobre cómo se originaban las especies había sido tratada de responder desde hace bastante tiempo. Sin embargo, fue en el siglo XIX cuando apareció una teoría que parecía explicar bastante bien dicho origen sin necesidad de acudir a un creador sobrenatural. La enunció el naturalista francés Lamarck y por ello recibe el nombre de Lamarckismo. Básicamente dice lo siguiente: Si hay cambios medioambientales, los seres vivos responden a ellos cambiando también mediante la aparición de adaptaciones o caracteres que les permitan sobrevivir. Esas adaptaciones o caracteres adquiridos por un ser vivo pueden ser heredables y transmitirse a su descendencia.

Uno de los ejemplos a los que se recurrió para explicar dicho mecanismo fue el de las jirafas. Los ancestros de las jirafas tenían el cuello corto porque comían arbustos pequeños. Si el arbusto crece (el cambio ambiental), las jirafas se adaptan alargando el cuello para seguir comiendo (el carácter adquirido). Los arbustos siguen creciendo, las jirafas responden alargando más los cuellos. Es importante recalcar que en el lamarckismo, la aparición de la adaptación es posterior al cambio del medio ambiente. (ver figura 1).



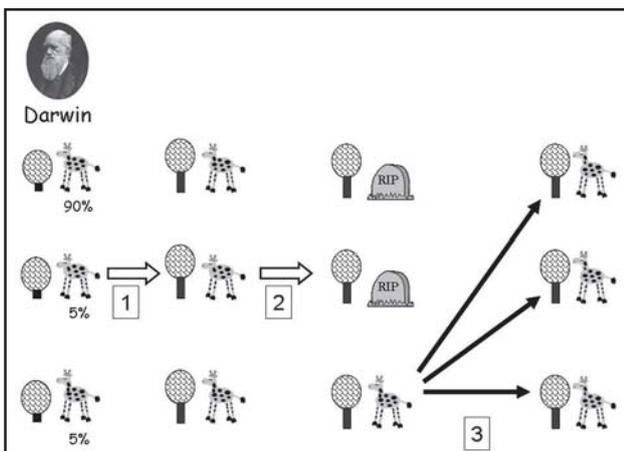
**Figura 1:** Lamarck intentó explicar la evolución de los seres vivos como un proceso postadaptativo en dos etapas. Inicialmente las poblaciones de seres vivos son homogéneas. En la primera etapa se producía el cambio ambiental, en este caso el crecimiento del arbusto (1). Ante dicho cambio, los seres vivos respondían alargando sus cuellos para poder llegar a la comida (2). Tras sucesivas etapas de cambio, una nueva especie surgía muy distinta a su ancestro.

Sin embargo había un pequeño problema. Nadie pudo validarla experimentalmente. De hecho ha sido refutada en varias ocasiones. El experimento más famoso fue el de August Weissman en 1880. Weissman se dedicó a cortar colas a ratones recién nacidos. Si el lamarckismo era correcto, los ratones tras una vida sin cola, deberían de dar una descendencia de ratones sin cola. Tras 21 generaciones, los ratones seguían teniendo cola. Sin embargo la teoría de Lamarck se niega a morir y ha tenido algún que otro renacimiento, el más famoso fue la tragedia de las teorías de Lysenko en la URSS de Stalin.

Entonces llegó Darwin y publicó su famoso libro sobre el origen de las especies por medio de la Selección Natural en 1861. El libro de Darwin es un autentico tocho, pero en realidad se trata de un resumen de una proyectada obra de varios volúmenes que nunca llegó a escribir. El libro es un compendio de ejemplos de cría y aparición de nuevas variedades de especies animales y vegetales mediante manipulación humana y su extrapolación para explicar porque puede suceder un proceso similar en la Naturaleza. La idea central de la teoría de Darwin es la siguiente: la evolución es un proceso en tres fases. Primero toda población de seres vivos presenta una variabilidad. Segundo, la selección natural actúa sobre esa variabilidad: los seres vivos son seleccionados por las condiciones ambientales. Tercero, sólo aquellos seres más aptos sobreviven y dejarán descendencia (el famoso *survival of the fittest*).



Volvamos a las jirafas y los arbustos para explicar lo que defendía Darwin. Los ancestros de las jirafas se alimentan de los arbustos. Estos arbustos tienen una determinada altura H. La mayor parte de la población de los animales presenta un cuello que le permite comer cómodamente de ese arbusto, pero existe un pequeño porcentaje de animales con cuellos cortos y otros con cuellos largos. Esos animales cuellicortos y cuellilargos no les va tan bien como los que tienen el cuello normal, pero se las apañan. En eso consiste la variabilidad de la población. Supongamos ahora que los arbustos crecen en altura. Los cuellicortos ya no llegan a la comida, luego se mueren. Los que tenían el cuello «normal» ahora lo tienen corto, luego llegan peor a la comida y por lo tanto será más difícil para ellos dejar descendencia. En cambio los cuellilargos lo tienen todo a favor, si un ser vivo tiene comida en abundancia entonces dejará descendencia en abundancia. La siguiente generación de animales estará compuesta sobretodo por cuellilargos. En esta nueva población de nuevo volverá a haber variabilidad pues habrá animales con el cuello algo más corto (los que antes tenían el cuello «normal») y otros con el cuello algo más largo (llamémosles «cuellomuylargos»). Si los arbustos siguen creciendo, se repite el proceso y esta vez los favorecidos por la Selección Natural serán los «cuellomuylargos». La diferencia fundamental con el lamarckismo es que la aparición de la adaptación es anterior al cambio del medio ambiente (ver figura 2)



**Figura 2:** Para Darwin el proceso de evolución de las especies era algo más complejo y sutil. Las poblaciones iniciales no eran homogéneas, sino que tenían un cierto grado de variabilidad (aquí representado por los porcentajes ficticios de cuellicortos y cuellilargos). Cuando se producía el cambio ambiental (1), sólo aquellos miembros de la población que ya presentaban un carácter que les daba una ventaja sobrevivían. La Selección Natural eliminaba al resto (2). Los que han sobrevivido tienen toda la fuente de alimentación a su disposición por lo que su descendencia ocupará los nichos dejados vacíos por aquellos que no sobrevivieron (3). Adicionalmente, toda la descendencia porta el carácter que le ha permitido medrar. Se establece así una nueva población, que inicialmente es homogénea, pero que con el tiempo volverá a tener un cierto grado de variabilidad.

Sin embargo la teoría de Darwin era errónea en una cosa muy importante. Una teoría evolutiva no solo debe de explicar los cambios como motor de la evolución, también debe de explicar como aparecen esos cambios (la variabilidad) y sobretodo como esos cambios se transmiten a la descendencia. Cuando Darwin trató de explicar esos conceptos en su libro, enunció una

teoría que era lamarckiana en el fondo. Pero a pesar de ese error, la teoría de Darwin explicaba muy bien como la Naturaleza podría haber dado lugar a tantas formas vivas y cómo podían cambiar los seres vivos en el tiempo. Sólo había que responder las preguntas ¿Cómo se originaba esa variabilidad de las poblaciones? ¿Cómo se transmitían esos cambios a la descendencia?

Se tardó casi 40 años en encontrar una posible respuesta a esas preguntas. Aunque durante ese tiempo un monje austriaco aficionado a la horticultura había tratado de responder a la segunda pregunta usando guisantes. Ese monje se llamaba Gregor Mendel y lo que descubrió parecía refutar a Darwin. Mendel observó que una variedad pura de guisantes lisos siempre generaban plantas que a su vez volvían a dar guisantes lisos. Lo mismo ocurría con la variedad pura de guisantes arrugados, daban plantas que generaban guisantes arrugados. Cuando fertilizó plantas de guisante liso con polen de plantas de guisantes rugosos, las plantas híbridas resultantes daban guisantes lisos en la primera generación. Parecía que el carácter arrugado había desaparecido. Sin embargo cuando esos guisantes de primera generación se desarrollaban en plantas y se fertilizaban entre sí daban lugar a una segunda generación en la que había guisantes lisos y guisantes arrugados. El carácter arrugado había vuelto a reaparecer. Mendel explicó esto de la siguiente forma: La herencia de caracteres genéticos era un proceso en el que dichos caracteres se mezclaban, pero no cambiaban en el tiempo. Y si los caracteres que se transmitían a la descendencia no cambiaban, no habría variabilidad de las poblaciones y entonces Darwin estaría equivocado. De hecho hay quien piensa que su trabajo fue ignorado durante esos 40 años precisamente por contradecir a Darwin.

Pero en el año 1900, los investigadores De Vries, Correns y Tschermak redescubrieron el trabajo de Mendel cada uno de manera independiente y además lo mejoraron. Efectivamente vieron que la mayor parte de las veces los caracteres genéticos eran inmutables y no cambiaban en el paso de generación a otra generación. Pero también vieron que esporádicamente sucedía un cambio en esos caracteres genéticos. Y lo más importante, esos cambios eran heredables, pues se transmitían de generación en generación. A esos cambios genéticos heredables se les denominó mutaciones. La importancia de demostrar que los caracteres genéticos no son inmutables y de la existencia de la mutación es que explica por un lado la aparición de la variabilidad pre-adaptativa (volviendo al ejemplo de las jirafas los cuellicortos y cuellilargos serían mutaciones) y por otro lado explica la transmisión a la descendencia.

Posteriormente y gracias al avance de la genética durante la primera mitad del siglo XX, se encontró que la mutación no era el único mecanismo de generación de variabilidad en una población. Otro mecanismo bastante importante es la recombinación genética que se produce gracias a la reproducción sexual. Gracias al sexo se pueden dar combinaciones de genes que previamente no existían y que pueden a su vez dar una ventaja evolutiva a su portador. En 1941, el científico T.H. Dobzhansky tomó las partes correctas de la Teoría de Darwin y las fusionó con los conocimientos de la



genética dando lugar al Neodarwinismo. En cierto sentido fue como la formulación de la teoría electromagnética a partir de la fusión de las teorías sobre la electricidad y el magnetismo. En palabras del propio Dobzhansky, *nada tiene sentido en la Biología si no es bajo la luz de la Evolución*.

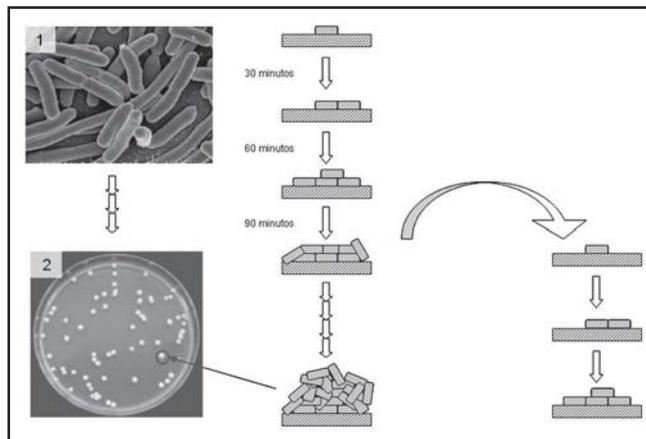
Sin embargo queda por describir un aspecto muy importante. Antes hemos comentado que el lamarckismo fue refutado mediante un experimento científico. ¿Qué pasa con el Neodarwinismo? ¿Hay algún experimento que lo valide?

Hay varios, el primero de ellos se realizó en 1942 por Luria y Delbruck, pero a mi personalmente el que más me gusta por su elegancia y sencillez es el realizado por el matrimonio Lederberg en 1952. Un aspecto muy importante de la Teoría Neodarwiniana que la mutación es pre-adaptativa. Si la mutación fuera producida como respuesta al cambio de condiciones ambientales, entonces sería post-adaptativa y estaríamos en el caso del lamarckismo.

Los Lederberg utilizaron a la bacteria *Escherichia coli* para sus experimentos (*E. coli* para los amigos). Las bacterias tienen una serie de ventajas cuando son usadas como sujetos experimentales en el estudio de los procesos evolutivos. Son pequeñas, por lo que muchas de ellas (hablamos de millones) caben en poco espacio y son baratas de alimentar. Además se reproducen rápidamente y asexualmente. Mientras que para obtener un ratón necesitamos aparear un ratón macho y uno hembra y luego esperar unos cuantos días, una bacteria sólo necesita media hora para hacer dos bacterias. Y además, al reproducirse asexualmente sólo la mutación es la fuente de variabilidad en la población.

De manera muy simplista, el experimento de los Lederberg consistió en lo siguiente. Tomaron una población de bacterias y las dispusieron sobre unos recipientes conteniendo medio de cultivo sólido (esos recipientes son conocidos como placas Petri). Cada bacteria de dicha población comienza a alimentarse y a reproducirse formando un pequeño montoncito de bacterias. Ese montoncito de células no se mueve del sitio donde ha crecido. Es importante señalar que todas las bacterias de dicho montoncito vienen de una sola bacteria, y todas tienen la misma identidad genética. Por eso, al montoncito se le denomina colonia o clon. (Figura 3). Luego la población de bacterias está formada por un conjunto de colonias o clones. Si tomamos a una bacteria de esa colonia y la disponemos en un nuevo medio de cultivo, la bacteria crecerá y formará una nueva colonia idéntica genéticamente a la colonia de la que viene. Los Lederberg dejaron primero que su población de bacterias creciese sobre el medio de cultivo y formase colonias. Luego, utilizando un tampón de terciopelo hicieron replicas de dicha población en placas con medios de cultivo. Cuando el terciopelo se ponía en contacto con las colonias de bacterias, parte

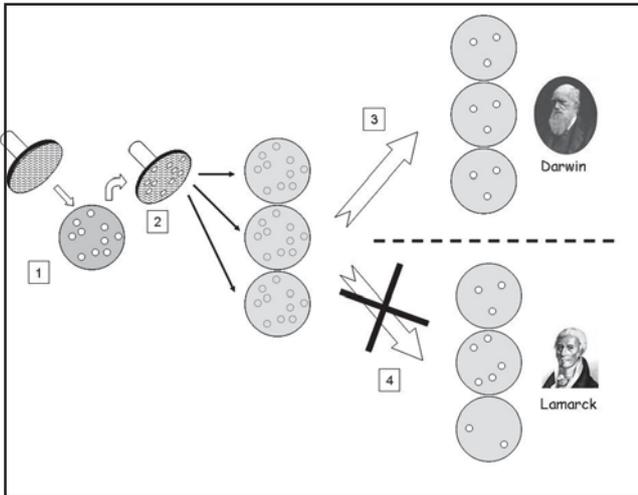
de esas colonias se adhería al terciopelo. Luego ese mismo terciopelo se pone en contacto con los medios de cultivo desprendiéndose bacterias. Las bacterias comenzarán a crecer, cada una formando una nueva colonia que será idéntica de la que venía originariamente. De esa forma, puede replicarse una población de bacterias manteniendo la individualidad de cada uno de sus miembros (Figura 3).



