REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADEMICO 1989 - 1990

LEIDO EN LA SESION CELEBRADA EL DIA 11 DE OCTUBRE DE 1989

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. BERMUDO MELENDEZ

SOBRE

EVOLUCION Y PALEONTOLOGIA

MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELEFONO 521 25 29
1989

Depósito Legal: M. 32.605 - 1989

Realigraf, S. A. - Burgos, 12 - 28039 Madrid

EVOLUCION Y PALEONTOLOGIA

En los medios cientificos existe hoy dia una aceptación general del hecho de que los seres vivos, que actualmente pueblan la Tierra, han sido el resultado de una serie de transformaciones sucesivas, a lo largo del tiempo.

Los seres vivos no han sido siempre los mismos que ahora encontramos; ha habido otras etapas anteriores, en las que poco a poco se han ido modificando, han ido "progresando", hasta llegar a la etapa actual.

Pero este problema no se ha planteado cientificamente, hasta mediados del siglo pasado; con anterioridad se pensaba que los seres vivos habian sido siempre los mismos y que en algún momento determinado, habian sido *creados* tal como son en la actualidad. En todo caso, podrian haber desaparecido algunas especies a las que se aplicaba el calificativo de "antediluvianas", pero no se habia producido una verdadera modificación de las especies actuales.

Esta manera de pensar, que era la tradicional hasta mediado el pasado siglo, se basaba, ante todo, en un conocimiento muy imperfecto de los animales, ya que, hasta entonces, las Ciencias Naturales habian sido puramente descriptivas de los seres vivos.

Sin embargo, el hecho de que los seres vivos presenten ciertos caracteres comunes y puedan ser clasificados en una serie de grupos discretos, podia haber llevado a la idea de evolución. Ya Aristóteles agrupaba los animales en un cierto número de grandes grupos (1), clasificación que coincide en muchos puntos con la actual. Aristóteles pensaba que todos los animales incluidos en un mismo grupo coincidian

en su estructura fundamental, diferenciándose sólo en la forma de sus partes y en el menor o mayor desarrollo de las mismas.

La clasificación de los seres vivos en grupos de análoga estructura, ha sido la base fundamental de los estudios de Zoología y Botánica en los siglos XVII y XVIII y éste fué el criterio asumido por Linneo(2), aunque siguiendo el pensamiento de su tiempo, veía en cada especie el resultado de una creación especial, y en su obra fundamental *Philosophia Botanica* (1751), afirma tajantemente que *"species tot numeramus quot diversae formae in principio sunt create"*, que excluye toda idea de evolución.

Por otra parte, el mismo Linneo, al observar cierta variabilidad en las especies de plantas, pensó que algunas podrían haberse originado por hibridación entre especies distintas, y que incluso, tal vez, la creación original se habría referido a los "géneros" por él establecidos, habiéndose diversificado posteriormente, hasta producir las especies actuales, lo cual equivalía a admitir una cierta evolución restringida, en la que Linneo, sin embargo, no insistió.

Al ordenar los seres vivos en un sistema de clasificación, se ponen de manifiesto sus afinidades y sus diferencias, alcanzando gran difusión en el Siglo XVIII la idea de que todos los organismos formaban un conjunto ordenado y jerarquizado, la denominada *Scala Naturae* (3), que se extendería desde las formas más sencillas hasta las más complejas; pero esta aparente continuidad era concebida en un sentido puramente morfológico entre las especies actuales, que no implicaba continuidad en el tiempo, por lo que excluía toda idea de evolución.

Este concepto fué desarrollado por la Escuela Alemana de Zoología Fundamental llamada "Natur Philosophie"(4), buscando un plan común detallado en todos los organismos de un mismo *phyllum* y un arquetipo del que, mediante modificaciones, pudieran derivarse todas las especies contenidas en él y se buscaban también analogías entre los diversos arquetipos, siempre con un sentido puramente morfológico. Aunque estas ideas eran esencialmente fixistas, indudablemente fueron la base sobre la que luego se desarrollaron las teorías evolucionistas.

Los primeros evolucionistas.

Mediado el Siglo XVIII, la influencia de la *Enciclopedia* con sus ideas de *razón, ilustración y progreso,* se dejó sentir también en las Ciencias Naturales (5). Por entonces ya se reconocía por los naturalistas, el verdadero significado de los fósiles y se aceptaba que con anterioridad a los seres vivos que actualmente pueblan la Tierra, habían existido otros distintos, y que los actuales no habían sido siempre los mismos; pero esto no supone necesariamente su

evolución, y así surgió la idea de las "creaciones sucesivas", que encontramos en algunos Naturalistas de la época y que más tarde desarrollarían Cuvier y sus seguidores en la primera mitad del Siglo XIX. Esta hipótesis, aunque errónea en sí misma, fué el antecedente necesario --en la hipótesis fixista-- de la teoría de la evolución, pués ahora sólo faltaba relacionar entre sí estas etapas sucesivas del desarrollo de los seres vivos.

Merece especial mención, como precursor del evolucionismo, el Conde de Buffon (6), uno de los Naturalistas más insignes del Siglo XVIII. Contemporáneo de Linneo, Buffon estuvo muy cerca de aceptar las ideas evolucionistas, haciendo ver además, que los fósiles representaban especies animales extinguidas; pero en sus escritos aparecen contradicciones en este sentido y finalmente, en un ensayo contenido al final del tomo 14 de su *Historia Natural*, acepta una evolución restringida dentro de un número reducido de estirpes, para los Mamíferos. De cualquier forma, Buffon da una visión dinámica de la Naturaleza, que se contrapone a las ideas de inmutabilidad de sus antecesores y del mismo Linneo, y su obra influyó indudablemente en el pensamiento de Lamarck.

La idea de la evolución de los seres vivos está latente en muchos autores de la segunda mitad del Siglo XVIII, entre los cuales merecen citarse De Maillet, Maupertuis (7) y Erasmo Darwin (8), abuelo de Carlos Darwin, que en su *Zoonomia* llega a exponer una suerte de evolucionismo generalizado para los que él denomina "animales de sangre caliente", que luego extiende a todos los animales, a partir de unos gérmenes que denomina *filamentos*, los cuales habrían surgido por generación espotánea. Como causas principales de la variación de los seres vivos, considera la domesticidad, las condiciones del clima, la hibridación y la posible influencia de mutilaciones, admitiendo la herencia de los caracteres adquiridos durante la vida del animal.

Para Geoffrey Saint Hilaire, los cambios que se producen en los seres vivos, se originan exclusivamente por la influencia del medio ambiente y serían hereditarios.

Hay que llamar la atención sobre el hecho de que todas estas concepciones evolucionistas, no se basan en hechos reales producto de observaciones directas en los seres vivos o en los fósiles, sino que más bién son concepciones teóricas a las que sus autores han llegado mediante deducciones y que, en todo caso, adolecen del concepto temporal (salvo tal vez en la concepción de Erasmo Darwin), que es esencial en una auténtica teoría de la evolución.