**Figura 3:** Cuando una bacteria como *Escherichia coli* (foto 1) es depositada en un medio de cultivo sólido y a temperatura y condiciones óptimas, la bacteria comienza a alimentarse y a reproducirse por bipartición cada 30 minutos. Es decir, a la hora tendremos 4 células, a los 90 minutos 8 células, y a las 10 horas tendremos 1 millón de bacterias idénticas. Todos los descendientes de la bacteria original van acumulándose y formando un montoncito de células o colonia (foto 2). El conjunto de dichas colonias sería una población bacteriana. Una bacteria individual tiene un tamaño de unas 2 micras de largo por 1 de ancho (1 micra es la milésima parte de un milímetro). Una colonia típica como las de la foto tiene un diámetro de unos 2 milímetros por 1 de alto. Eso quiere decir que cada una de esas colonias tiene aproximadamente unos 1.500 millones de bacterias. Resumiendo, en la placa Petri de la foto hay más bacterias que seres humanos en el planeta. En ausencia de mutaciones, todas las células de una colonia tienen la misma información genética. Si tomamos una de esas células y la depositamos en un nuevo medio de cultivo, volverá a crecer y formar una nueva colonia.

Según la teoría neodarwinista, la población ya presenta bacterias mutantes (la variabilidad) antes de que sucedan los cambios ambientales. En cambio, la teoría lamarckiana predice que las adaptaciones son posteriores a dicho cambio. Los Lederberg tomaron una población y realizaron replicas de la misma sobre distintos medios de cultivo, pero esta vez esos medios contenían un antibiótico (el cambio ambiental que selecciona). Sólo las bacterias mutantes resistentes al antibiótico podrían crecer en dichos medios. Si la teoría neodarwinista era correcta, las colonias que crecen en los distintos medios de cultivo siempre serán las mismas porque los mutantes ya estaban presentes en la población sin antibiótico y esa mutación se transmite a la descendencia. Si por el contrario, la adaptación es posterior al cambio en el medio ambiente, cada placa tendrá diferentes colonias de bacterias resistentes, pues algunas conseguirán adaptarse y otras no. El resultado fue que siempre salían las mismas colonias, luego las mutaciones eran pre-adaptativas y era el medio ambiente el que las seleccionaba (Figura 4).





**Figura 4:** El experimento de los Ledeberg para demostrar que las poblaciones presentan variabilidad pre-adaptativa. (1) Las colonias de *Escherichia coli* que crecen en una placa Petri pueden considerarse una población de dicha bacteria. Mediante el uso de un tampón de terciopelo podemos replicar dicha población el número de veces que queramos. (2) En el terciopelo quedan adheridas algunas células de las colonias. Luego se presiona el tampón sobre tres placas con medio que contienen un antibiótico y se incuban para permitir el crecimiento de las bacterias. Solo crecerán aquellas bacterias que sean resistentes al antibiótico. Las demás morirán. (3) Tras la incubación, las tres placas eran idénticas. Esto solo puede explicarse si los mutantes resistentes al antibiótico estaban presentes en la población antes de la selección. Luego Darwin tenía razón y las poblaciones presentan variabilidad antes de la selección. (4) Si el correcto hubiese sido Lamarck, el resultado esperado habría sido distinto. Según su hipótesis, la adaptación habría sido posterior con lo que cada placa mostraría un número de colonias distinto a la otra, indicando que unas bacterias se habrían adaptado y otras no.

Darwin predijo que la acumulación en el tiempo de estos cambios heredables era lo que producía la apa-

rición de nuevas especies a partir de ancestros más simples. Para él, el registro fósil era un registro de esas mutaciones. Podíamos ir hacia atrás y encontrar cada vez formas de vida más simples y menos evolucionadas. Ahora sabemos que no es exactamente así, pero en lo esencial la idea es correcta. En la teoría neodarwiniana se piensa que todos los seres vivos venimos de un ancestro común o progenote. Una única forma viva que dio origen a todas las demás mediante evolución biológica. La hipótesis del progenote sin embargo no se basa en el registro fósil. Se basa en los datos de la Biología Molecular. Si las mutaciones se transmiten a la descendencia, esas mutaciones están en el material genético, es decir, están en el ADN. Y si están en el ADN, actualmente tenemos herramientas que las pueden encontrar y «leer». Y no solo eso. Podemos comparar ADN de diferentes especies biológicas y cuantificar el grado de diferencia entre ellos. Desarrollaré este aspecto en un artículo futuro.

El caso es que el Neodarwinismo predice que los seres vivos actuales provenimos de una serie de ancestros, y eso incluye al ser humano. Actualmente buscamos cuales son nuestros ancestros de dos maneras. Una es mirando al registro fósil. Otra es mediante los datos de secuencias de ADN y herramientas de la Biología Molecular. Ambas vías son validas y se complementan. Y gracias a ellas sabemos que los monos actuales y el ser humano provienen de un ancestro común y no que los humanos venimos del mono. Pero eso es otra historia que desarrollaré en el siguiente artículo.

#### Bibliografía recomendada:

Stephen Jay Gould. «*El Pulgar del Panda*». Editorial Crítica  
Richard Dawkins. «*Escalando el monte de lo improbable*». Tusquets editores.



**DIDAC**  
Centro de Actividades Naturalistas  
C/Valderrodrigo, 47 Bajo-local.  
(Metro Antonio Machado)  
28039 Madrid  
Visitas previa cita con Pablo Muñoz  
Teléfono: 609 835 888  
e-Mail: geodidac@wanadoo.es

*Cursos: En Ejecución. OPOSICIONES A INSTITUTO 2007.  
Preparación de Ejercicios Prácticos.*

*Materiales: Especialistas en colecciones y fósiles  
didácticos para la Docencia.*

*Excursiones: Primavera 2008*



# El Permico en la provincia de Guadalajara

Autor y fotografías: Pedro Javier Moreno Barahona

## INTRODUCCIÓN

El último periodo de la Era primaria estuvo marcado de principio a fin por una serie de grandes acontecimientos geológicos que condicionaron sobremanera y catastróficamente el destino de las muy diversas formas de vida ya por entonces existentes.

En el Pérmico inferior, las placas continentales volvieron a unirse, por segunda vez en la historia conocida del planeta, en un macrocontinente masivo que albergaba la mayor parte de las zonas emergidas. Ello generó movimientos orogénicos con creación de cadenas montañosas de más de dos mil kilómetros, como los Montes Urales, en cuya área se encuentra la región rusa de Perm donde Murchinson estudió por primera vez la secuencia estratigráfica del periodo.

Unos treinta millones de años después, el macrocontinente -llamado Pangea II- comenzó a descomponerse en placas menores, cerrándose un ciclo tectónico de unión y desunión de los continentes, acaecido durante los cincuenta millones de años que aproximadamente duró el Pérmico.

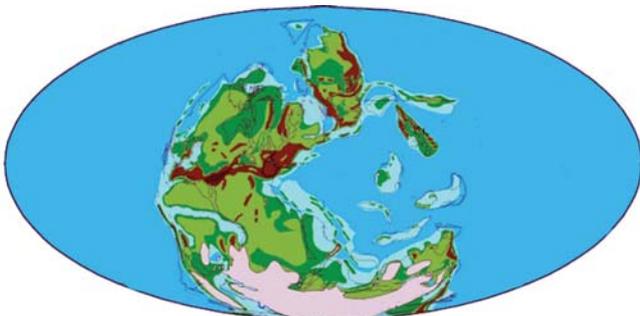


Figura 2. Pangea II durante el Permico 280 m.a

La fase macrocontinental generó grandes áreas de aridez extrema, por distanciamiento de los mares y efecto pantalla de las remozadas cordilleras. Si no son demasiado frecuentes los afloramientos fosilíferos pérmicos en extensas partes del mundo, es debido a que fueron terrenos emergidos algo secos y no cuencas marinas llenas de vida y felizmente recubiertas de sedimentos; solo ello forzó a un inglés a marchar de su querida tierra a los confines de Europa, en búsqueda de una serie sedimentaria completa. Pero en otras zonas, diversas cuencas interiores alimentadas por grandes ríos, formaron bosques abigarrados que han generado yacimientos de carbón. Si bien es constatable que aún esta flora sufrió cambios significativos, con desaparición de las grandes masas arbóreas de licopodios y el aumento del protagonismo de plantas propias de suelos mejor drenados o incluso poco húmedos, como pteridospermas y coníferas. La mayor parte de los yacimientos fosilíferos Pérmicos

de nuestro país, pertenecen a este grupo de cuencas interiores, con la notable excepción de la cuenca parálida de Puertollano.



Figura 01 Sección de *Psaronius* procedente de Aragoncillo

Por lo que a la fauna respecta, los reptiles anunciaban ya el futuro esplendor que alcanzarían en la era venidera, y con la excepción de aves y mamíferos todos los grupos faunísticos conocidos gozaron de un buen desarrollo hasta la llegada de bruscos cambios ambientales.

¿Cuál fue el origen de estos cambios? En la fase inicial la violencia de las colisiones continentales generó una primera fase de volcanismos regionales en base a fracturas locales de la corteza, pero fue al final del periodo, tras la partición del macrocontinente y por fenómenos distensivos, cuando se produjeron inmensas emanaciones de lavas y gases asociados, que alterarían de modo traumático el clima, la composición de la atmósfera y la proporción de gases disueltos en las aguas marinas. Una extinción, cifrada por expertos en un 95% de las especies, supondría el cambio catastrófico más grande del registro fósil. En el que como epítome cabe destacar la extinción de los trilobites, considerados por antonomasia los fósiles propios de la Era Primaria.

## EL PERMICO EN LA PROVINCIA DE GUADALAJARA

Del periodo Pérmico en Guadalajara cabe destacar dos zonas:

Una situada en las estribaciones del Sistema Central situada entre Tamajón-Retiendas-Valdesotos-Tortuero y la otra en el Sistema Ibérico, la Sierra de Aragoncillo.

La zona Tamajón-Retiendas y Valdesotos-Tortuero esta compuesta por una serie de estratos que van desde varios metros en algunas zonas a los escasos 6 cm en el Barranco de las Huertas de Tamajón. Descansa sobre las pizarras silúricas, encontrándose entre areniscas claras, pizarrosas y micaceas donde se hallan restos vegetales. A techo está cubierto por las calizas cretácicas.

Los estratos tipo se hallan en el Barranco de las Huertas en Tamajón que forma el arroyo de Retiendas y que tiene un espesor muy escaso que oscila entre 6 y 20 cm. Otro estrato tipo se halla en el Barranco de las Colmenas en Retiendas, accesible desde la carretera que une Retiendas en la Presa del pantano de El Vado, y abarca las dos orillas del rio Jarama con un espesor



sin determinar. Por último el estrato tipo de Valdesotos se halla en las orillas del Arroyo del Palancar, desde Cabeza de Urdilla hasta cerca del pueblo de Valdesotos, alcanzando parte del termino municipal de Tortuero. Toda esta zona a mediados del siglo XIX tuvo unas expectativas mineras excepcionales, en la creencia que estos afloramientos pérmicos eran de filones carboníferos, estudiados con mucho entusiasmo por su relativa cercanía a Madrid. Era una circunstancia excepcional en esa época de malas comunicaciones, cuando el carbón que se usaba en Madrid venia de las cuencas carboníferas del Norte o de Puertollano.

En está zona los restos fósiles encontrados son de origen vegetal exclusivamente pertenecientes al

Autuniense Medio, con restos fósiles en general muy fragmentados debido ha que fueron arrastrados desde largas distancias y depositados en una cuenca lagunar.

La zona de la Sierra de Aragoncillo fue afectada por una erupción volcánica que provocó que el bosque situado en sus alrededores quedara sepultado por las cenizas y demás materiales eruptivos, dejándonos una prueba de la vegetación existente hace 260 millones de años. excepcionalmente los árboles petrificados se conservan en «posición de vida», como en solo unos pocos yacimientos conocidos en el mundo. Además la fosilización ha respetado las estructuras tisulares, lo que permitirá un estudio anatómico y fisiológico de gran interés.

ZONA SIERRA DE ARAGONCILLO



Figura 03. Sección de *Psaronius*



Figura 04. Sección de *Psaronius*



Figura 05. Sección de *Psaronius*



Figura 06. restos. s.p.



Figura 07. *Annularia*.



Figura 08. *Annularia*.



Figura 09. *Pteridospermas*





**Figura 10.**  
*Pteridospermas*



**Figura 11.**  
*Pteridospermas*



**Figura 12.**  
*Pteridospermas*



**Figura 13.**  
*Pteridospermas*

ZONATAMAJON-RETIENDAS



**Figura 14.**  
*Pteridospermas*



**Figura 15.**  
*Calamites*

ZONA VALDESOTOS-TORTUERO



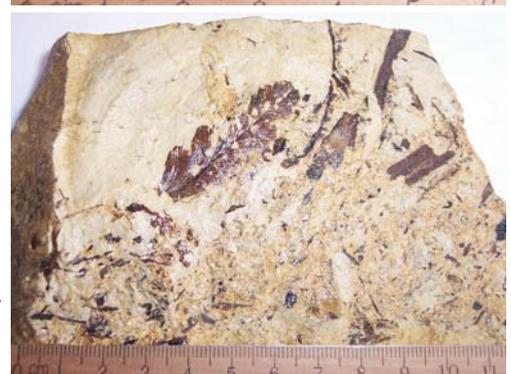
**Figura 16.**  
*Calamites*



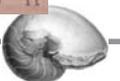
**Figura 17.**  
Restos s.p.



**Figura 18.**  
Restos s.p.



**Figura 19.**  
Restos s.p.



## HISTORIA DE LOS MAPAS GEOLÓGICOS

Autor: David Castellano Marín.

El Consejo de Seguridad Nuclear, en su tarea por conseguir que los residuos radiactivos no causen daños con el paso del tiempo, tiene la tarea de conocer e investigar el subsuelo español.

Este estudio se basa en todos los datos conocidos en el devenir histórico de las ciencias geológicas en nuestro país.

Es por ello que el CSN ha editado una obra sobre la Historia de la Cartografía en España, que se resume en este artículo.

### EVOLUCIÓN DE LA GEOLOGÍA

La mayor parte de los fenómenos geológicos se producen a la largo de miles o millones de años. Quienes intentaron explicar la evolución de la tierra chocaron frontalmente con las religiones establecidas, sin embargo los primeros pasos en el conocimiento geológico ya se dieron en la antigüedad:

- Herodoto observó los procesos sedimentarios del Nilo.
- Teofrasto, siglo IV a. n. E. Elaboró el primer lapidario, con minerales y rocas.
- Plinio el Viejo, en el siglo I de n. E., recoge en su Historia Natural numerosos procesos geológicos.

En la edad Media, (S.XI) Avicena establece el origen orgánico de los fósiles y propone el criterio cronológico de los estratos superpuestos.

Alfonso X El Sabio (S. XIII) impulsó la realización de otro «lapidario».

En el renacimiento, Leonardo Da Vinci (S.XV) atribuyó el origen de los valles a la acción de los ríos.

A finales del S. XVII, Arduino realiza un primer intento de ordenación temporal de los terrenos, de una forma parecida a la actual: primarios (pizarras y cuarcitas), secundarios (calizas y margas); terciarios (yesos y arcillas) y cuaternarios (aluviones y fluviales).