Lamarck

El primer Naturalista que admitió claramente en sus escritos una evolución total de los seres vivos y que además, dió una expliación razonada de la misma, fué Lamarck (9),

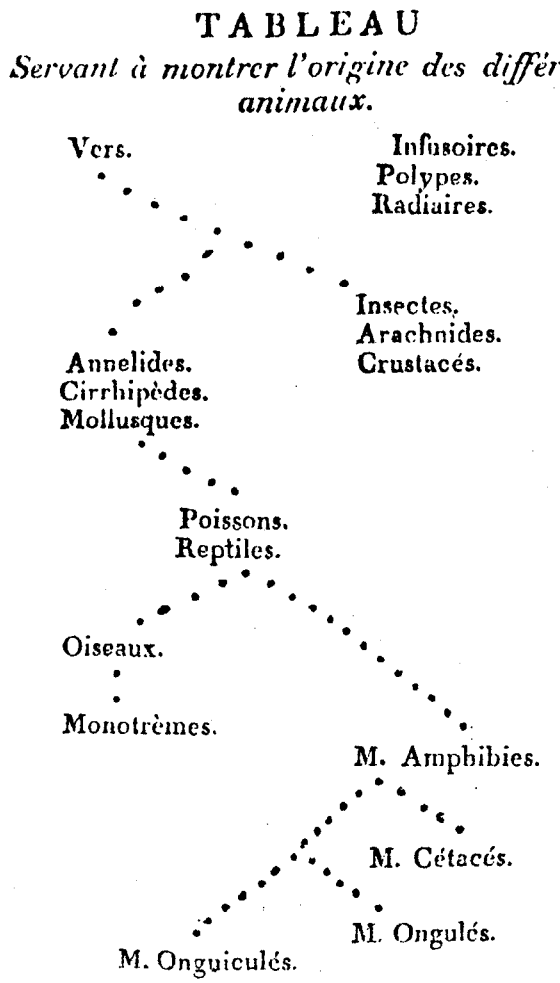

Fig. 1. Esquema filogenético propuesto por Lamarck en 1809 para el Reino Animal. Junto a indudables errores de concepto, como separar los Cirrópodos de los Crustáceos, o relacionar los Vertebrados con los Moluscos, contiene algunos aciertos, como separar las Aves de los Mamíferos, derivando ambos, independientemente, de los Reptiles.

profesor de Zoología en el Museo de Historia Natural de París, que expuso sus conclusiones sobre la evolución, oponiéndose formalmente a las creencias entoces generalizadas sobre la inmutabilidad de las especies.

Supone Lamarck que todos los seres vivos son producciones de la Naturaleza y que los más simples se han originado --y se siguen formando-- en lugares y en condiciones adecuadas, por generación espontánea. Una vez formados estos esbozos elementales, la vida misma posee la capacidad de hacer progresar su organización bajo la influencia de nuevas condiciones ambientales y de nuevos hábitos, de forma que las especies han tenido una duración limitada, y las actuales son el resultado de este proceso continuado a lo largo del tiempo.

Lamarck se muestra en sus concepciones claramente *deísta* considerando a la Naturaleza como un orden de cosas con sus propias leyes, sometida en último término a los designios del Sumo Hacedor. Estuvo indudablemente influenciado por el concepto de la *Scala Naturae,* asumiendo el concepto de una imagen lineal en el proceso evolutivo, pero separa claramente los vegetales de los animales que, según él, constituyen dos series diferentes.

En los animales ordena las *clases* en las que los distribuye, desde los más sencillos (los Infusorios), a los más complejos (los Mamíferos), reflejando sus propios estudios sobre los Invertebrados, pero admite ramificaciones laterales para los niveles taxonómicos más bajos, géneros y especies. Sin ambargo, resulta muy notable que, al final de su obra, presente una versión más ramificada del proceso evolutivo, incluyendo un esquema que puede considerarse como la primera filogenia establecida para el Reino Animal (fig.1).

Pero lo más notable de la obra de Lamarck fué que por primera vez dió una explicación razonada del proceso de la evolución. Reconoce en primer término, una tendencia general inherente a los seres vivos, que los impulsa a evolucionar hacia formas más complejas; en segundo lugar, admite la influencia directa de las condiciones ambientales. Del juego entre estas dos causas interna y externa, resulta la evolución en la forma que se ha producido. La causa interna tiende a originar una gradación regular en la escala de los seres vivos y la influencia de las causas externas (los factores ambientales), ha producido las alteraciones y anomalías que se observan en la sucesión de los diferentes grupos que forman la escala animal.

En los vegetales, esta influencia ambiental sería la única responsable de las alteraciones y cambios evolutivos, mientras que los animales responderían de forma más activa: por estar dotados de un sistema nervioso, aparecerían en ellos ciertas necesidades, nuevas costumbres, etc., que serían las que habrían encauzado la evolución.

Estas ideas se resumen en las dos leyes que, abreviadamente se designan como *del uso y desuso de los órganos* y de la *herencia de los caracteres adquiridos* , y en la proposición de que *la función crea el órgano* (10).

Se echan de menos en la obra de Lamarck, los argumentos derivados del estudio de los fósiles, sobre los cuales realizó importantes estudios sistemáticos, y además, sus argumentos para explicar la adaptación de los seres vivos al ambiente, son puramente teóricos. Por lo que se refiere a la explicación que da sobre la evolución, aunque hay que reconocer que algunos de sus argumentos resultan muy sugestivos, el haberse demostrado que los caracteres adquiridos durante la vida de un organismo no son hereditarios, ha sido causa de que su teoría se considere actualmente superada.

Control paleontológico de la evolución

La evolución biológica no puede someterse en su integridad al control riguroso de la experimentación, porque en el proceso ha intervenido un factor decisivo, el tiempo, que no podremos nunca emplear con la misma amplitud con que ha actuado en el transcurso de los tiempos geológicos.

Se trata además, de un proceso irreversible y único, que se ha realizado una sola vez, que no se puede repetir y, al menos en su parte fundamental, parece haber terminado. Es decir, que no es posible, ni reproducir el proceso en condiciones experimentales, ni tampoco presenciarlo en la actualidad, salvo en una escala muy reducida, que apenas podrá darnos una idea de lo que ha sido en el transcurso de los tiempos geológicos.

Por esta razón, tienen excepcional interés los resultados del estudio de los seres vivos que se han ido sucediendo en las eras geológicas, durante millones de años, que conocemos por sus fósiles, y que han sido los antecesores de los actuales.

De esta forma, la Paleontología nos permitirá conocer la evolución que realmente han experimentado los seres vivos, y nos proporcionará documentos fidedignos, que serán como jalones del proceso evolutivo. Y todo ello, a pesar de lo incompleto de la documentación paleontológica, aunque bien es verdad que, poco a poco, se van realizando hallazgos insospechados, que vienen a llenar las lagunas de esta documentación.

Si es cierta la hipótesis evolucionista, qué derroteros ha seguido la evolución, qué grupos sistemáticos son anteriores a otros, cuándo aparecieron determinados taxones, etc., son cuestiones en las que la Paleontología tiene que decirnos la última palabra, desempeñando un papel decisivo de *control* de cualquier teoría sobre la evolución.

La obra de Darwin

El primer Naturalista que planteó el problema de la evolución desde un punto de vista estrictamente científico, fué Carlos Darwin (11), que aunque ya conocía las ideas de su abuelo Erasmo y las de Lamarck, no le habían parecido aceptables por demasiado teóricas. En realidad, él se había formado en una escuela tradicionalista, en el sentido de la fijeza de las especies, pero tuvo la oportunidad de realizar un viaje alrededor del mundo, cruzando el Atlántico con escala en el Archipiélago de Cabo Verde, recorriendo las costas del Brasil, Argentina y Chile, hasta las Islas de Los Galápagos frente a las costas del Perú, situadas aproximadamente a la misma latitud Norte y Sur respectivamente, que las de Cabo Verde.

Lo primero que observó Darwin, al comparar estos dos archipiélagos, es que tenían una fauna totalmente distinta uno del otro, y esto le llamó poderosamente la atención, porque de acuerdo con las teorías tradicionales, dos archipiélagos que tienen las mismas condiciones climáticas, geográficas y geológicas (pués ambos son de origen volcánico), deberían tener faunas semejantas. Darwin pensó que alguna razón debía existir para que la fauna y la flora de las Islas de Cabo Verde fuesen semejantes a las africanas, mientras que las correspondientes a las de Los Galápagos eran análogas a las del Perú.