El siglo XVIII estuvo marcado por las grandes polémicas entre plutonistas y neptunistas, y la de uniformistas y catastrofistas.



Figura 1. Bosquejo Geológico de España dirigido por D. Joaquín Ezquerro del Bayo (1.850)

Plutonistas (defendían la existencia de calor interno de la tierra) y uniformistas (defensores de los procesos lentos y continuos en los cambios geológicos) ganaron la partida, siendo sus principales defensores Bufón y James Hutton.

Del siglo XX destacamos la tectónica de placas, modelo último en la explicación de los procesos geológicos, impulsado por el alemán Wegener, con su «teoría de la deriva de los continentes» (1912).

### Los Mapas Geológicos de España en el S. XIX

Pocos y breves fueron los trabajos cartográficos en España hasta la irrupción de la minería a mediados de la década de 1830.

Nuestro retraso económico y cultural, las guerras del período de Carlos IV, la guerra de la Independencia, y la falta de infraestructuras (camino, posadas) nos mantenían a la cola de Europa en el desarrollo cartográfico. Destacamos el trabajo del ingeniero Alumn Schultz, venido a España para estudiar las minas de las Alpujarras y que realizó el mapa petrográfico de Galicia.

El descubrimiento de los yacimientos argentíferos almerienses desata una ola de prospecciones y descubrimientos metalíferos sin parangón en toda Europa. Como señalara Mallada, España tiene en lo administrativo las mimas y la lotería juntos.

Así, el 11 de julio de 1849 se creó la Comisión de la Carta Geológica de Ma-

drid y General del Reino, en un decreto promulgado por el Ministro Bravo Murillo y Sancionado por Isabel II.

Este trabajo sistemático hizo posible, 40 años más tarde, disponer de una cartografía básica que cubría toda la península.

Durante el s. XIX, se producen en España dos tipos de Cartografía del País: los bosquejos y los mapas:

1º Los bosquejos, de uno o dos autores, parten de conocimientos desiguales e incompletos del territorio. El primero fue el de Joaquín Ezquerro del Bayo (Bosquejo Geológico de España) (1850). Figura 01.

En 1863 Amallo Maestre publica su Bosquejo General geológico de España, a escala 1:100.000, que sintetiza el trabajo de 10 autores españoles y 8 extranjeros.

Cabe citar también los bosquejos de los franceses Vernevil y Collocub y el de Juan Vilanueva (Tratado de Geología).

El 5º y último bosquejo general de Federico de Botella, a escala 1:2000.000, más completo que los anteriores.

2º Los mapas sintetizan un conjunto de trabajos homogéneos por responder a unas reglas, y cubren todo el territorio. En este sentido sólo existe un verdadero mapa: el de 1889, formado por la comisión, a escala 1:400.000.



Esta comisión, que contó con primera generación científicos de gran valía como Casiano del Prado, Maestre, Schulz o Botella y a la que suceden una segunda generación con Mallada, Luís Mariano Vidal, Daniel de Cortazar realizó su trabajo en condiciones muy difíciles, a veces, a punto de ser anuladas por falta de presupuesto.

Su mejor época, va desde 1868 a 1873, potenciada por el Ministro Echegaray y dirigida por el ingeniero de minas Manuel Fernández de Castro.

El trabajo se realizó por provincias, 1º Madrid y los hombres que los llevaron a cabo, pioneros en un trabajo sistemático, van unidos sus nombres a la geología, minería y a la provincia a la que dedicaron su labor.

paleontología, suelos, flora, cultivos, y a veces, incluso yacimiento arqueológicos.

### Los mapas geológicos en el siglo XX

Concluido el trabajo de la comisión en 1911 se constituye en 1910 su sucesor, el IGE (Instituto Geológico de España), continuando con la labor de la cartografía, ahora a escala y 1:100.000 y 1:200.000, dando preferencia a la explotación de los recursos conocidos y a las aguas subterráneas.

A parte de trabajos monográficos, como el relativo al hierro, en este siglo sólo han aparecido 2 mapas cartográficos nacionales, el de 1980 y el de 1994; el resto han sido actualizaciones del mapa de 1889, cada vez más perfectos.

La razón fue la elección de la nueva escala, 1:1.000.000 ó 1:200.000, que fue la elegida, pero no cuajó en una cartografía sistemática.

Por último en la década de 1920 se eligió la escala 1:50.000 (1.124 hojas), un esfuerzo a muy largo plazo dada la capacidad de medios con que se contaba.

Este lento trabajo de las hojas 1:50.000 fue paliado por la realización de trabajos regionales por parte de españoles y extranjeros. En 1970, superada la metodología anterior por el avance de la ciencia, se retoma desde el principio el estudio de las hojas 1:50.000.

La contienda militar de 1936 hizo que los estudios del IGME quedaran bajo mínimos.

En 1954 se publicó el primer mapa Volcanológico de España a escala 1:1.000.000.

A mediados de los 50 se retoma la investigación cartográfica de la mano de la prospección petrolífera y de la Junta de Energía Nuclear para la prospección de uranio.

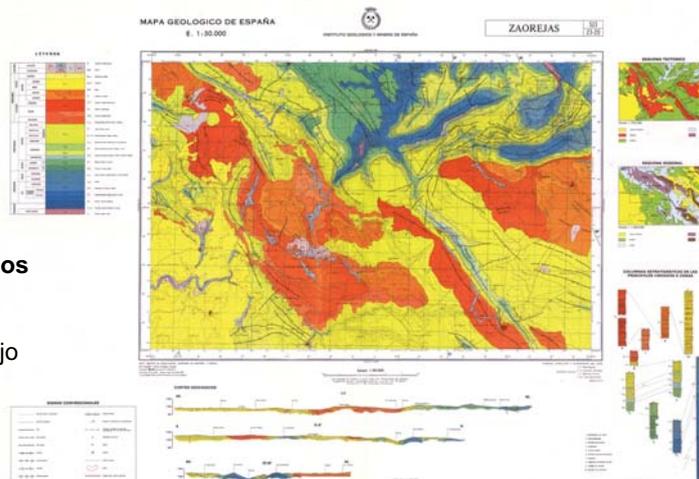


Figura 3. Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 513 Zaorejas (1.979)

Estos trabajos permitieron en los 70 la realización de la Síntesis Geológica a escala 1:200.000, que cubría el país en 91 hojas.

Los Ingenieros Ramón Rey Jorissen y Teodoro Olaverri, con la síntesis anterior y cartografía de la serie 1:50.000, realizaron el segundo mapa nacional verdaderamente genuino: el de 1980, que carecía de memoria.

La modernización de la minería en 1970, con abundantes recursos públicos, fue encargada al IGME, que aprovechó la ocasión para crear el plan MAGNA: Mapa Geológico Nacional, a escala 1:50.000.

A comienzos de los 90 está realizado el 75% de las hojas del plan MAGNA, terminándose ya en nuestro siglo XXI.

En 1994 se realizó un nuevo mapa de síntesis a escala 1:1.000.000, con aspectos litológicos y tectónicos.

Desde el XIX, pues, muchas cosas han cambiado en cuanto a medios: foto aérea, teledetección, medios informáticos, comunicaciones,..... Nada, sin embargo, puede sustituir el trabajo de campo del teólogo-cartógrafo recorriendo todos los puntos de nuestro planeta.

Fuente: Historia de los mapas geológicos de España. Francisco Javier Ayala-Carcedo. Consejo de Seguridad Nuclear.



Figura 2. Mapa geológico en bosquejo de la provincia de Guadalajara dirigido por D. Carlos Castel y Clemente (1.881)

Estas memorias provinciales, con mapa a escala 1:400.000 contienen la descripción de la orografía, hidrografía, meteorología, yacimientos minerales, canteras, patrimonio geológico,



Figura 3. Mapa Geológico de España dirigido por D. Luis de Peña y Braña (1.932)



## CHEIROGASTER bolivari: LA TORTUGA GIGANTE DEL TERCIARIO ESPAÑOL

Autor: Pablo A. García Gil

Asesoramiento científico: Emiliano Jiménez Fuentes, Facultad de Geología, Universidad de Salamanca.

Dibujos: Mauricio Antón y Luis Fernando Real Martín.

Gráficos: Pablo A. García Expósito

### Introducción

Hace unos años leí en una revista editada por la Comunidad de Madrid<sup>1</sup> que los restos de tortugas gigantes eran un hallazgo muy frecuente en algunas zonas de esta Comunidad, incluso en más de una ocasión se habían encontrado caparazones completos de ejemplares adultos. Esto despertó mi curiosidad que me llevó a visitar algunos museos pero el resultado no fue muy satisfactorio. Solo hay expuestos dos caparazones y ninguna parte más de su esqueleto. Tampoco hay ninguna réplica ni panel explicativo de su anatomía singular.

Desde entonces fui recopilando información sobre estos animales y aunque la Comunidad de Madrid está haciendo un esfuerzo en la divulgación del rico patrimonio paleontológico que posee con diversas exposiciones y la publicación de varios libros, donde apenas ha habido avances es en la exposición de dicho patrimonio. La presencia de restos fósiles en los museos sigue siendo escasa.

Comencé a interesarme por otros museos fuera de nuestra comunidad y fue entonces cuando tuve la inmensa fortuna de conocer a Don Emiliano Jiménez Fuentes de la Universidad de Salamanca. Persona abierta y entusiasta me proporcionó información sobre las excavaciones que había llevado a cabo a lo largo de su vida en Castilla León y me invitó a conocer la Sala de las Tortugas en Salamanca. Este artículo es el fruto de su inestimable colaboración de la que le estoy sinceramente agradecido.

Antes de terminar esta introducción me gustaría señalar que es una pena que por falta de presupuesto y espacio de los museos de la Comunidad de Madrid, la mayor parte del patrimonio paleontológico de nuestra Comunidad esté en los sótanos de los museos. La riqueza de Madrid es tal que su alcalde Alberto Ruiz Gallardón declaraba en diciembre de 2005 que iba «a proponer a la Comunidad crear un museo donde se expongan de modo permanente los hallazgos hechos por las tuneladoras en las obras de la M-30». La calidad y cantidad de los hallazgos de vertebrados en la Comunidad es de tal magnitud, que los yacimientos madrileños tienen renombre a escala internacional y bien merece que sus hallazgos estén expuestos para el conocimiento y disfrute general.

### La cuenca de Madrid:

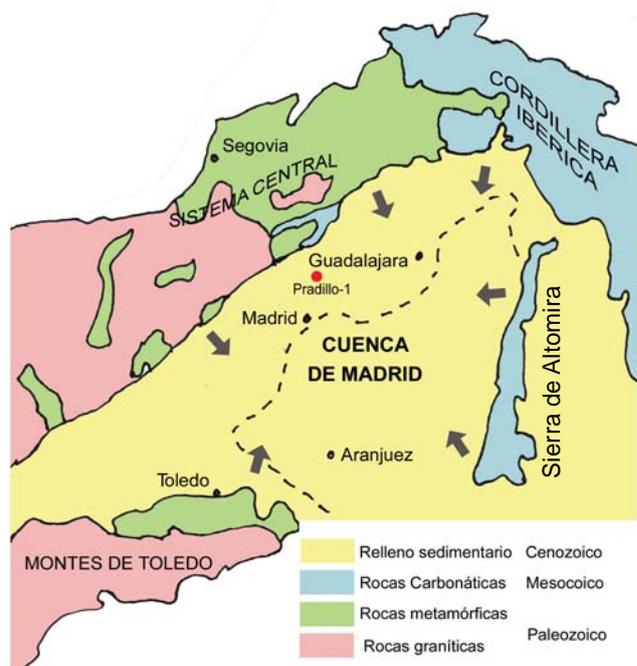
#### 1- Marco geológico y estratigráfico de la cuenca de Madrid

La Cuenca de Madrid forma parte de una cuenca más amplia, la cuenca del Tajo que tiene una superficie aproximada de 15.000 Km<sup>2</sup> cubiertos de depósitos ter-



**Figura 1.** Espalдар de *Cheirogaster bolivari* hallado en la localidad de Villeguillo (Segovia). Sus dimensiones son 118 cm de longitud por 102 cm de anchura y 80 cm de altura. Se encuentra expuesto en la entrada de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.

ciarios dispuestos en estratos horizontales en superficie. En ella se encuentra encajada la red fluvial cuaternaria del río Tajo y sus afluentes. Se formó en el tránsito Mesozoico-Cenozoico. En este momento grandes cuencas sedimentarias ocupaban la parte central de la península. En el Oligoceno, debido a la elevación Alpina del Sistema Central y del Sistema Ibérico, las cuencas sedimentarias quedan reducidas a las depresiones entre las cadenas montañosas. A comienzo del Mioceno en la península había una serie de cuencas activas similar a la del Tajo como son las del Duero, Ebro, Almazán y Calatayud. Es a partir de este instante en el Mioceno inferior (hace unos 20 millones de años) cuando se conservan restos de vertebrados en la Comunidad de Madrid.



**Figura 2.** Situación de la Cuenca de Madrid en la Península Ibérica y mapa geológico simplificado. Se ha indicado mediante flechas los aportes de los sistemas de abanicos aluviales. La línea discontinua indica el límite de la zona lacustre en el Aragoniense Medio y superior (Unidad Intermedia) según Calvo et al. (1989). También se ha indicado la posición del sondeo realizado Pradillo-1.



La dinámica de todas estas cuencas es similar. Son cuencas endorreicas, es decir, cuencas que no desaguan. Se desarrolla un sistema lagunar cerrado en la zona más profunda, un sistema palustre en la periferia de la laguna y un sistema de abanicos aluviales como consecuencia del arrastre de materiales detríticos desde las zonas elevadas de la periferia de la cuenca. Esto da lugar a que los depósitos de relleno no sean homogéneos. En los bordes de la cuenca, los depósitos son aportes aluviales debido a la erosión y arrastre del agua. Los materiales son más voluminosos conforme nos acercamos al borde de la cuenca y más finos al desplazarnos hacia el centro de la misma. En la zona central se producen depósitos de tipo lacustre, es decir, carbonáticos y evaporíticos alternantes con materiales terrígenos finos.

Por otro lado, la naturaleza de los materiales que están situados en la periferia de la cuenca es diferente de un punto a otro. Así, el Sistema Central está formado por rocas plutónicas hacia el oeste y metamórficas en el norte, al este, la Sierra de Altomira y el Sistema Ibérico están formados por rocas carbonáticas y en el sur, los Montes de Toledo también están formados por rocas plutónicas y metamórficas. Además los márgenes norte y noroeste son los que tienen un mayor relieve en la actualidad por lo que es presumible que fuese, de esas zonas, desde donde se generaron los mayores aportes sedimentarios. Todas estas diferencias se traducen en lo que se denomina «cambios laterales de facies», esto es, la naturaleza de los materiales que se van depositando en la cuenca central varía cuando nos movemos dentro de un horizonte de la misma edad geológica así como el espesor de las distintas capas. Esta heterogeneidad ha quedado puesta de manifiesto en los diversos sondeos realizados. En el sondeo Pradillo-1 realizado en el norte de Madrid se registraron 3246 m de sedimentos terciarios acercándose a 4000 m en lugares del norte de la cuenca cercanos al Sistema Central, mientras que el espesor varía entre los valores medios de 1500 m a 2000 m en la zona central y oriental de la cuenca.

Aparte de estas variaciones en sentido horizontal, también se detectan cambios en la vertical (véase la Figura 3).



**Figura 3.** Cerro testigo «la Muela» en Humanes (Guadalajara). El nivel superior es la superficie de la antigua llanura de la Cuenca de Madrid cuando esta se colmató. La acción erosiva de las aguas del río Henares y sus arroyuelos ha rebajado la antigua llanura a los niveles actuales dejando estos promontorios como cerros testigos del antiguo nivel de la meseta. Sus laderas nos permiten observar la distinta naturaleza de los materiales que fueron rellenando la antigua cuenca. Fotografía de Vicente Bello.

Los sedimentos terciarios que rellenan la Cuenca de Madrid se han dividido en tres unidades estratigráficas: las unidades Inferior, Intermedia y

Superior, que se encuentran separadas por discordancias. Estas divisiones se han efectuado atendiendo a las características tectónicas, estratigráficas y sedimentológicas de los sedimentos que son el fruto de los cambios geológico/climáticos que afectaron a la cuenca. El estudio detallado de cada una de estas unidades es complejo y excede el objetivo de este artículo por lo que se recomienda al lector interesado en mayores detalles, que consulte el capítulo «El Mioceno de Madrid» en la obra «Geología y Paleontología del Terciario continental de Madrid».

Durante la unidad Superior que es la más moderna, la cuenca se colmata. Se producen depósitos de origen aluvial formados por cantos de cuarcita y, sobre ellos, un depósito llamado «calizas de páramo»<sup>2</sup>. Estos niveles son muy fácilmente reconocibles en campo porque forman la cornisa superior de muchos cerros castellanos. La caliza de páramo ha sido utilizada con frecuencia como material de construcción (véase la Figura 4).



**Figura 4.** Ermita de la Virgen de la soledad (siglo XVI) en Los Santos de la Humosa. Todo el conjunto está construido con caliza de páramo. Si se observa con detenimiento el suelo por ejemplo, pueden observarse las conchas de los gasterópodos de agua dulce donde se formó la roca.

Al final del Plioceno todo el bloque hercínico de la meseta basculó hacia el oeste, mientras el Sistema Ibérico quedaba como divisoria de aguas de la península, por ello a partir de este sistema las aguas se deslizan hacia el Atlántico siguiendo el plano inclinado de la Meseta y por la cuenca del Ebro, hacia el Mediterráneo. Es a partir de ese instante cuando empieza a encajarse la red fluvial actual.

## 2- Marco paleoclimático de la cuenca de Madrid

El estudio paleoambiental nos indica que el clima fue cálido y estacional durante el Mioceno inferior. La distribución de ambientes estuvo condicionada por la cantidad de humedad del suelo. Mediante el estudio de pólenes fósiles y algas microscópicas se deduce que en las zonas periféricas de la cuenca, donde se desarrollan los abanicos aluviales, el ambiente fue árido o semiárido con una vegetación compuesta de arbustos y matorral adaptada a condiciones secas. En la zona intermedia entre los abanicos aluviales y el lago interior se desarrolló un sistema palustre que consistía en zonas pantanosas surcadas por corrientes de agua de funcionamiento estacional que se secarían periódicamente.

Asociada a las zonas con agua más o menos permanente se debieron desarrollar bosques de ribera similares a los de zonas tropicales actuales, mientras que en zonas algo más alejadas del agua las condiciones ambientales se asemejarían a las de la sabana (praderas húmedas).





**Figura 5.** Reconstrucción ambiental de la cuenca de Madrid durante el Mioceno. En la misma lámina se han representado los diferentes ecosistemas que existían; bosques de ribera en los márgenes de las lagunas estables, sabanas en su periferia dando paso a zonas más áridas. En la lejanía, las zonas montañosas del borde de la cuenca cuya erosión proporcionaba los aportes que iban colmatando la cuenca. Dibujo original de Mauricio Antón, reproducido aquí con permiso del autor.

En general los restos de flora y fauna sugieren que durante todo el Aragoniense el clima fue tropical. Evolucionó paulatinamente de condiciones de acusada aridez a otras de carácter más húmedo. Durante el Aragoniense Medio la Cuenca sufrió una mayor aridez con mayores diferencias estacionales, mientras que los cambios de las faunas de vertebrados que se producen en el Aragoniense Superior sugieren que el clima cambió de forma notoria haciéndose más frío y húmedo.

## LAS GRANDES TORTUGAS FÓSILES

**Figura 7.** Ejemplar aparecido en el Puerto de la Cadena (Murcia) y depositado en el museo de la Asociación Paleontológica Murciana.



Las tortugas gigantes fueron abundantes de la meseta durante el Mioceno y Plioceno. En realidad y teniendo en cuenta los hallazgos producidos en los últimos años se sabe que poblaron las llanuras españolas y las de Europa occidental, así como las del norte de África, islas del Mediterráneo y Canarias. Estos habitantes de climas cálidos desaparecieron de estas latitudes a finales del Plioceno como consecuencia de los cambios climáticos que se sucedieron.

Las tortugas gigantes son uno de los fósiles más frecuentes del Mioceno de Madrid. Su característica más destacada es el gran tamaño de su caparazón que supera ampliamente el metro de longitud. Eran terrestres y su aspecto sería similar al de las grandes tortugas que habitan actualmente en las Islas Galápagos.

Los restos de tortugas gigantes se distribuyen a lo largo y ancho de la Comunidad de Madrid y van desde placas aisladas hasta acumulaciones de caparazones completos, a pesar de que no eran animales gregarios. Esto nos indica que debieron de ser muy abundantes durante el Mioceno medio.

El caparazón de las tortugas es un elemento óseo robusto pero debe quedar enterrado con cierta rapidez

SISTEMA	SERIE	PISO	EDAD (m.a)	EVENTOS RELEVANTES		
Cuaternario				Glaciaciones. Primeros homínidos en Europa		
Terciario	Neogéno	Plioceno	1,6		Desarrollo de las cuencas endorreicas	U. Sup.
			5,3	Turolense		
		Mioceno	Superior			
						Vallesiense
			Medio	Sup.		
				Med.		Aragoniense
				Inf.		
		Inferior		Ramblense		
				Ageniense		
Paleogéno	Oligoceno	23,8				
		33,7				
			Desarrollo del Sistema Central			
		65	Extinción de los dinosaurios			
Cretácico						

**Figura 6.** Cuadro resumen del Terciario.



para que se conserve entero. Si esto no ocurre se desarticula quedando sueltas las distintas placas que lo componen. Las concentraciones de placas fósiles se interpretan como casos de resedimentación.<sup>3</sup>

## **CHEIROGASTER bolivari**

### **Origen de las tortugas**

Los primeros reptiles aparecieron sobre la Tierra a finales del periodo Carbonífero. Son los Cotosaurios; unos reptiles que evolucionaron a partir de los anfibios y que aún presentan caracteres comunes con ellos. Son reptiles anápsidos<sup>4</sup> y sus restos se encuentran a partir del Pérmico inferior. El origen de los quelonios es incierto, como suele ocurrir cuando se indaga en el origen de cada linaje, pero se conocen fósiles de tortugas desde tan antiguo como el período Triásico hace por lo menos 180 millones de años y que son muy similares a las de la actualidad, por lo que se supone que aparecieron durante el Pérmico. Son también reptiles anápsidos y son los reptiles más arcaicos que existen hoy en día. Pertenecen al orden Testudines o Quelonios (Chelonia).



**Figura 8.** Desde su origen las tortugas han tenido tres características diferenciadoras: su caparazón óseo externo, cráneo anápsido y boca provista de pico córneo sin dientes. En esta fotografía de nuestro compañero Juan Javier Iglesia Medina se puede apreciar el esqueleto de una tortuga terrestre actual. El caparazón ha sido cortado longitudinalmente para que pueda apreciarse el esqueleto interno. El ejemplar está expuesto en el Museo de Historia Natural de Londres.

Sin embargo, estudios moleculares recientes relacionan a las tortugas con reptiles diápsidos<sup>5</sup> y sugieren que el cráneo anápsido sería consecuencia de una regresión más que indicar su origen. El tema sigue abierto.

### **Breve descripción anatómica de las tortugas terrestres**

Las tortugas actuales son muy similares a sus primeros parientes fósiles del periodo Triásico. Esta excepcional inalterabilidad a lo largo de tan vasto tiempo solo se observa en los escualos. Todos los demás grupos de vertebrados van cambiando, evolucionando para adaptarse a las necesidades que imponen los cambios del entorno en que viven, o sucumben ante ellos. Pero en nuestro caso esta inmutabilidad nos va a ser útil porque podremos extrapolar el análisis de las especies actuales a las especies primitivas del pasado. A continuación vamos hacer una breve descripción de la anatomía de las tortugas terrestres actuales. Se deja

la descripción del esqueleto para el capítulo donde se habla de los restos fósiles.

El **aparato digestivo**. Comienza en la boca que presenta la particularidad de que no posee dientes y en su lugar se ha desarrollado un pico córneo. La comida, troceada por este, pasa a través del esófago hasta el estómago que está muy poco diferenciado del tracto intestinal. El intestino desemboca en una cloaca muy amplia que, a su vez se abre al exterior por un orificio circular situado en el extremo de la cola. En la cloaca también vierte sus productos el aparato excretor y el genital.

El **aparato circulatorio** es de tipo claramente reptiliano. El corazón de los quelonios tiene tres cavidades como todos los reptiles<sup>6</sup>: dos aurículas y un ventrículo en el que se advierte una sutura que lo divide parcialmente; esto provoca una mezcla parcial de sangre venosa con la arterial al nivel de la aorta.

El **aparato respiratorio** está formado por dos pulmones conectados a las fosas nasales mediante la faringe, la laringe y la tráquea; pero, dada la rigidez del caparazón y la ausencia del músculo diafragma, la respiración se lleva a cabo mediante un mecanismo no aclarado totalmente. Por un lado, se conoce que intervienen los movimientos de los músculos del cuello, pero además parece ser que algunos músculos situados entre las patas y por debajo de las vísceras hacen las veces de diafragma comprimiendo y relajando estas últimas.

El **aparato excretor** está formado por dos riñones, cada uno conectado a una vejiga situada junto a la abertura cloacal; allí se recoge la orina.

El **aparato sexual** femenino posee dos ovarios grandes en comunicación con el orificio cloacal mediante dos oviductos.

El aparato genital masculino posee dos testículos y un órgano copulador situado, en reposo, en la parte posterior de la cloaca.

La fecundación es interna y la reproducción es siempre ovípara. El número y tamaño de los huevos depende de la especie. Su contorno suele ser esférico o elíptico, de coloración grisáceo o completamente blanco; la cáscara, más o menos consistente; es blanda y elástica en unas especies y calcárea y dura en otras.

El **sistema nervioso** es típicamente reptiliano. Entre los sentidos destacan la vista, el olfato, el gusto y el tacto. El oído no parece ser muy agudo.

### **Modo de vida**

Las tortugas terrestres son herbívoras, alimentándose de gran variedad de plantas. Los adultos poseen una gran resistencia a la sed, hecho que se debe por un lado a su capacidad de beber y almacenar gran can-



tividad de agua en el organismo, y por otro lado a su capacidad de producir agua a partir de la grasa almacenada en sus tejidos. Esto unido a su baja tasa metabólica, les permite vivir durante prolongados periodos sin beber. Los individuos infantiles en cambio, necesitan permanecer en las cercanías de los cursos de agua para abastecer sus necesidades.

Son animales de sangre fría, o sea incapaces de regular su temperatura corporal por sí mismos. Necesitan del calor solar para alcanzar la temperatura necesaria que les permita llevar su actividad diaria.

Habitan preferiblemente zonas tropicales o templadas y se adaptan bien a climas áridos. El exceso de calor lo superan buscando el refugio de la sombra y escarbando en el suelo para buscar el frescor de la humedad. También mediante baños de barro en charcas poco profundas si estas están accesibles. Las bajas temperaturas durante la estación fría la combaten hibernando. Para ello se entierran a cierta profundidad y se aletargan hasta que pasan los rigores invernales.

La longevidad de las tortugas es muy superior a la de cualquier otro vertebrado. Se estima que pueden llegar a los 200 años pero no se ha comprobado con exactitud hasta la fecha.

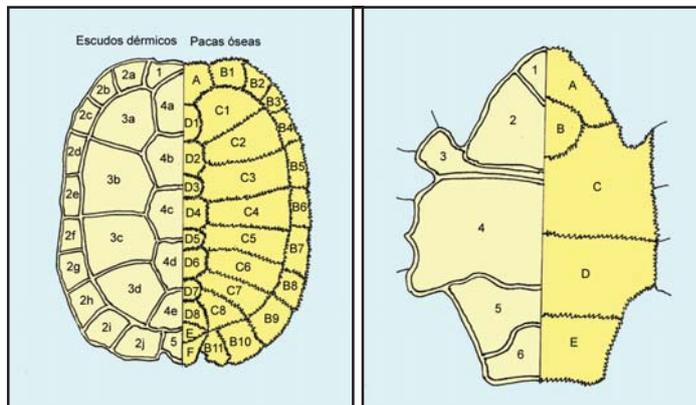
## Restos fósiles

**1.- El caparazón.** La principal característica anatómica de las tortugas es sin duda su caparazón. Está formado por una parte superior abombada llamada espaldar, y otra inferior aplanada, el peto; las dos partes pueden estar soldadas entre si, o unidas solamente mediante ligamentos elásticos que permiten cierta movilidad. Tanto el espaldar como el peto están formados por la fusión de las costillas que crecen lateralmente sobre la superficie del cuerpo del animal. En *Cheirogaster bolivari*, el caparazón tiene forma rectangular con las esquinas redondeadas y es ligeramente más estrecho en la parte anterior; espaldar y peto están unidos rígidamente formando un todo compacto que presenta dos orificios; uno delantero para la cabeza y las patas anteriores y otro trasero para las patas posteriores y la cola. El caparazón es una poderosa defensa ante depredadores. Las tortugas repliegan las patas, cola y cabeza para adquirir una forma que no deja extremos donde el depredador pueda hacer presa fácilmente.

El caparazón de *Cheirogaster* estaba formado por dos cubiertas superpuestas, la interior es ósea y la exterior es epidérmica similar a las escamas de los reptiles.

En el espaldar se distinguen tres tipos distintos de placas óseas. Una fila central cuyas placas se denominan placas neurales; una por cada vértebra dorsal y la vértebra está fusionada por la parte interior. A cada lado de las placas neurales se extienden una fila de placas costales que recubren a las costillas.