Luego, en el archipiélago de Los Galápagos que comprende numerosas islas separadas por brazos de mar, pero relativamente próximas entre sí, observó que en cada una existía una fauna propia, algo distinta, pero con una serie de características comunes entre sí y con la del continente.

Precisamente se llaman Islas de Los Galápagos porque uno de sus elementos faunísticos más importante son las tortugas, y resulta que cada isla tiene una especie distinta de tortuga que es exclusiva y característica. Además, existen allí otros elementos faunísticos, como son las Iguanas y los Pinzones, que también son distintos en cada isla.

Al observar estas diferencias y similitudes faunísticas en el archipiélago, Darwin pensó podrían ser debidas a que una fauna inicial única, común a todas las islas y emigrada desde el continante, se habría diferenciado en el transcurso del tiempo, originando toda una serie de faunas ligeramente distintas, individualizadas en cada isla.

Este argumento es de tal fuerza, que en realidad no tiene réplica, porque no cabe pensar que se hayan podido originar especies tan próximas pero distintas, independientemente en las diferentes islas. Tal cosa habría sido un juego que no tendría razón de ser; la otra expliación dada por Darwin, es nucho más adecuada.

La idea de Darwin se ha ido perfilando posteriormente mejor, aplicándola a otros casos en los que se conocen las faunas fósiles antecesoras de la actual. Así, p. ej., cuando se trata de comprender la distribución geográfica de los elefantes, que actualmente está limitada al Africa ecuatorial y al Sudeste asiático, es facil de explicar si tenemos en cuenta que se conocen por los fósiles las faunas de elefantes que con anterioridad han poblado toda Europa y Asia, de donde han emigrado hacia el Sur, extinguiéndose en Europa y en Asia. Esta explicación es mucho más lógica, que no suponer que los elefantes africano y asiático hubiesen sido "creados" (nadie sabe cómo), independientemente.

Estas explicaciones son muy sencillas, si se admite la evolución de los seres vivos en el tiempo que, además, está bastante bién documentada por los fósiles.

Precisamente éste fué uno de los argumentos que Darwin esgrimió a favor de su teoría de la evolución, poniendo sumo cuidado en esta cuestión, pués hasta entonces se pensaba, de acuerdo con las ideas de Cuvier, que los fósiles confirmaban la fijeza de las especies, puesto que eran distintos los que se encontraban en las rocas sedimentarias, según la edad geológica de los estratos, hecho que había sido establecido empíricamente por W. Smith.

Cuando la sedimentación ha sido continua y en consecuencia, los estratos forman una serie ininterrumpida (fig. 2), de más antiguos (en la parte inferior) a más modernos (en la superior), los fósiles que se encuentran en cada estrato guardan esta misma secuencia temporal.

Hay algunas secuencias evolutivas de fósiles, que se han hecho famosas por su buena documentación, como es el caso de los Equidos, durante la Era Terciaria en Norteamérica, donde la sedimentación continental ha sido casi continua a lo largo de más de 60 millones de años (fig. 3). En esta secuencia se puede observar cómo los caballos (representados en la figura por sus cráneos, extremidades y molares), han evolucionado progresivamente. Ante todo, se observa un aumento de tamaño, que de un animal del tamaño de una liebre, nos conduce al del caballo actual; en el cráneo se observa cómo se alarga la región facial que va predominando sobre la cerebral; en las extremidades disminuye el número de dedos, pasando de 5 iniciales a 3 con el central prominente, y finalmente a uno solo en el caballo actual.

Por otra parte, la dentición de los caballos también se ha modificado profundamente durante su evolución: se ha reducido, perdiéndose los caninos y los primeros premolares, dejando un diastema o región sin dientes, característica del caballo actual; además los dientes laterales o yugales, se vuelven prismáticos, cuadrangulares, apareciendo en ellos una serie de repliegues del esmalte, de forma que la serie completa funciona como una lima dispuesta para triturar los pastos secos de que se alimentan.

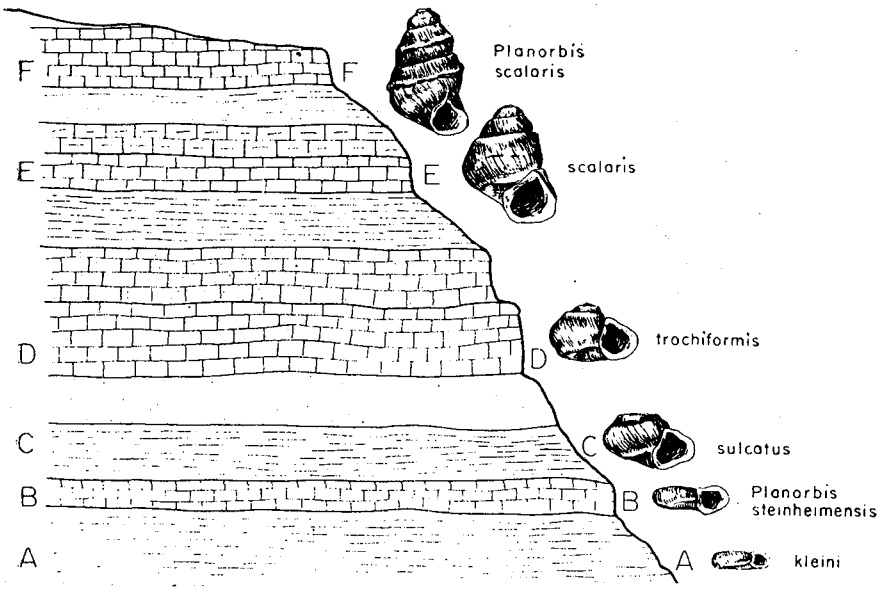

Fig. 2. Serie evolutiva de los *Planorbis* en el Mioceno. Los estratos inferiores contienen las formas más antiguas; las más modernas aparecen en los estratos superiores, mientras que en los intermedios (B-E) encontramos las formas de transición entre ambas.

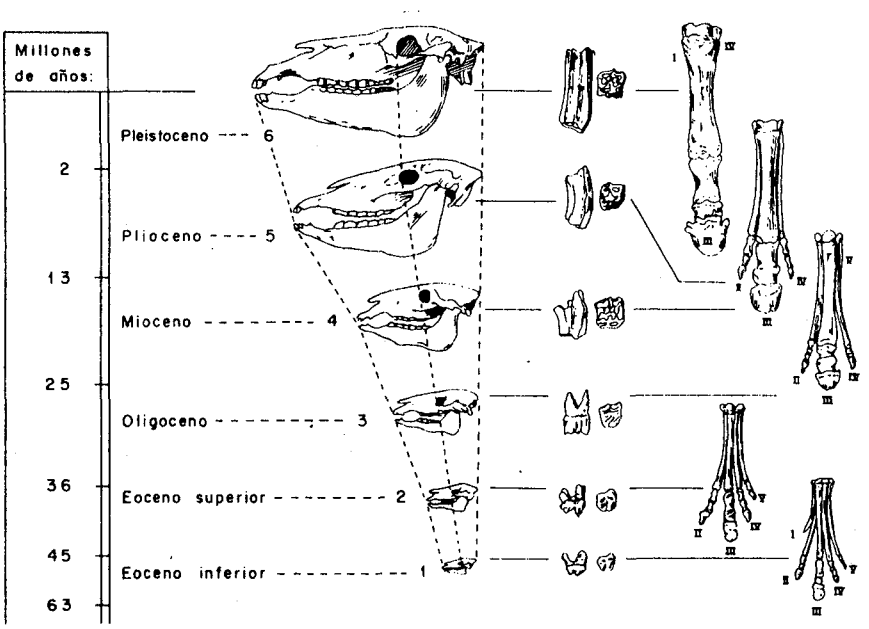

Fig. 3. Evolución de los Equidos en Norteamérica, durante la Era Terciaria: 1. *Eohippus;* 2. *Orohippus;* 3. *Mesohippus;* 4. *Mergchippus;* 5. *Pliohippus;* 6. *Equus.* A la izquierda, cráneos, en el centro, molares, y a la derecha, extremidades anteriores. Todos los dibujos están a la misma escala, muy reducidos.