Las placas de la periferia se llaman placas marginales; recibiendo el nombre de preneural la que se sitúa detrás de la cabeza y pigal la que se está



**Figura 9.** Espaldar de *Cheirogaster*. Escudos dérmicos unidos por surcos: 1 Nucal. 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i y 2j. Marginales. 3a, 3b, 3c y 3d. Costales. 4a, 4b, 4c, 4d y 4e. Vertebrales. 5. Caudal. Placas óseas unidas por suturas: A. Preneural. B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10 y B11. Periferiales. C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 y C8. Peurales. D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, y D8. Neurales. E, Suprapigal. F, Pigal.

**Figura 10.** Peto de *Cheirogaster*. Escudos dérmicos unidos por surcos: 1, Gular. 2, Humeral. 3, Pectoral. 4, Abdominal. 5, Femoral. 6, Anal. Placas óseas unidas por suturas: A, Epiplastrón. B, Entoplastrón. C, Hioplastrón. D, Hipoplastrón. E, Xilipastrón.

encima de la cola. Se inclinan hacia arriba en la zona de salida de las patas y cabeza para posibilitar un mayor movimiento de estas, en cambio la placa pigal se curva hacia abajo y hacia dentro en los machos, formando un casquete semicilíndrico que protege a la cola. Todas las placas marginales son de nueva generación, es decir, no se corresponden con ningún hueso que existiese previamente.

La cubierta epidérmica no suele conservarse pero su contorno puede reconocerse claramente en algunos casos porque las líneas de sutura de dicha cubierta dejan una impresión en forma de un pequeño surco sobre la parte ósea del caparazón. Tiene la misma estructura de escudos neurales, costales y marginales pero, aunque se superpone a las placas óseas, los tamaños de las placas no coinciden (ver Figura 9)

De perfil, el caparazón tiene una forma muy abombada y se han encontrado ejemplares de hasta 1,80 metros de longitud en el Plioceno del Campo de Calatrava (Ciudad Real).

El peto es plano o ligeramente cóncavo en la parte anterior, siendo esta curvatura más acentuada en los ejemplares machos para facilitar la cópula sin problemas de equilibrio. Este es otro rasgo que permite la diferenciación sexual.

**Figura 11.** Peto de un ejemplar macho en vista posterior. Se observa su concavidad y cómo la placa pigal que protege a la cola se curva hacia el interior, detalles estos que nos indican que se trata de un ejemplar macho. Es el peto correspondiente a la tortuga que aparece en la Figura 1 y está igualmente expuesto en la entrada de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca



**2.- El cráneo.** Es una parte de los vertebrados que no suele encontrarse fosilizada. Ello se debe a varios factores: a) que la unión con el cuello no es rígida y se desarticula con facilidad; b) que el cráneo está formado por la unión de múltiples huesos planos que se desarticulan con facilidad; y c) que es una pieza apreciada por los animales carroñeros que contribuyen, de este modo, a su dispersión.

La cráneo de los quelonios presenta dos características singulares: como se ha comentado anteriormente no tiene fosas temporales (son reptiles anápsidos) y además no poseen dientes. En su lugar presentan un pico córneo, generalmente de borde cortante para cortar y desmenuzar su alimento.

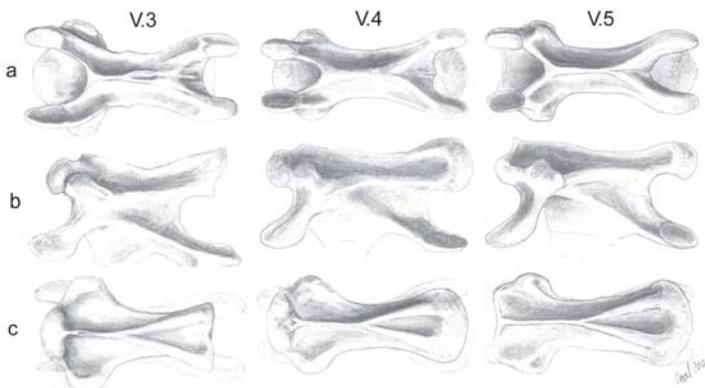
En los pocos restos fósiles de *Cheirogaster bolivari* encontrados se ha visto que el cráneo es muy pequeño comparado con el tamaño del caparazón. Apenas 10 cm de longitud para un individuo de más de un metro. Visto desde arriba tiene una forma triangular, con el hocico romo y, la parte superior, es ligeramente convexa descendiendo hacia el hocico.

**3.- Las vértebras cervicales.** *Cheirogaster bolivari* tiene 8 vértebras cervicales altamente especializadas que merecen que nos detengamos un poco en su descripción. Su diseño dota a la cabeza de la tortuga de una gran movilidad que contrarresta, en parte, la falta de movilidad que impone el voluminoso, pesado y rígido caparazón. Además, *Cheirogaster* es una tortuga Criptodira, es decir, se protege de los ataques de los depredadores replegando la cabeza dentro del caparazón mediante la flexión del cuello en el plano vertical.

Comencemos con una breve descripción de las vértebras. Cada vértebra está formada por un cuerpo sólido de sección circular y un arco óseo. Entre ambos forman un canal circular por el que discurre la médula espinal protegida de esta manera por hueso en todas direcciones. Las vértebras también suelen tener prolongaciones óseas llamadas apófisis. En el caso de las vértebras cervicales de *Cheirogaster bolivari*, presentan dos pares de apófisis articulares cuya función es participar en la articulación de unas vértebras con otras; proporcionar soporte adicional y limitar la dirección y el ángulo máximo del movimiento y torsión. Las apófisis anteriores se denominan prezigapófisis y tienen superficies de articulación en la cara superior mientras que las apófisis posteriores o poszigapófisis presentan una superficie articular en la parte inferior. Prezigapófisis y poszigapófisis de vértebras contiguas se articulan entre sí.

Las vértebras se numeran a partir de la cabeza y las dos primeras vértebras tienen una forma especial diferente del resto. Se denominan respectivamente Atlas y Axis y son vértebras cortas que permiten el movimiento de lado a lado y de rotación del cráneo.

En general, las restantes vértebras son más anchas en la parte anterior y posterior, donde se sitúan los extremos que se articulan con las vértebras contiguas y en conjunto se observa que las vértebras cervicales van ganando en robustez a medida que se acercan al cuerpo.



**Figura 12.** De izquierda a derecha vértebras 3, 4 y 5 en vistas superior **a**, lateral **b** e inferior **c** de arriba a abajo. Varias cosas llaman la atención como por ejemplo el gran desarrollo de las apófisis que con sus superficies articulares contribuyen a la articulación de las vértebras del cuello. También es notorio el cambio en las superficies articulares anterior y posterior que se produce en las vértebras. Los dibujos son de nuestro compañero Luís Fernando Real Martín.

La vértebra III es opistocélica, esto es, el extremo articular anterior es convexo y el posterior es cóncavo. Estas superficies articulares tiene una forma elipsoidal.

La vértebra IV es ancicirtiana, que es el nombre que reciben las vértebras cuando ambos extremos articulares son convexos.

Las vértebras V y VI son procélicas, o sea, el extremo articular anterior es cóncavo y el posterior es convexo.

La vértebra VII es ancicélica, esto es, ambas superficies articulares son cóncavas.

La vértebra VIII es ancicirtiana, siendo el cuerpo vertebral más corto que en las anteriores.

La vértebra IX es la primera de la diez vértebras dorsales y posee en la parte delantera, una cavidad articular cóncava profunda para encajar en la última vértebra cervical.

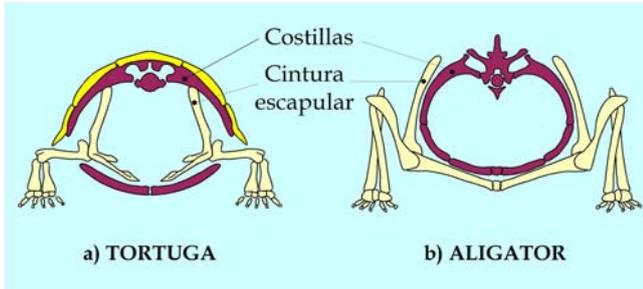
¿Para que sirve semejante complejidad estructural, esto es, por qué son tan diferentes unas vértebras de otras? La Naturaleza acostumbra a enseñarnos que cada parte de un ser vivo tiene una función y, cuando esta desaparece, la parte en cuestión se atrofia y desaparece. La complejidad de las vértebras cervicales de *Cheirogaster* viene dada por el mecanismo de protección de la cabeza. Ante un peligro, la cabeza se repliega hacia atrás mientras el cuello se pliega en el plano vertical formando una «S». Adoptar esa forma con tan solo 8 vértebras les exige esa especialización. Las vértebras procélicas y opistocélicas permiten el movimiento en cualquier dirección (limitado por las zigapófisis) y resisten la dislocación.

**Figura 13.** En un pequeño galápagos momificado de apenas 3 cm hemos practicado un corte en el caparazón para poder observar la disposición de las vértebras cervicales cuando la cabeza (objeto voluminoso de la izquierda) está retraída en el interior del caparazón. Obsérvese como las apófisis se articulan y dirigen el movimiento. En la parte superior se observan las vértebras dorsales soldadas al espaldar.



#### 4.- La cintura escapular.

Otra característica que es exclusiva de las tortugas es que las cinturas escapular y pelviana están en el interior de las costillas. En la Figura 8 y Figura 14 puede observarse este detalle.



**Figura 14.** Corte del cuerpo de una tortuga (izquierda) a la altura de la cintura escapular (hombros) para mostrar la posición particular de los huesos de dicha cintura. Están dentro de la caja torácica (costillas) que se ha representado en color. Es el único vertebrado que tiene esta disposición ósea.



**Figura 15.** Coracoides y Escápula.

La cintura escapular está formada por dos huesos; el coracoides y la escápula. El primero adopta una forma con un ángulo próximo a 90°. En el vértice de dicho ángulo confluye la escápula y, entre los dos forman el acetábulo, es decir, la superficie cóncava donde se articula el húmero. El coracoides se sitúa en posición más o menos vertical y está conectado con el espaldar pero la unión no es rígida, es decir, el coracoides no está fusionado al espaldar por lo que su extremo superior es redondeado (véase la Figura 15).

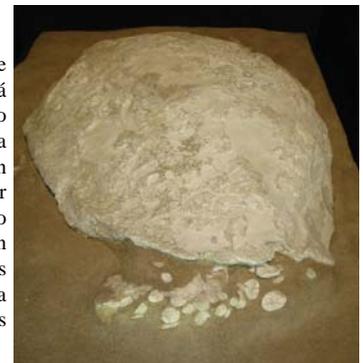
#### 5.- Extremidades anteriores.



**Figura 16.** Huesos de la extremidades anteriores; Húmero y Cúbito depositados en la Sala de las Tortugas en Salamanca.

El húmero es robusto y corto, con una forma ligera de «S». Se han encontrado ejemplares de 27 cm de longitud y hay fragmentos de ejemplares mayores. La cabeza que articula en el acetábulo es grande para ser capaz de soportar el peso del animal que podría estar entorno a los 300 Kg en los animales de mayor tamaño. Los huesos del antebrazo, radio y cúbito, son mucho más cortos, del orden de la mitad que el húmero (véase la Figura 16).

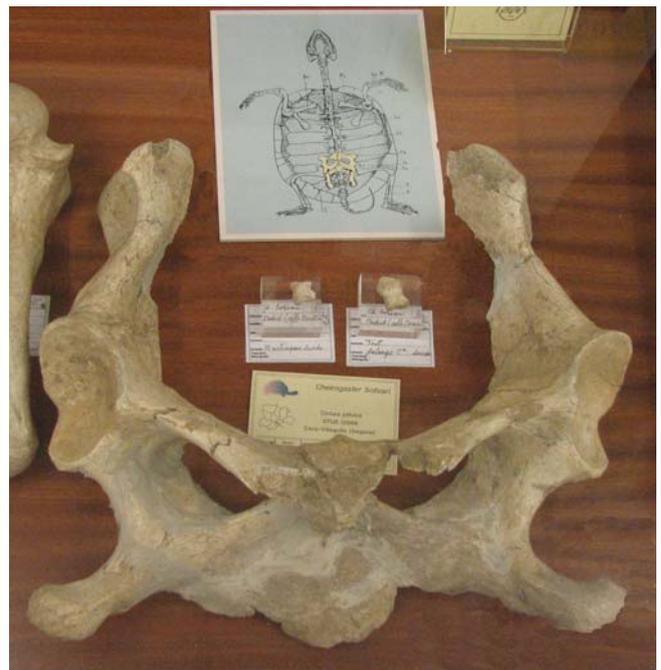
En general, el cuerpo de la tortuga estaba cubierto por escamas como corresponde a un reptil. Como ya se ha visto, cuando se sienten amenazadas, las tortugas Criptodiras repliegan la cabeza y las patas dentro del caparazón. Aquellas zonas de las extremidades que quedan expuestas están provistas de unos escudos dérmicos fuertes a modo de una coraza flexible. Estos escudos se denominan huesos crurales aunque como se ha mencionado son piezas dérmicas. Poseen una forma más o menos circular que se han conservado en algunos casos (véase la Figura 17)



**Figura 17.** Fósil de *Cheirogaster bolivari* que está expuesto en el Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid en Alcalá de Henares. El espaldar no está en muy buen estado pero en este fósil se han conservado las piezas dérmicas que protegían la parte externa de las extremidades (huesos Crurales)

#### 6.- La cintura pélvica.

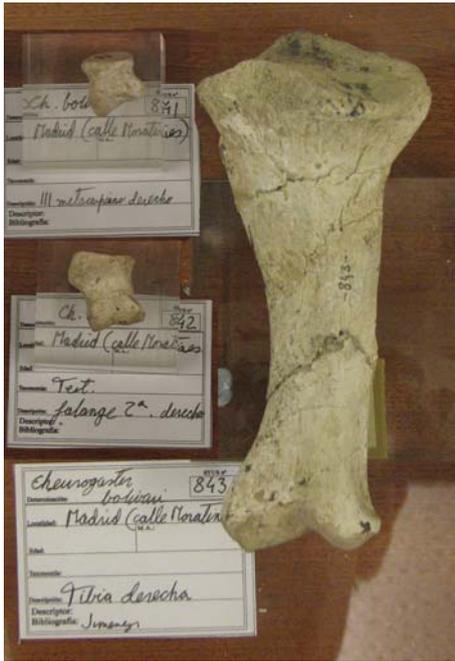
Al igual que la cintura escapular, la cintura pélvica es interna y, en *Cheirogaster bolivari* no está soldada ni al espaldar ni al peto, sino que se une con ambos de un modo no rígido. Está formada por dos pares de huesos Ilión, Isquion y Pubis. En la confluencia de los tres se encuentra el acetábulo para la articulación del fémur.