Estos cambios estructurales, esta evolución de los caballos, ha estado relacionada con una transformación progresiva de su hábitat, a lo largo de toda la Era Terciaria. Los primeros équidos eran animales que vivian en el bosque, y se han ido adaptando progresivamente a la vida en praderas, en lugares abiertos, donde su mejor defensa de los carnívoros depredadores es la huida y donde se alimentan principalmete de gramineas, de pastos secos durante la estación estival: las adaptaciones a la carrera y a la trituración de vegetales duros, han sido correlativos a este cambio de hábitat.

Cuando Darwin publicó *El origen de las especies,* ya se habian estudiado algunas series de fósiles ordenados estratigráficamente, en las formaciones lacustres del Terciario, en la Cuenca del Danubio, y hace referencia a ellas en apoyo de su teoría, pero la evolución de los caballos en Norteamérica fué estudiada posteriormente por Osborn, viniendo a confirmar sus hipótesis, pués encajaba perfectamente en su teoría de la "selección natural" (12), ya que los caballos habían evolucionado adaptándose progresivamente a la vida en las praderas.

Desde el punto de vista paleontológico, Darwin tuvo la oportunidad de estudiar los esqueletos fosilizados de grandes mamíferos que descubrió en las cercanías de Bahía Blanca, en Argentina: *Megatherium, Glyptodon, Macrauchenia* , etc., llamándole profundamente la atención el hecho de que fuesen muy distintos de los que ya se habían descubierto en Europa, algunos claramente relacionados con la fauna actual de Armadillos y Perezosos, de los que podían haber sido antecesores. Así concibió la idea de que la fauna actual era el resultado de la evolución de otras especies extinguidas. También le llamó la atención, el hecho de que hubiesen desaparecido los grandes mamíferos como el Megaterio, pero rechazando la idea de los cataclismos preconizados por Cuvier de los que no había ningún indicio, supuso que la extinción había sido gradual, cuando los cambios climáticos y ambientales creasen un hábitat adverso para estos animales.

Finalmente, resumiendo sus observaciones y sus ideas sobre la evolución, presenta un esquema (fig. 4), parecido a un arbol genealógico, ramificado hacia arriba, de forma que los fósiles más antiguos están representados en la parte inferior, y los progresivamente más modernos, hasta la fauna actual, en la parte superior.

Los fósiles correspondientes a épocas sucesivas, se van enlazando mediante líneas ascendentes, de acuerdo con sus afinidades, que representan la evolución de cada grupo biológico en el tiempo; pero no se trata sólo de series evolutivas lineales, sino que en determinados monentos se producen bifurcaciones, representando que a partir de ese momento, la evolución ha seguido dos caminos diferentes.

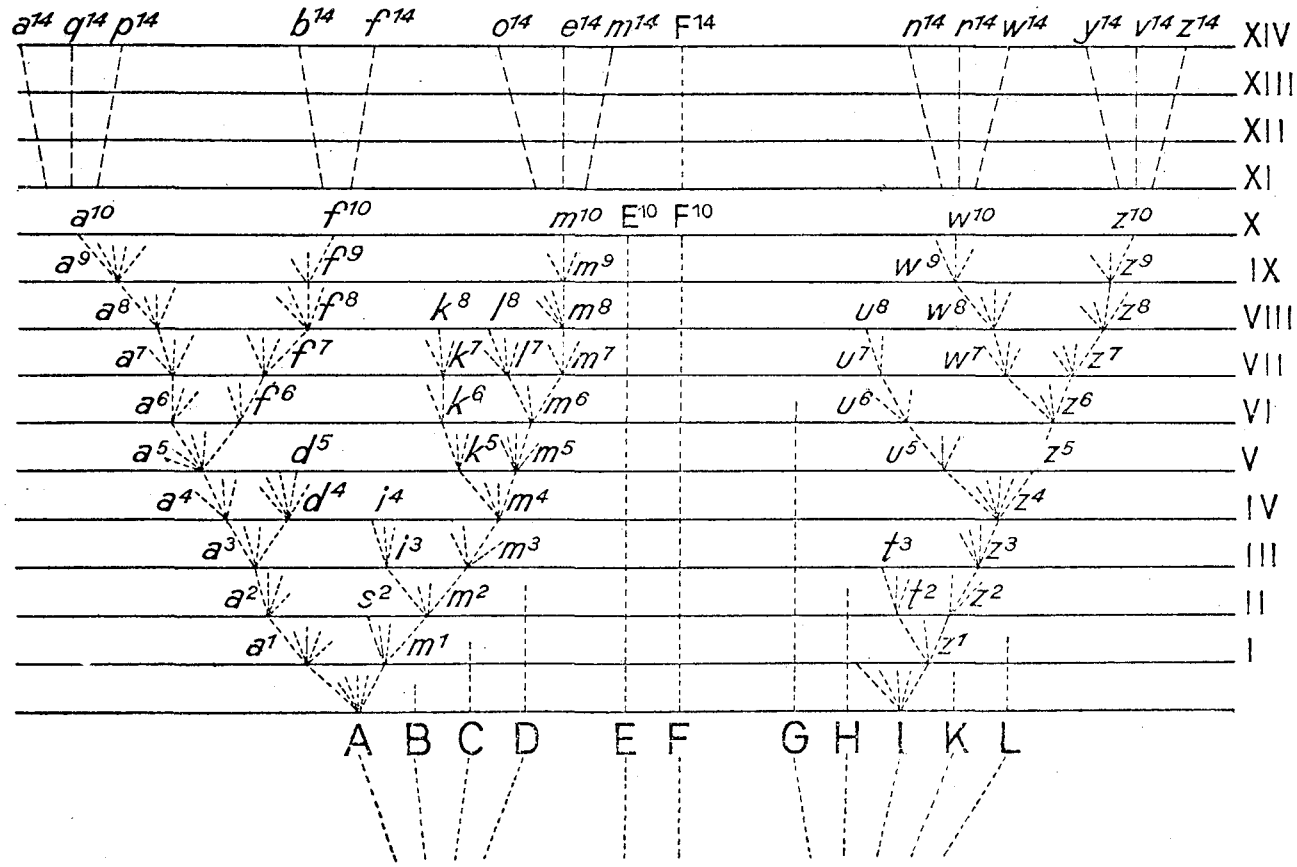

Fig. 4. Esquema original de Darwin, en el que representa una serie de fósiles, correspondientes a épocas geológicas sucesivas (I-XIV), enlazados por líneas de puntos de acuerdo con sus afinidades, formando en conjunto un *esquema filogenético,* especie de árbol genealógico de las estirpes representadas por letras mayúsculas en la parte inferior. La fauna actual está representada en la parte superior.

La Paleontología evolutiva

Ante todo, mediante el estudio de los fósiles es posible ir reconstruyendo la genealogía de los grupos biológicos, llegando a conocer cuáles han sido sus antecesores y la época en que aparecen sus primeros representantes.

Así, por ejemplo, la figura 5 representa la filogenia de tres familias de Carnívoros actuales (Úrsidos, Cánidos y Procionidos), cuyos fósiles en la Era Terciaria se han representado por sus cráneos. Estas tres familias, biem diferenciadas en la fauna actual, tienen antecesores comunes en diferentes épocas del Terciario, acabando por reunirse las líneas evolutivas, en la parte inferior del esquema, en un antecesor común a todos ellos, posiblemente el género *Cynodictis* del Oligoceno, en el que encontramos toda una serie de caracteres mezclados, que luego aparecen diferenciados en cada una de las familias actuales.

Esquemas filogenéticos como éste, se han establecido en los casos en que la documentación fósil es abundante, llegándose a conocer, con bastante seguridad, la filogenia de muchos grupos biológicos, aunque tales esquemas sean siempre provisionales, estando sujetos a revisión, a medida que se realicen nuevos hallazgos de fósiles.

Por otra parte, el estudio de las series evolutivas de fósiles, escalonadas en el tiempo, pone de manifiesto que los ritmos de evolución en los diferentes grupos biológicos no son los mismos ni constantes. En la mayoría de los grupos, el ritmo evolutivo inicialmente es muy rápido (evolución *taquitélica)*, diferenciándose en distintos filums que colonizan distintos ambientes (radiación adaptativa). Una vez superada esta etapa inicial, en la que se han diferenciado sus principales líneas evolutivas --alguna de las cuales puede haberse extinguido precozmente-- el ritmo evolutivo, en general, disminuye haciéndose más lento (evolución *horotélica)*, etapa en la que el número de nuevos taxones que van apareciendo viene a compensarse con el de los que se van extinguiendo.

Si las condiciones en las que se desarrolla el grupo biológico son favorables, la aparición de nuevos taxones continúa a ritmo normal, pero cuando pierde su vigor inicial, o cuando las condiciones ambientales van siendo adversas, el número de extinciones supera al de nuevos taxones, produciéndose un declive general del grupo biológico que suele terminar con su extinción (fig. 6).

De todas formas, en esta última etapa, si las condiciones ambientales son favorables, los grupos biológicos pueden perdurar durante largos períodos, evolucionando lentamente (evolución *braditélica)*, que puede dar lugar a la persistencia de los llamados "fósiles vivientes", reliquias de grupos biológicos que tuvieron su desarrollo en épocas pretéritas.

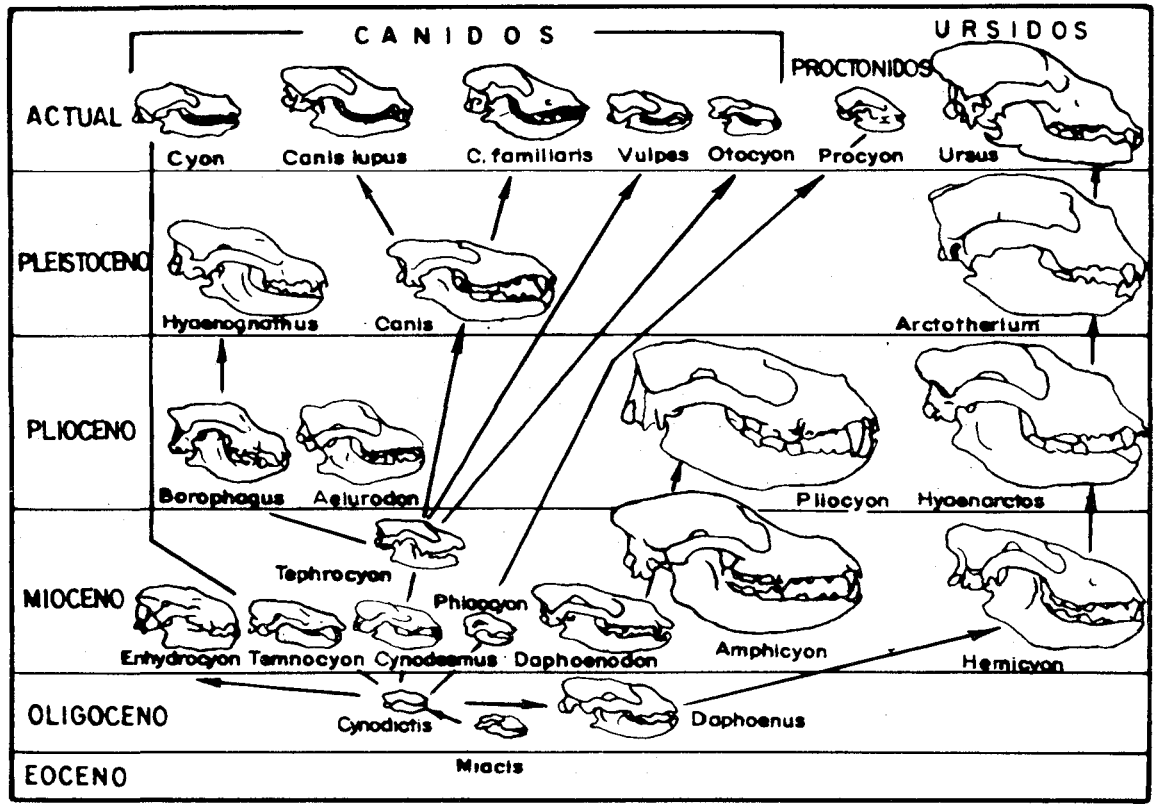

Fig. 5. Filogenia general de los Cánidos, Prociónidos y Ursidos, en la que aparecen numerosas formas "sintéticas" que sirven de enlace entre géneros y entre las tres familias.

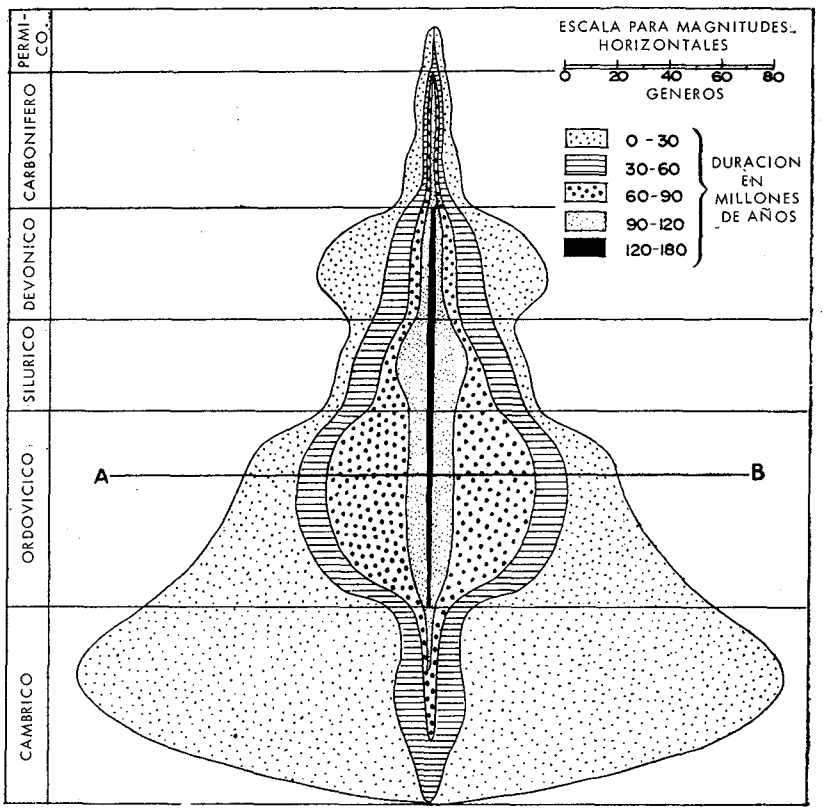

Fig. 6. Esquema temporal del desarrollo de los *Trilobites,* tomando como base un millar de géneros, distribuidos de acuerdo con su duración en millones de años. Por ejemplo, en el Ordovícico superior, que corresponde a la transversal A-B, están representados 150 *géneros,* de los cuales, 40 tuvieron una duración menor de treinta millones de años; 20, duraron de treinta a sesenta; 65 *géneros,* de sesenta a noventa millones de años; 20, de noventa a ciento veinte, y sólo cinco, duraron más de ciento veinte millones de años. (Según A. H. Müller.) En este caso, la época de expansión, con evolución taquitélica, corresponde al Cámbrico; la etapa de evolución horotélica corresponde al Ordovícico y ya a partir del Silúrico, se inicia la época de declive que termina con la extinción en el Pérmico.