**Figura 18.** Cintura pélvica completa que se conserva en la Sala de las Tortugas, Salamanca.



## 7.- Las extremidades posteriores.



**Figura 19.** Tibia y huesos de las manos; Sala de las Tortugas, Salamanca.

Son algo más cortas que las extremidades anteriores. El fémur presenta una cabeza articular robusta en posición perpendicular al eje del hueso, siendo su forma de «S» más acentuada que la del húmero. La tibia y peroné son cortos, de aproximadamente la mitad de longitud que el fémur pero las superficies articulares son robustas como puede apreciarse en la Figura 19. Las manos y los pies tienen 5 dedos cortos. Las primeras falanges son delgadas en el centro y con superficies articulares muy anchas. Las segundas son casi tan largas como anchas. *Cheirogaster* tenía los dedos rematados con unas uñas largas y muy fuertes.

## 8.- La cola.

Se han descrito restos con 18 vértebras caudales casi consecutivas encontradas en un ejemplar de Arévalo y que suponen unos 20 cm de longitud. Faltaban las de la punta de la cola y algunas de la base. De esto se deduce que la cola de *Cheirogaster* era larga y se estrechaba poco a poco. Las vértebras que la componen son procélicas.

## CLASIFICACIÓN

A continuación se detalla la clasificación detallada y su significado:

. Reino Animalia. Sus células tienen membrana nuclear, mitocondrias, carecen de cloroplastos, y su desarrollo incluye el proceso de meiosis, digestión interna y sistema nervioso.

- . Phylum Chordata. Tienen espina dorsal.
- . Subfilum Vertebrata. Tienen esqueleto.
- . Super Clase Tetrápoda. Tiene cuatro patas.

. Clase Reptilia. Se reproducen mediante huevos que no dependen del agua como ambiente circundante

para su desarrollo, tienen respiración aérea mediante pulmones y su cuerpo está recubierto de escamas.

. Subclase Anápsida. No poseen fosas temporales.

. Orden Testudines. Poseen un caparazón óseo que encierra todo su cuerpo de manera que las cinturas escapular y pelviana están en su interior. Cráneo anápsido y sin dientes que han sido sustituidos por un pico córneo.

. Suborden Criptodiras. Repliegan la cabeza en el interior del caparazón mediante la flexión del cuello en el plano vertical de tal modo que adquiere la forma de «S».

Hasta este punto no hay problemas pero la falta de fósiles craneales de tortugas gigantes hace que la clasificación de este grupo a nivel de género y especie sea objeto de constantes discusiones sin que se llegue a un acuerdo que satisfaga a todos los estudiosos. Durante el I Simposium Internacional sobre Quelonios fósiles celebrado en París en 1983 se acordó clasificarlas como pertenecientes al género *Cheirogaster*. La idea fue propuesta por R. Bour y aceptada por E. Jiménez et al con algunas reservas, puesto que se observa que las tortugas del Paleógeno y Mioceno inferior son semigigantes (entre 60 y 80 cm de longitud) mientras que las del Mioceno superior y Pleistoceno alcanzan un tamaño mayor que supera ampliamente el metro de longitud. Así pues todas se engloban dentro del género *Cheirogaster* con la restricción de «sensu lato», es decir, tomando este en un sentido amplio.

Los restos de tortugas gigantes eran conocidos desde mediados del siglo XIX y fue el paleontólogo español Eduardo Hernández Pacheco quien acuñó el nombre de *Testudo bolivari* en 1917, en honor al ilustre entomólogo y director del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, Ignacio Bolívar. Sin embargo la primera descripción detallada sobre las tortugas gigantes del Mioceno de Castilla no fue realizada hasta el año 1935 por José Royo Gómez, quien trabajó sobre los restos de varios caparazones incompletos procedentes de Arévalo, la Ciudad Universitaria de Madrid y Palencia.

En 1938, el paleontólogo francés F. M. Bergounioux define una nueva especie (*Geochelone richardi*), a partir de restos aparecidos en Cataluña. Estos fósiles se suponen oligocénicos y Bergounioux señala algunas diferencias óseas como es el reborde visceral del hueso anterior del peto (el hueso gular).

Sin embargo en 1956, Bataller aclara que la edad de los fósiles catalanes es en realidad miocénica, y más tarde en 1982, Jiménez & Carbajosa señalan que las diferencias óseas a las que aludía Bergounioux son debidas a diferencias de sexo, o sea, dimorfismo sexual y que por tanto todas las tortugas terrestres gigantes del Mioceno de la Península Ibérica corresponden a una sola especie que debe denominarse *bolivari*. Como el holotipo se habían perdido durante la guerra civil, E. Jiménez define en 1984 un neotipo, el espécimen nº 352 que está depositado en La Sala de



las Tortugas en Salamanca, siendo la clasificación precisa actualmente la siguiente:

*Cheirogaster bolivari* (Hernández-Pacheco, E., 1917).

## **Bibliografía**

Cuevas González, J. (2005): *Estado actual de los yacimientos paleontológicos y estratigráficos de los yacimientos aragoneses de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid)*. Coloquios de paleontología ; 55; pp 103-123; Madrid.

Hernández Pacheco, E. (1917): *Hallazgo de tortugas gigantes en el Mioceno de Alcalá de Henares*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural; 17; pp 194-202; Madrid.

Hoyos, M. ; Junco, F.; Plaza, J.M.; Ramírez, A. y Ruiz Sánchez-Porro, J.; (1985): *Geología y Paleontología del Terciario continental de Madrid*. Museo Nacional de Ciencias Naturales; 106p, C.S.I.C.

Jiménez Fuentes, E. (1984): *Quelonios fósiles de Salamanca*. Ediciones Caja de Ahorros y M.P. de Salamanca; 205p; Salamanca.

Jiménez, E. ; Acosta, P.; Fincias, B. & Martín, S. (1986): *Un nuevo ejemplar de tortuga gigante del Mioceno de Arévalo (Ávila)*. Studia Geol. Salmanticensis, 23: pp. 313-324

Jiménez Fuentes, E. (2000): *Tortugas gigantes fósiles de la provincia de Segovia. Nueva localidad: Chañe*. Studia Geol. Salmanticensis, 36: pp. 109-115. Salamanca.

Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC (1993): *Madrid antes del hombre*; pp 21-31; Comunidad de Madrid; Madrid.

Morales, J. (2000): *Patrimonio Paleontológico de la Comunidad de Madrid*. Arqueología, Paleontología y Etnología, volumen 6. 371pp. Comunidad de Madrid.

Meléndez, B. (1970): *Paleontología. Tomo II*. Ediciones Paraninfo; Madrid

Royo Gómez, J. (1935): *Las grandes tortugas del Seudodiluvial castellano*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural; 35; pp 463-486; Madrid.

«Sala de las tortugas» en <http://www.usal.es/ciencias/>, o bien navegando con «Sala de las Tortugas»

«Turtle,» Microsoft® Encarta® Online Encyclopedia 2007

<http://encarta.msn.com> © 1997-2007 Microsoft Corporation. All Rights Reserved.

<sup>1</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC. 1993. Madrid. «MADRID ANTES DEL HOMBRE», pp 21-22

<sup>2</sup> La caliza de páramo se formó en un mosaico de lagos y lagunas de agua dulce, parecido a las actuales Tablas de Daimiel. Estas rocas se originaron por acumulación de restos calcáreos de algas, moluscos gasterópodos y ostrácodos, así como por carbonato cálcico procedente de la actividad de cianobacterias.

<sup>3</sup> Resedimentación: desplazamiento sobre el sustrato, antes de ser enterrados, de restos previamente acumulados.

<sup>4</sup> El criterio vigente para la clasificación de los reptiles es el que se basa en la presencia y posición de las llamadas fosas temporales. Son las aberturas que pueden aparecer en la parte lateral del cráneo, por detrás del ojo. No está clara la utilidad de estas fosas pero lo que sí es cierto es que cada línea evolutiva de los reptiles siguió un patrón distinto. Los anápsidos no tienen fosas temporales.

<sup>5</sup> Los diápsidos tiene dos fosas temporales.

<sup>6</sup> Excepto el cocodrilo actual. Es el único reptil que existe hoy en día (y que se sepa) que tiene un corazón con cuatro cavidades como los mamíferos.



# **MINERALES NATURA S.L.**

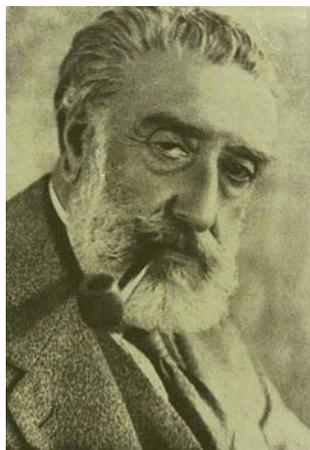
CIENCIAS NATURALES  
Pedro Anibal - Alvarez

**Minerales - Fósiles - Conchas Marinas - Insectos  
Mariposas - Colecciones Escolares - Gemoterapia**

TIENDA: Escalinata, 9 (Metro Opera) - Tfno./ Fax: 91 541 12 46 - 28013 MADRID  
ALMACEN: Escalinata, 8 (Metro Opera) - Tfno./Fax: 91 541 12 46 - 28013 MADRID



# *Galería de Paleontólogos*



## **Eduardo Hernández Pacheco**

Eduardo Hernández-Pacheco y Estaban nació en Madrid en 1872. De padres extremeños cursó el bachillerato en Badajoz y se decidió seguir la carrera universitaria de Ciencias Naturales, en Madrid y Barcelona alcanzando el doctorado en 1896 con una tesis sobre la Sierra de Montánchez, dirigida por José Macpherson profesor suyo. En esos años entra en contacto con un ambiente científico excepcional, en el que los estudios naturalistas han adquirido un notable dinamismo gracias a la revitalización promovida por asociaciones científicas como la Sociedad Española de Historia Natural, fundada en 1871, y a los geólogos José Macpherson, Francisco Quiroga y Salvador Calderón. Estos geólogos estaban considerados entre los mejores cultivadores de la geología en la España de finales del diecinueve y habían contribuido notablemente a la modernización de esta disciplina, incorporando las novedades técnicas y teóricas que surgían en Europa.

En 1899 obtuvo una cátedra de Instituto de Segunda Enseñanza que le llevó a Córdoba en donde empezó a desarrollar su vocación paleontológica con una serie de estudios sobre Sierra Morena y en la cuenca del Guadalquivir. Ese mismo año es nombrado miembro de la Academia de Ciencias, Letras y Artes de Córdoba y descubre el yacimiento de arqueociatos de Las Ermitas.

En 1907 la Real Sociedad Española de Historia Natural le envía a una expedición a las Islas Canarias orientales para estudiar la vulcanología de Lanzarote.

En 1910 obtuvo la cátedra de Geología de la Universidad de Madrid, cargo que llevaba consigo la jefatura de la Sección de Geología y Paleontología estratigráfica del Museo de Ciencias Naturales, en este mismo año de 1910 es becado por la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (J.A.E.), para realizar estudios en Francia, Bélgica, Suiza e Italia.

En 1912 se creó la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas con sede en el actual Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, donde tanto D. Eduardo Hernández-Pacheco como D. Enrique de Aguilera y Gamboa, desarrollaron una ingente labor publicando gran número de artículos.

En 1926 participó activamente en el XIV Congreso Geológico Internacional celebrado en Madrid, como vocal de la Comisión organizadora, en la que se editó un libro de síntesis sobre Sierra Morena y la llanura del Guadalquivir.

En 1934 es nombrado Jefe de la Expedición a Ifni publicando sus resultados en la Real Sociedad Geográfica de Madrid.

Entre 1940 y 1941, realizó varias expediciones a los territorios españoles en África.

Los últimos años de su vida los pasó retirado en Alcuéscar, provincia de Cáceres donde falleció en 1965 a la edad de 93 años.

Eduardo Hernández-Pacheco, siguiendo a sus maestros, mantuvo una permanente inquietud científica que le llevó a trabajar en diferentes áreas y a buscar la síntesis y la visión de conjunto. Publicó gran cantidad de trabajos sobre Historia Natural, aunque la mayor parte fueron sobre geología, prehistoria y paleontología. La importancia de sus trabajos en cada una de estas disciplinas hace que se le pueda considerar tanto paleontólogo



como geólogo o geógrafo dada la cantidad pero sobre todo la calidad de sus trabajos en estos campos. Sus primeras publicaciones paleontológicas se centran en invertebrados (arqueociatos) e icnofósiles paleozoicos, para pasar posteriormente al estudio de vertebrados terciarios, campo en el que centraría la mayor parte de su actividad paleontológica, destacando sus estudios sobre yacimientos de mamíferos y grandes tortugas terrestres del terciario encontrados en las dos Castillas, Madrid y Teuel y la datación de estos, Entre sus reconocimientos cabe destacar que en 1938 fue nombrado Académico del Instituto de España y en 1952 Doctor *honoris causa* por la Universidad de Toulouse (Francia).

## Bibliografía

Hernández Pacheco, E. 1908. *Consideraciones respecto a la organización, género de vida y manera de fosilizarse de algunos organismos dudosos de la época silúrica y estudios de las especies de algas y huellas de gusanos arenícolas del silúrico inferior de Alcuéscar (Cáceres)*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (8), 75-91.

Hernández Pacheco, E. 1914. *Los vertebrados terrestres del Mioceno de la Península Ibérica*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

Hernández Pacheco, E. 1915. *Geología y Paleontología del Mioceno de Palencia*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

Hernández Pacheco, E. y Obermaier, H. 1915. *La mandíbula neandertaloide de Bañolas*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

Hernández Pacheco, E. 1917. *Hallazgo de tortugas gigantes en el Mioceno de Alcalá de Henares*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

Hernández Pacheco, E. 1918. *Le cambrien de la sierra de Córdoba (Espagne)*. Comptes rendu de l'Académie des Sciences de Paris.

Hernández Pacheco, E. 1918. *Les Archaeocyatidae de la sierra de Córdoba (Espagne)*. Comptes rendu de l'Académie des Sciences de Paris.

Hernández Pacheco, E. 1921. *La llanura manchega y sus mamíferos fósiles (yacimiento de la Puebla de Almoradiel)*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas..

Hernández Pacheco, E. 1921. *Nuevos yacimientos de vertebrados miocenos y deducciones de orden paleofisiográfico*. Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Oporto.

Hernández Pacheco, E. 1921. *El yacimiento de mamíferos cuaternarios de Valverde de Calatrava y edad de los volcanes de Ciudad Real*. Real Sociedad Española de Historia Natural (Tomo 50 aniversario).

Hernández Pacheco, E. 1923. *La vida de nuestros antecesores paleolíticos según los resultados de las excavaciones en la caverna de La Paloma (Asturias)*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.

Hernández Pacheco, E. 1927. *Paleontología*. Ed. Instituto Gallach. Barcelona. 132 p.

Hernández Pacheco, E. 1927. *Restos fósiles de grandes mamíferos en las terrazas del Manzanares y consideraciones respecto a éstas*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

Hernández Pacheco, E. 1930. *Las grandes fieras de los yacimientos paleontológicos de Concud (Teruel)*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

Hernández Pacheco, E. 1930. *Un suido y un nuevo cérvido del yacimiento paleontológico de Concud*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.