Microevolución.

La evolución que resulta de la selección natural, origina un proceso evolutivo a escala reducida, en el que se suceden cambios morfológicos menores que, al acumularse, originan *series filéticas* en las que se aprecia una *evolución gradual*. Esta es la que se ha denominado *microevolución*, que se puede comprobar mediante el estudio de los fósiles contenidos en estratos sucesivos (véase la figura 2), que con frecuencia presenta desviaciones, como es el caso de los *Micraster* en el Cretácico superior (fig. 7).

Pero las secuencias evolutivas, como las de los Gasterópodos lacustres en el Mioceno, o las de los *Micraster* en el Cretácico, son más bién escasas en el registro fósil. Muchas discontinuidades se deben a interrupciones en la sedimentación, que tienen como consecuencia la falta de términos intermedios en las series evolutivas, pero la realidad es que la mayoría de las especies fósiles se nos presentan en forma de poblaciones relativamente estables, separadas por discontinuidades faunísticas que sugieren su extinción y el relevo por otra especie. Este proceso, al que se hado el nombre de "equilibrio puntual" (13), (fig. 8), se supone originado por la migración de una especie procedente de un área geográfica próxima, donde se originó por *especiación alopátrica* (14).

Ortogénesis. Frecuentemente en la secuencia de formas que se suceden en una línea evolutiva, se observa, en el desarrollo de ciertos caracteres, una tendencia manifiesta en un sentido determinado, acentuándose progresivamente sin retroceder, de forma que el proceso es irreversible. El resultado es la adaptación progresiva a un cierto género de vida o a un ambiente determinado y supone que el grupo biológico en cuestión, va estando cada vez más comprometido con el ambiente, de forma que si éste se altera sustancialmente, terminará por extinguirse, al no poder adaptarse a las nuevas condiciones. De esta forma, la evolución ortogenética, adaptativa, viene a ser como un callejón sin salida.

Así por ejemplo, en la evolución de los équidos (fig.3), el dedo central de las extremidades se desarrolla progresivamente, reduciéndose los laterales hasta su atrofia total, lo cual se puede interpretar en el sentido de su progresiva adaptación a la carrera, en espacios abiertos, como pueden ser las praderas o la sabana. Pero de équidos con un solo dedo en las extremidades, no han surgido por evolución, otros con tres dedos. Es decir, que un órgano que se pierde en el curso de la evolución, ya no volverá a recuperarse, al menos en su forma primitiva.

Este proceso, tiene una explicación lógica como resulta do de la selección natural, en poblaciones que evolucionan en el transcurso del tiempo, a la vez que se va alterando el ambiente en determinado sentido, porque es sencillamente el resultado de que el grupo biológico se va adaptando sucesivamente a las nuevas condicions ambientales.

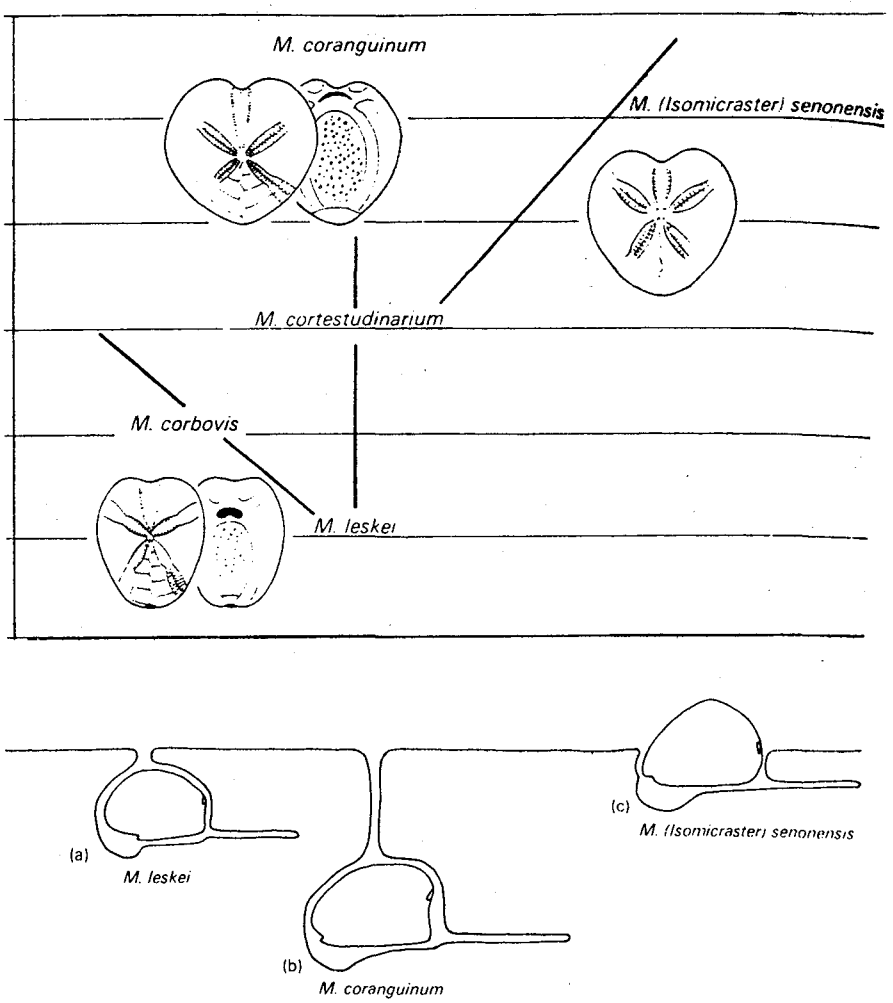

Fig. 7. Evolución de los *Micraster* (Equínidos exocíclicos), en el Cretácico superior y posición de vida de las tres especies principales, a diversas profundidades en los sedimentos (en la parte inferior de la figura). (Según Kermack y Nichols.)

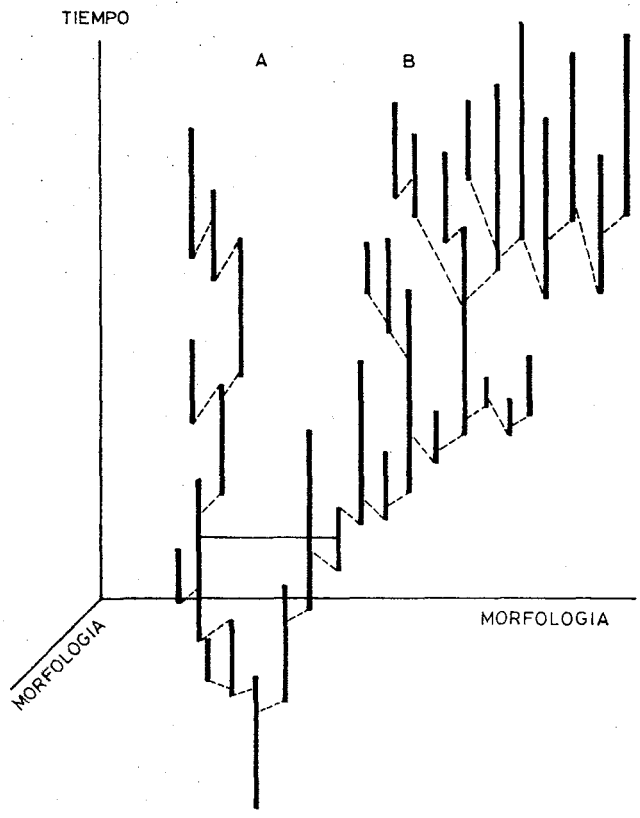

Fig. 8. Diagrama tridimensional clásico presentado por ELDREDGE y GOULD en 1972, para ilustrar el modelo evolutivo propuesto en la teoría de los equilibrios puntuales, basado en la especiación alopátrica. Las especies están representadas por las barras verticales mientras que las líneas de puntos señalan los momentos de especiación. La línea *A* señala un modelo de estabilidad relativa, mientras que en el modelo *B* el cambio morfológico parece dirigirse en una dirección determinada, como consecuencia de la longevidad y el éxito evolutivo diferencial (mayor tasa de especiación), de unas especies sobre otras.

En el caso de la evolución por *equilibrios puntuales*, esta tendencia evolutiva con progresivo cambio en la morfología, vendría determinado por la duración diferencial de las especies y por su mayor tasa de especiación en determinado sentido (fig. 8, B).

Macroevolución

Recibe este calificativo la evolución a gran escala, en los niveles taxonómicos más elevados, y suele identificarse con la "radiación adaptativa" que tiene lugar en la fase inicial del desarrollo de un grupo biológico. Este parece haber sido el caso en los Equinodermos, en los Moluscos, y en los Artrópodos, a principios del Paleozoico o tal vez en las postrimerías del Precámbrico; en los Reptiles durante el Pérmico y en los Mamíferos placentados en el Paleoceno.

Esta evolución a gran escala fué intuída por Darwin, que proponía la existencia de "eslabones perdidos" de la evolución, para enlazar los grupos taxonómicos superiores. Uno de estos eslabones perdidos, el *Archaeopteryx*, (fig. 11), con caracteres mezclados de Reptil y de Ave, se encontró en Solenhoffen (Baviera), en 1862, viniendo a confirmar su teoría.

Lo más notable de este proceso es que en él aparecen con frecuencia nuevas estructuras funcionales o incluso nuevos órganos. Se conocen mecanismos que han podido ser importantes en estos cambios: la *neotenia* y la *pedomorfosis* (14); así, ciertos órganos en vías de desarrollo pueden adaptarse a otra función distinta de la originaria, como podría haber sido el caso de los diverticulos del esófago de los peces, que en los Crosopterigios y en los Dipnoos forman sacos aéreos que les permiten respirar fuera del agua.

La evolución de los Vertebrados

Se ha dicho con propiedad, que el mayor éxito de la Paleontología ha sido llegar a establecer la historia evolutiva de los Vertebrados, desde los peces hasta los mamíferos, pasando por los anfibios y los reptiles, tal como aparece en la figura 9.

Se trata de un caso de *macroevolución* en el que han concurrido tres circunstancias muy favorables: por una parte, los Vertebrados poseen un esqueleto formado por carbonato y fosfato cálcicos que tiene buenas condiciones para fosilizar; en segundo lugar, este esqueleto interno refleja muy bien la anatomía general del animal y es muy característico. Finalmente, la evolución de los Vertebrados se ha realizado escalonadamente, a partir del Ordovícico, en épocas en las que los fósiles son abundantes y en general, se han conservado bien en las rocas sedimentarias.

Las primeras etapas de esta evolución, en el Ordovicico y en el Silúrico, están mal documentadas por tratarse de animales con esqueleto cartilaginoso, que no han fosilizado, pero a partir del Devónico, la documentación fósil de los Peces óseos (Crosopterigios) es ya muy significativa. En esta época, los únicos Vertebrados que existían eran los Peces, pero luego, en el Carbonífero, ya encontramos Anfibios y a finales de este período aparecen los primeros Reptiles. Los Mamíferos y las Aves aparecen por primera vez en el registro fósil, en el Triásico y en el Jurásico, respectivamente; en toda la Era Secundaria sólo encontramos Mamíferos implacentados, de forma que los primeros placentados sólo aparecen a finales del Cretácico y ya en el Terciario se diferencian los diferentes órdenes de Mamíferos.

Los peces que dieron lugar, por evolución, a los Anfibios, los *Crosopterigios Rhipidistos*, eran unos peces muy notables, que podían respirar aire atmosférico con la boca cerrada, mediante los conductos nasales (que faltan en los demás peces), y unos sacos aéreos, en cierta manera como los "Peces pulmonados" que viven en los ríos de Africa austral, de Sudamérica y de Australia. Vivían en un ambiente en el que las sequías eran muy prolongadas siendo frecuente que los ríos quedasen secos o reducidos a charcas aisladas, en las que el agua estancada llegaba a ser irrespirable; en tales circunstancias, estos peces podrían sobrevivir, gracias a que podían respirar aire atmosférico, cosa que los demás peces fluviales no podían realizar, quedando condenados a morir en las aguas carentes de oxígeno.

Pero es que, además, tenían las aletas con el esqueleto dispuesto de tal manera (fig. 10-A), que formaba un muñón basal mediante el cual, podrían arrastrarse sobre tierra firme hasta alcanzar otra charca o laguna en la que el agua fuese respirable. Los elementos que forman la base de la aleta, son fundamentalmente los mismos del quiridio: húmero, cúbito, radio, carpales y metacarpianos.

El paso evolutivo de estos Peces a los Anfibios, consiste esencialmente en una mejor estructuración del esqueleto de las extremidades, que con los mismos elementos forman ya un quiridio típico (fig. 10-B), con los dedos bien diferenciados, lo cual les permite caminar, con cierta soltura, sobre tierra firme, al mismo tiempo que los sacos aéreos, más desarrollados, se han transformado en pulmones.

Por lo demás, los Anfibios primitivos, como *Ichthyostega*, eran esencialmente acuáticos y su esqueleto es casi igual al de los Crosopterigios: precisamente reciben el nombre de *Estegocéfalos*, por tener el cráneo como el de los Crosopterigios, constituido por huesos que forman un verdadero estuche óseo. Los adultos carecían de branquias, pero las conservaban en estado larvario (se han conservado fósiles en *Branchiosaurus*), como ocurre en los actuales que, al menos para la reproducción, necesitan volver al medio acuático, ya que sus huevos se desecarían fuera del agua, por no tener la adecuada protección.