# LA SALA DE LAS TORTUGAS (SALAMANCA)

Autor: Pablo A. García Gil

## INTRODUCCIÓN

Salamanca es una ciudad conocida mundialmente por su rico patrimonio artístico. Además alberga una de las colecciones más importantes del mundo de tortugas fósiles, fruto de la ilusión y el trabajo de muchas personas e instituciones desde hace más de 40 años. Se trata de un tesoro paleontológico de primer orden, con ejemplares auténticos y únicos en el mundo. En la Sala están representadas siete familias de tortugas, tres de cocodrilos y contiene numerosas piezas de mamíferos, sobre todo del grupo de los Perisodáctilos<sup>1</sup>.

## HISTORIA

La Sala de las Tortugas fue inaugurada oficialmente, según datos del profesor Emiliano Jiménez Fuentes, su fundador, el 31 de mayo de 1987, para exponer públicamente la colección atesorada desde 1965 mediante hallazgos, excavaciones y donaciones.

Su intención fue reunir la información sobre los quelonios de toda España, no sólo de la cuenca del Duero. La idea fue acogida muy favorablemente. Fue decisivo su prestigio internacional ya que, por entonces, dicho profesor era el vicepresidente de la World Paleochelonological Association y pieza fundamental en el I Congreso Mundial sobre Quelonios Fósiles, celebrado en París en 1983, cuyas comunicaciones fueron publicadas en Salamanca, en su revista *Studia Palaeocheloniologica*.

Se ubicó en el Aula Alfonso X del famoso claustro universitario, lugar obligatorio de paso para todos los visitantes de Salamanca, de modo que se estima en más de 100.000 personas al año las que supieron que había otros fósiles además de los manoseados dinosaurios. En 2000 se llevó a la Facultad de Ciencias, donde hoy se encuentra.

## CONTENIDO

La colección de tortugas representa una muestra de la fauna que habitó en la Meseta Castellana durante la Era Terciaria, aunque hay algunos ejemplares más antiguos.

Llama la atención que aunque esta Era se ha denominado la Edad de los Mamíferos, en algunas zonas de la cuenca del río Duero, los fósiles mejor representados son los quelonios (reptiles). Esto fue así por varios motivos:

-Por un lado los quelonios y cocodrilos fueron capaces de superar la crisis del final del Mesozoico con su gran extinción y fueron capaces de ocupar algunos de los nichos ecológicos que habían quedado libres con la desaparición de los dinosaurios.

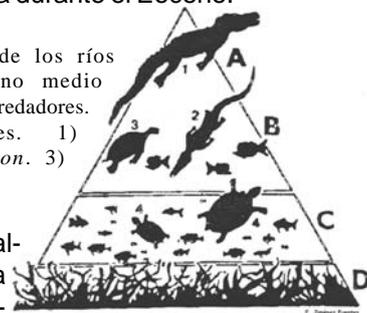
<sup>1</sup> Perisodáctilo (del griego «dedo impar»), término que se aplica a cualquier miembro de las tres familias de los mamíferos con pezuña: los caballos, los tapires y los rinocerontes.



El «Tricráneo». Tres cráneos de *Allaeochelys jimenezii* procedentes del Eoceno medio de Zamora.

-Por otro lado fueron capaces de adaptarse perfectamente a las condiciones que imperaban en esta zona. La cuenca del Duero era un mundo tropical formado por selvas que bordeaban grandes ríos en un ambiente muy cálido y húmedo. En la Figura 1 se ha representado la pirámide trófica que existía durante el Eoceno.

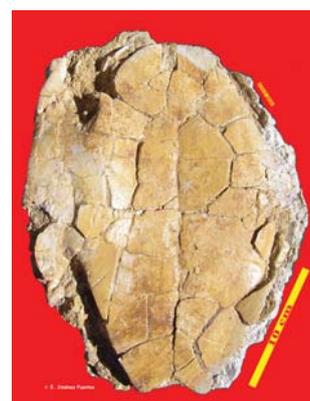
**Figura 1.** Pirámide trófica de los ríos zamoranos durante el Eoceno medio inferior. A) Superpredador. B) Predadores. C) Fitófagos. D) Vegetales. 1) *Asiatosuchus*. 2) *Diplocynodon*. 3) *Allaeochelys*. 4) *Neochelys*.



Esta situación se va alterando progresivamente a lo largo del Terciario conforme las condiciones del entorno van cambiando y los mamíferos se van desarrollando y adaptando a las nuevas condiciones de vida. Todo este mundo tropical, cambiante y plural desapareció parcialmente a mediados del Terciario y definitivamente de España y Europa al sobrevenir el choque climático cuaternario.



**Figura 2.** Holotipo de *Neochelys zamorensis*. Es un pequeño pelomedúsido del Eoceno medio de Zamora (Foto: E. Jiménez)



**Figura 3.** *Neochelys salmanticensis*. Peto procedente del Eoceno medio de Zamora (Foto: E. Jiménez)

## ¿Qué sobresale en La Sala de las Tortugas?

Tres son los aspectos que llaman la atención del visitante cuando pasea entre las vitrinas de la Sala: los holotipos, los cráneos y las tortugas mordidas.



-Un holotipo es el ejemplar en el que el paleontólogo se ha basado para definir una nueva especie. Es por tanto una pieza única e insustituible que debe conservarse celosamente para la posteridad. Pues bien, en la Sala se guardan los holotipos *Neochelys zamorensis*, *Neochelys salmanticensis* y *Durochelys arribasi*, de la familia de los Pelomedúsidos que son tortugas fluviales que aún viven en América del Sur, Centroáfrica y Madagascar. De los Caretoquélidos, raras tortugas hoy habitantes de Nueva Guinea, están los holotipos de *Allaeochelys casasecai* y *A. jimenezi*. Se pueden ver también el neotipo de *Cheirogaster bolivari*, y otras piezas de gran importancia histórica: el testudínido *Asturichelys multicostatus* y otros holotipos caídos en desuso por sinonimia.

-Sabemos que los cráneos son piezas raras por lo escaso de sus hallazgos. En la colección hay ¡más de 40! repartidos entre las especies de tortuga *Allaeochelys*, *Neochelys*, *Trionyx* y *Cheirogaster*. Alguno de ellos son los únicos del mundo que se conservan.

-Los individuos de tortuga lisiados o con signos de depredación son abundantes lo que refleja las duras condiciones del entorno donde vivían. Encontramos tortugas que fueron masticadas por una mandíbula con dientes punzantes y cónicos. El caparazón aguantó el envite pero con algunas señales de por vida: varias perforaciones y algunas placas hundidas. Al final la tortuga fue escupida por el agresor (Figura 4). El ataque fue seguramente producido por un ejemplar del cocodrilo *Diplocynodon*, del que se exponen en la sala tres cráneos y numerosas mandíbulas.



**Figura 4.** *Podocnemis carbajosa*, pelomedúsido mordido por un cocodrilo *Diplocynodon*. Procede del Eoceno medio de Salamanca (Foto: E. Jiménez)

Otras tortugas salieron peor paradas. El «Eunuco» es un ejemplar de Pelomedúsido que muestra nada menos que tres mordeduras: la primera le provocó un hundimiento debido a que los dientes del agresor no eran punzantes sino triturantes, la segunda solo le hizo unos arañazos y la tercera consiguió arrancarle la parte trasera de su caparazón. Se llevó la cola y la pata izquierda, quedando la marca de cuatro dientes en la herida. Lo increíble es que el animal sobrevivió. El causante de este ataque pudo ser el cocodrilo *Asiatosuchus*, del que también pueden observarse un cráneo y una mandíbula, únicos en España, procedente del Eoceno de Zamora.

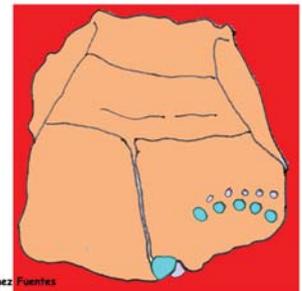


**Figura 5.** El «Eunuco», pelomedúsido mordido y arañado por un cocodrilo *Asiatosuchus*. Detalle. Eoceno medio (Zamora) (Foto: E. Jiménez)

Tampoco las grandes tortugas terrestres estaban a salvo de los ataques de los depredadores. En la Sala se conserva una «pequeña» —el animal debió medir más de 1,4 m de longitud— pieza de un caparazón que sin embargo nos cuenta una tremenda historia. Se trata de la pieza de la Figura 7 que es una placa periferal del caparazón. En ella se conservan la impresión de una mandíbula de un predador; se observan las perforaciones de los incisivos y la del canino pero se puede deducir que debido a la separación entre ambas marcas (diastema), las impresiones fueron producidas por un Carnívoro. Pero hay más, las impresiones corresponden a la mandíbula superior del mamífero y están en la parte inferior del caparazón lo que significa que o bien la tortuga estaba muerta patas arriba o estaba viva y había sufrido un vuelco. En este caso se encontraba en un serio apuro...



**Figura 6.** Cráneo de *Asiatosuchus*. Eoceno medio. Zamora (Foto: E. Jiménez)



**Figura 7.** Periferal de *Cheirogaster bolivari* con marcas de dientes de un Carnívoro. Mioceno medio. Zamora (Foto: E. Jiménez)

Podríamos seguir contando y admirando un sin fin de detalles interesantes: el tricráneo (un bloque que contiene tres cráneos de *Allaeochelys* y que sin duda es una de las joyas de la Sala), el coprolito pisado por un ave, las pseudotortugas de granito y aragonito, las tortugas gigantes terrestres -*Cheirogaster bolivari*- que se han tratado en otra sección de esta revista, y tantos detalles más.

Visitar la Sala de las Tortugas es visitar el pasado de la Meseta Castellana y sin duda no decepcionará al visitante.

## LOCALIZACIÓN Y HORARIO DE VISITAS

El museo está localizado en el vestíbulo y los sótanos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca, siendo su dirección exacta: Plaza de la Merced 1; 37.008 Salamanca. Las visitas pueden solicitarse en Secretaría de dicha Facultad (923 294452) o bien por correo electrónico (ejimenez@usal.es).

## Bibliografía

Jiménez Fuentes, E. (2002): *Sala de las Tortugas*. Colección Nuestros Museos y Salas de exposiciones. Instituto Municipal de Educación. Ayuntamiento de Salamanca; 16p; Salamanca.

Internet: Ver <http://www.usal.es/ciencias/>, o bien navegando con «Sala de las Tortugas»



## El cheirotherium del museo de Molina de Aragón -Historia de sus huellas.

Por Julian Martinez Marti

Fotos: M. Valero Tello y A. Martinez Guillen

La primera huella de Cheirotherium datada en España se encontró en las areniscas triásicas de Rillo de Gallo (Guadalajara) y, como en todos los descubrimientos, juega la casualidad un importante papel.

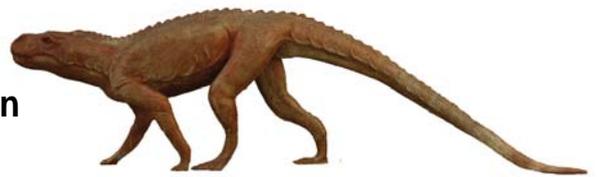
En el verano de 1.896, se encontraba de vacaciones en Molina -su pueblo- el catedrático e historiador D. Anselmo Arenas López. Se acercó al vecino pueblo de Rillo para comprobar «in situ» la importancia de las ruinas de Molina la Vieja y su posible vinculación con la ciudad romano-visigoda de Ercábica, de la que estaba preparando un trabajo (que después publicó) sobre los límites de su obispado.

Lo acompañaba un vecino del lugar(1), el cual le contó que, años atrás, había encontrado cerca de allí la pata de piedra de un «bicho» y que él habría sacado el animal entero si hubiera tenido tiempo y ayuda.

Conocedor por sus estudios y aficiones de la naturaleza del terreno -arenisca triásica roja- comprendió el Sr. Arenas que podría tratarse de un fósil muy interesante e indagó sobre su paradero. El labriego le contó que lo había regalado a D Luis Díaz Millán, hijo del Marques de Embid, que residía en Madrid. Hizo las gestiones oportunas para que lo viera el peritísimo catedrático D. Salvador Calderón, quien inmediatamente conoció que se trataba de un Cheirotherium. Fue corroborada la clasificación por otros científicos especialistas y se hicieron copias en escayola que fueron enviadas a varios *museos* de España y Europa.

El Sr. Calderón dio cuenta del hallazgo a la Sociedad Española de Historia Natural. Se recoge este hecho en el acta de su reunión de 17 de enero de 1.897, reunión que presidía por primera vez el eminente sabio D. Santiago Ramon y Cajal. La sorpresa fue general (asi to cuenta la crónica) por tratarse del PRIMER EJEMPLAR hallado en España y muy contados en el extranjero. La piedra era de arenisca *roja con* pintas *de* mica, piritas y carbonato de cobre. Las medidas de la huella, 18 x 13 cms. No presentaba vestigios de uñas, Pero sí grandes papilas.(2)

Por haber nacido yo en Rillo, es normal que haya sentido siempre curiosidad por la historia natural y humana del lugar y haya procurado «coleccionar» todo lo publicado sobre geología e historia que ha caído en mis manos y contrastarlo en el terreno en mis frequentísimos paseos por el campo, imaginando, como todos los aficionados lectores de esta revista, las invasiones y regresiones marinas, las cuencas fluviales, sedimentaciones, erosiones, presiones, erupciones y demás fenómenos que dieron origen a los terrenos que



pisamos y los animales que los habitaron y dejaron su huella en ellos. Fue casi una obsesión durante más de veinte años, encontrar, coma mi paisano, otra pata de piedra en el lugar que él la encontró. Con mis hijos he recorrido decenas de veces estos parajes, mirando estrato par estrato y piedra par piedra, para ver si en alguna encontrábamos la tan deseada huella. Ya habíamos perdido la esperanza. Un día, al regresar a casa, vi que se había desprendido un gran trozo de piedra de los últimos estratos del Buntsandstein, próximo ya a las rocas carbonatadas del Muschelkalk. Sentí que debía subir a verlo. Paré el coche y lo hice: ALLÍ ESTABAN!, NO UNA PATA, LAS CUATRO Y MÁS!. La iluminación era la perfecta para que la sombra marcara con claridad y se viera desde lejos el relieve de los dedos. Eran las once de la mañana del día 8 de Abril del 2006, ciento diez años después de que D. Anselmo visitará este lugar. Lo que Ja naturaleza había guardado celosamente durante doscientos millones de años tenía yo el privilegio de ser el primero en verlo.

Llevé a mi hijo para que hiciera las primeras fotos y pensamos que no debíamos ser los únicos en contemplarlas. Después comuniqué el hallazgo al agente medio-ambiental M. Valero y creímos urgente su traslado a] Museo de Molina de Aragón. pues corrían el peligro de ser destruidas o terminar en alguna colección particular. Manolo Monasterio, alma del museo, se en-



Figura 01.- Huellas de cheirotherium



cargó, con la diligencia que lo caracteriza, de traer la grúa y el camión para trasladarlas.

La roca es idéntica a la descrita para la primera huella y las medidas algo mayores, tal como se aprecia en la figura 01.

En la figura 02 se muestra el conjunto.

Del animal se sabe poco; el Triásico es pobre en fósiles y sólo quedan huellas de las pisadas. A. González (3) lo llama *Cheirotherium Gallicum* y dice que medían dos o tres metros. El terreno en el que vivía sería una cuenca fluvial en una de las regresiones del Mar de Tetis (fig. 1).

Aunque he leído bastante sobre el tema, como simple aficionado, me parecería pretencioso y pueril enfrascarme en cuestiones más profundas sobre estratigrafía o cronología. Para el que quiera saber más, después de las notas de pie de página enumero alguna de las publicaciones que conozco sobre el tema.

NOTAS:

- (1) Es una pena que la crónica no diera el nombre del descubridor, pero creo que se trataba de Pablo Martínez.
- (2) Resumen de lo publicado en el periódico «La Crónica» (14-8-1 897)
- (3) Agustín González Martínez -.Paleontología de Guadalajara.- 1984.Pág. 25

PARA SABER MÁS

C. Virgili.-*Consideraciones generales sobre el Triásico y el Pérmico en la Cordillera Ibérica y bordes del Sistema Central.*

Amparo Ramos, Alfonso Sopena y otros.-*Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 56, NO. 6, November, 1986, pag. 862-75

Sánchez-Maya, A Muñoz, A Ramos y A sopeña.- *Arquitectura fluvial de las «Areniscas del Río Arandilla «Triásico de Molina de Aragón.-Estudios geol.,45: 195-204 (1989)*

Araceli Muñoz, Amparo Ramos y otros.- *Evolving fluvial architecture during a marine transgression: Upper Buntsandstein, Triassic, central Spain.- Sedimentary geology,75(1992) pag. 257-281.*



figura 02.- Conjunto de huellas

 <p><b>ANDALUCIA MINERALES</b> NDUMINER</p> <p><b>MINERALES Y PEDRERÍA</b> DECORACIÓN - MONTAJES DISEÑO - COLECCIÓN - ESCOLAR</p>	
<p>Teléfono: +34 954834387 - Móvil: 687747874 - Ctra. Ecija-Herrera, Km. 1 - 41400 ECIJA (Sevilla) - España <a href="http://www.andaluciaminerales.com">http://www.andaluciaminerales.com</a> - e.mail: <a href="mailto:contacto@andaluciaminerales.com">contacto@andaluciaminerales.com</a></p>	



# Mi primera excursión Paleontológica

Autor: José Manuel Velasco Pérez

El presente artículo, tiene una doble finalidad. Por una parte (la más importante), mostrar mi agradecimiento y admiración a Pablo Muñoz por las enseñanzas que nos ha transmitido tanto a mi como a otros socios de Nautilus, y en segundo lugar comentar lo aprendido en una de las excursiones que preparaba; la excursión a La Magdalena en la provincia de León.

Recuerdo que fue en el mes de junio de 1993 cuando mi familia al completo nos apuntamos por primera vez a una excursión paleontológica-turística, como gustaba llamarlas. Era una más de las actividades a las que dedicaba su vida el geólogo Pablo Muñoz; la divulgación de la Geología y de nuestro patrimonio minero-paleontológico.

Con el transcurrir de los años, esta excursión fue denominada como la clásica paleontológica «León». Siempre se realizaba al final de la temporada, entre junio y julio, sin duda por la influencia de la meteorología en la zona,

En el transcurso de la excursión se compaginaban acertadamente todos aquellos aspectos de los que se podía disfrutar. No faltaban detalles turísticos, gastronómicos o simplemente paisajísticos.

La visita más importante de la excursión, era a las escombreras de pizarras con helechos fósiles, siendo estas, dentro de la Cordillera Cantábrica las más interesantes por cuanto a la cantidad y calidad de los mismos. Estos yacimientos se encuentran asociados habitualmente a las escombreras de carbón de la cuenca «asturleonés», pero posiblemente el de La Magdalena, aun siendo uno de los más meridionales, es el que presenta mayor calidad en cuanto a grado de conservación y número de especies. Se encuentra sobre unas antiguas escombreras, de una explotación de carbón y en calicatas de investigación. El yacimiento tiene una edad correspondiente al Carbonífero superior (Estefaniense B), siendo discordante con las especies suprayacentes. Las capas de carbón se intercalan entre conglomerados, grauvacas (areniscas grises) y lutitas. Estos materiales se depositaron hace 290 millones de años, en

una cuenca continental límnic (lagunar) de tipo parálico, es decir, próxima a la costa, con una abundante y tupida vegetación de helechos arborescentes, siendo semejante a los actuales manglares o regiones pantanosas existentes en las costas norteamericanas del caribe u otras zonas de África y sureste asiático.



En las pizarras negras encontraremos bellos ejemplares con un intenso brillo debido a estar recubiertos por una fina película de grafito, pero lo más significativo del yacimiento son los que encontramos en fondos de color ocre (presencia de óxidos de hierro) y sobre fondo claro (argilitas grises y cremas), que aparecieron al construir la autopista y que dieron lugar a nuevas investigaciones sobre yacimientos del carbón, cuyos trabajos pusieron al descubierto magníficos ejemplares (Figura 1).

## La flora carbonífera

Una tupida vegetación compuesta por árboles de gran porte (hasta 30 m de altura), helechos arborescentes (pteridófitas) y especies herbáceas, impedía la penetración de la luz y condiciona un ambiente fuertemente reductor, en el que las raíces y partes bajas sumergidas en las aguas casi estancadas, se descomponían en un proceso de putrefacción y posterior carbonización, por la pérdida gradual de oxígeno en los compuestos orgánicos y progresivo enriquecimiento en carbono. Los sedimentos finos de la ciénaga pantanosa y la mínima energía del medio, permite la magnífica conservación y fosilización de las estructuras vegetales con gran detalle (Figura 2).



Figura 2. Un bosque hullero en el Carbonífero superior.

De los gruesos troncos de las plantas de porte arbóreo, solo suelen conservarse trozos de corteza con cicatrices foliares características, cuyo diseño repetitivo permite clasificarlas en distintos parataxones (géneros morfológicos correspondientes a zonas parciales del ejemplar). Los más abundantes son: *Calamites*, *Sigillaria* y *Lepidodendron*. El follaje de estas plantas, se encuentra normalmente aislado de los troncos, sien-



do las *Annularias* las más abundantes, que constituyen las hojas de los *Calamites*.

Las *pteridófitas* (criptógamas vasculares) con follaje de helecho, son conocidas bajo diferentes nombres (parataxones) con características similares a los actuales helechos. Su clasificación es para-taxonómica, es decir, se basa en partes aisladas de la planta, tales como «hojas» y «troncos», ya que rara vez aparecen fosilizadas en su integridad. Tenían también porte arbóreo, aunque menor que los anteriores y las características morfológicas entre las distintas «especies», permite una fácil clasificación «de visu» (Figura 3). Los más abundantes son: *Alethopteris*, *Neuropteris* y *Pecopteris*.

El apelmazamiento del conjunto de estas plantas con predominio de troncos, da lugar a los lechos o capas de carbón (Hulla y/o Antracita).

El conjunto de la flora de un yacimiento, no siempre permite una correcta datación del mismo, por lo que normalmente se realiza su estudio a partir de las esporas y otros microorganismos, mediante microscopía y otras técnicas (Palinología), permitiendo elaborar una estratigrafía sumamente afinada, imprescindible para la correcta explotación de los yacimientos de carbón.

#### La formación del carbón

El carbón mineral es el resultado de la transformación de restos vegetales acumulados en el fondo de pantanos, lagunas o deltas fluviales, por la acción de bacterias anaerobias que provocan la descomposición de los hidratos de carbono (proceso de carbonización), principalmente la celulosa y la lignina, componentes esenciales de los vegetales, con el consiguiente enriquecimiento en carbono.

Existen distintos tipos de carbones, que se clasifican en función de su contenido en carbono y sustancias volátiles

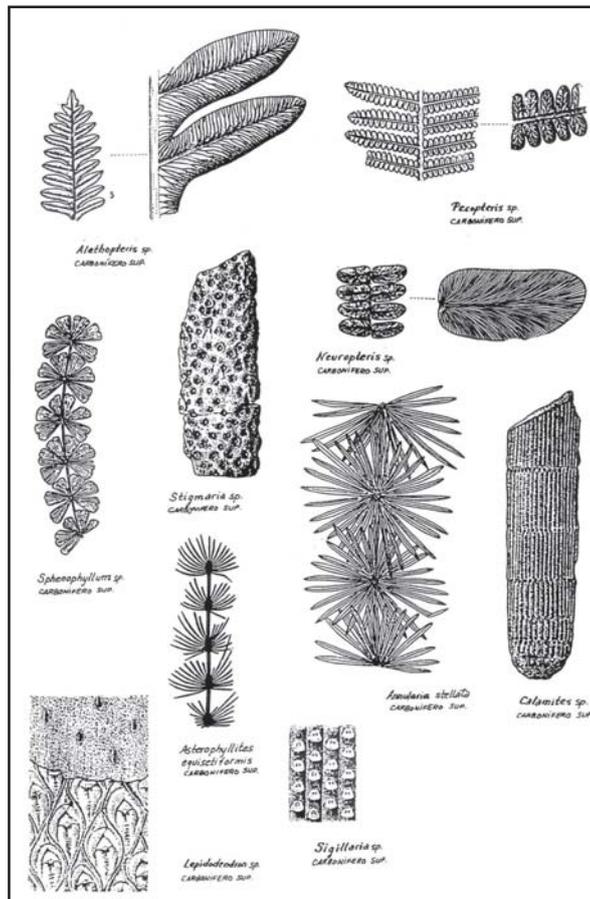


Figura 3. Plantas fósiles del Carbonífero superior

-Antracita. Es el de mayor contenido en carbono (90-95 %) y menor proporción de volátiles, debido a lo cual es menos contaminante. Se forma a partir del metamorfismo de la hulla, por altas presiones y temperaturas. Está ligada al periodo carbonífero.

-Hulla. Su contenido en carbono oscila del 75 al 90 %. Se forma en el Carbonífero por la descomposición de los bosques en zonas pantanosas (manglares) formados por criptógamas vasculares (*Sigillarias*, *Lepidodendron*, *Calamites* y Helechos arborescentes).

-Lignito. Con un 60-75 % en carbono, tiene un alto contenido en compuestos volátiles, sobre todo gases sulfurosos, por lo que es muy contaminante, produciendo la tristemente conocida «lluvia ácida». Se ha formado durante el

Cretácico y Terciario, con frecuencia en la desembocadura de los ríos, por la acumulación de restos de Coníferas.

-Turba. Con el menor contenido en carbono (45-60 %) y mayor de volátiles. Se forman en el Cuaternario y en la actualidad, a partir de restos herbáceos en lagunas de poca profundidad en regiones de abundante pluviosidad y temperaturas medias bajas.

#### Bibliografía

- Gómez Alba, J.A.S., 1988, Guía de campo de los Fósiles de España y Europa, Ed. Omega S.A., Barcelona, pp. 925.
- López Martínez, N., 1986, Guía de campo de los Fósiles de España, Ed. Pirámide, Madrid, pp. 479.
- Richter, A. E., 1989, Manual del coleccionista de Fósiles, Ed. Omega S.A., Barcelona, pp. 460.





# Boletín de Suscripción.

**Asociación Paleontológica Alcarreña NAUTILUS**

Juan José García Arnedo  
C/ San Felipe Neri, nº 2º-A 28013 Madrid  
e-Mail jjgarcia@subastasyconcursos.com

**FOTO**

Deseo afiliarme a la Asociación Paleontológica Alcarreña "NAUTILUS" por importe de 12 euros anuales, para lo cual adjunto dos fotografías tipo carné y relleno los datos que me solicitan.

Nombre y apellidos. \_\_\_\_\_

D.N.I. \_\_\_\_\_ Dirección \_\_\_\_\_

C.P. \_\_\_\_\_ Ciudad. \_\_\_\_\_

Provincia. \_\_\_\_\_ País. \_\_\_\_\_

Teléfono. \_\_\_\_\_ E-Mail. \_\_\_\_\_

Codigo Cuenta Cliente (CCC)											
Entidad			Oficina	D.C.	Número de cuenta						

Firma

En..... , a ..... de ..... de 2.00

Nombre y apellidos. \_\_\_\_\_

Dirección. \_\_\_\_\_

C.P. \_\_\_\_\_ Ciudad. \_\_\_\_\_ Provincia. \_\_\_\_\_

Estimados señores deseo hagan efectiva la transferencia por importe de 12 euros anuales y hasta nueva orden a la cuenta abajo indicada a nombre de la Asociación Paleontológica Alcarreña NAUTILUS de Guadalajara.

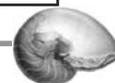
Codigo Cuenta Cliente (CCC)																			
Entidad			Oficina	D.C.	Número de cuenta														
2	1	0	5	0	6	0	0	2	8	0	0	1	2	0	0	9	5	6	6

Firma

En..... , a ..... de ..... de 2.00



**Director:** Juan José García Arnedo. **Redacción:** Juan Carlos Lomas, Rafael Abad Arquer, Pablo A. García Gil, Luís Fernando Real Martín **Maquetación.** Juan José García Arnedo y Rafael Abad Arquer. **Publicidad:** Paco Martín San Martín. **Artículos de:** Pedro Javier Moreno Barahona, Juan Carlos Lomas, Pablo García Gil, José Manuel Velasco Pérez, Rafael Abad Arquer, Luís Fernando Real Martín, Manuel Sánchez Angulo. Tommy Torres Van Bergen, Dori Quesada, David Castellano Marín, Juan José García Arnedo, Julian Martinez Marti. **Asesoramiento Científico:** Emiliano Jimenez Fuentes, Francisco de Sales Córdoba Bravo, Rafael Roldán de la Rúa. **Colaboradores:** Amaya Velasco Arquer, José Damián García Rivero, María Dolores García Expósito, M. Valero Tello, A. Martinez Guillen, Manuel Hombrados. **Imprime:** Artes Gráficas Juan José Redondo, **Deposito Legal GU-162-2005. ISSN 1885-4931**  
© 2.007/08 Asociación Paleontología Alcarreña NAUTILUS (Guadalajara)



# Sumario

-Editorial.

-Cómo diferenciar algunos de los géneros más frecuentes de «helechos» del Estefaniense cantábrico.

-El Armagedón prehistórico (o cuando casi murió el planeta).

-Los ammonites heteromorfos.

-En el taller de Arquímedes. Conceptos básicos de hidrostática.

-Arquímedes entre calamares y plastelina. Flotabilidad de los ammonites heteromorfos.

-Cefalópodos de la Sierra de Llevant Mallorca.

-Los seres humanos no venimos del mono.

-El pérmico en la provincia Guadalajara.

-Historia de los mapas geológicos.

-*Cheirogaster bolivari*: La tortuga gigante del terciario español.

-Galería de Paleontólogos: Eduardo Hernández Pacheco.

-La Sala d las Tortugas (Salamanca).

-El *cheirotherium* del museo de Molina de Aragón. Historia de sus huellas.

-Mi primera excursión Paleontológica.