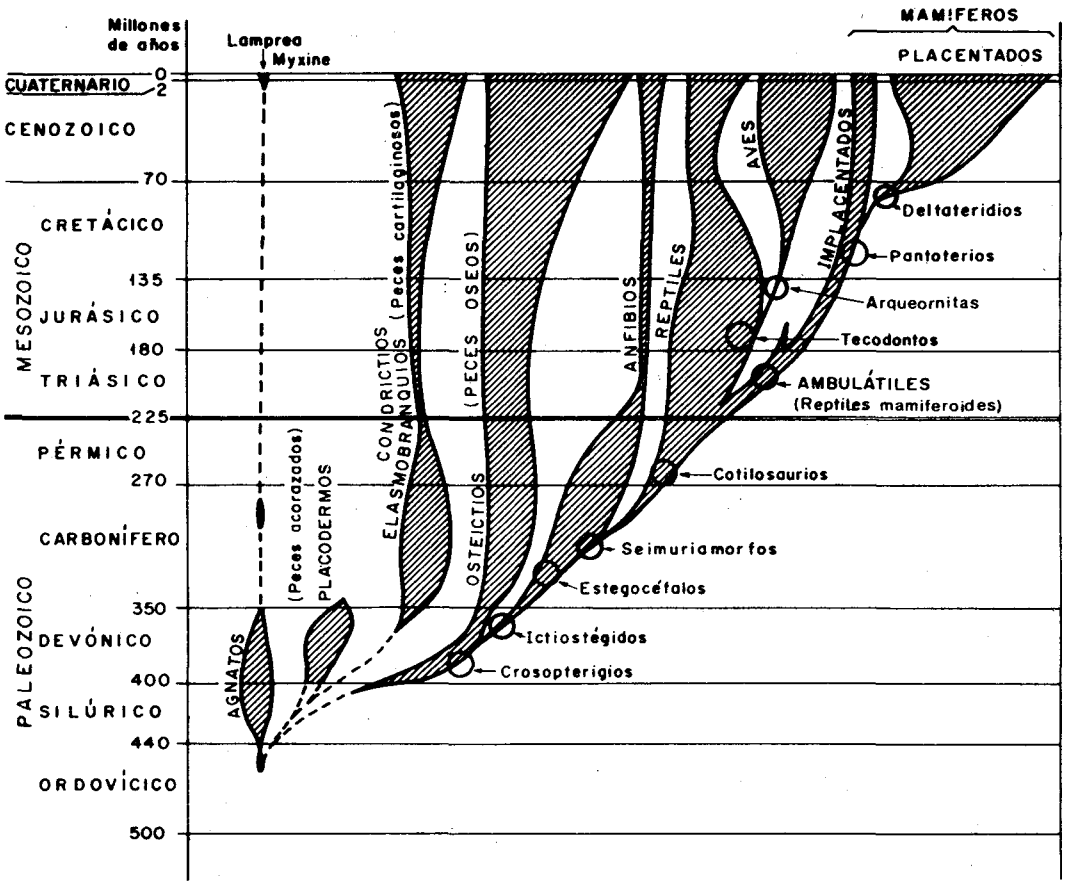

Fig. 9. Esquema filogenético del conjunto de los Vertebrados en los tiempos geológicos. A partir de los peces óseos, la serie evolutiva resulta ser casi continua; los círculos indican los grupos fósiles que han servido de transición entre las distintas clases de vertebrados. (Inspirado en Romer.)

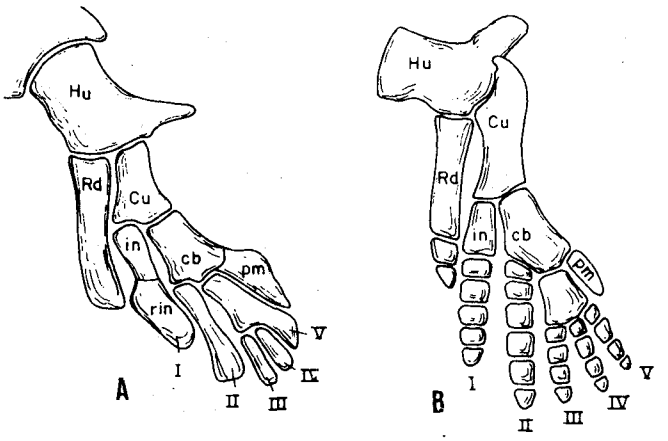

Fig. 10. Comparación entre la estructura de las extremidades anteriores de un Crosopterigio (A) y un Estegocéfalo primitivo como *Ichthyostega* (B). *Hu,* húmero; *Cu,* cúbito; *Rd,* radio; *cb,* cubital; *in,* intermedio; I-V, metacarpianos y dedos.

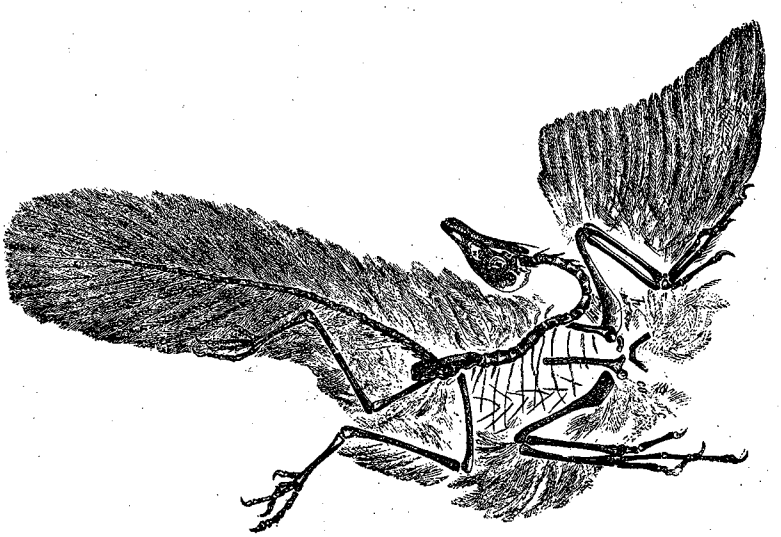

Fig. 11. *Archaeopteryx lithographica,* un ave primitiva del Jurásico de Solenhofen (Baviera), que presenta netos caracteres reptilianos, pero el cuerpo, las alas y la cola con plumas (x 0,3). (Según Zittel.)

Los Estegocéfalos se desarrollan ámpliamente durante el Carbonífero y al final de este período encontramos unos vertebrados que, con la organización general de los Estegocéfalos, tienen ya características especiales, en la estructura del cráneo y de la columna vertebral, que los aproximan a los Reptiles. Realmente no hay diferencias anatómicas que sean muy notables entre estos Anfibios y los verdaderos Reptiles, pero la diferencia esencial reside en su comportamiento en la reproducción.

Los huevos de los Reptiles son mucho más voluminosos que los de los Anfibios y están protegidos por una cubierta que impide su desecación fuera del agua; además, poseen una membrana que encierra al embrión, el *amnios,* a través de la cual puede respirar el aire atmosférico. De esta forma, el embrión puede desarrollarse fuera del agua, y como dispone de abundante vitelo nutririvo, su desarrollo culmina en un animal semejante al adulto, que ya no necesita del medio acuático para iniciar su desarrollo.

Así, el reptil se ha independizado totalmente del medio acuático y puede vivir en ambientes continentales que estaban vedados a los anfibios, como son los climas cálidos y secos, que precisamente dominaban al final del Paleozoico.

La Era Secundaria se caracteriza por un ámplio desarrollo de los Reptiles, que ocupan casi todos los ambientes donde ahora predominan las Aves y los Mamíferos: los Dinosaurios en los continentes, los Ictiosauros y Plesiosauros en el mar y los Pterosauros en el aire, aunque todos estos grupos de reptiles se extinguen al final del Mesozoico.

Pero lo más importante, desde el punto de vista evolutivo, es que los reptiles mesozoicos originaron, por un lado las Aves y por otro los Mamíferos.

Las primeras Aves tienen aspecto de reptil, con larga cola, dientes en las mandíbulas, garras en los dedos de las extremidades anteriores, etc., pero tenían el cuerpo cubierto de plumas y las extremidades anteriores, gracias a las grandes plumas de que estaban provistas, eran verdaderas alas (fig. 11). Pero en realidad, las Aves constituyen una clase de Vertebrados que se separa de la línea principal evolutiva que conduce a los Mamíferos.

Por otra parte, a principios del Mesozoico se desarrolló un grupo especial de reptiles, a los que se ha dado el nombre de "mamiferoides", porque progresivamente van apareciendo en ellos, caracteres anatómicos que son propios de los mamíferos:

a) caminan con el cuerpo levantado, sobre las extremidades que adoptan posición vertical, en vez de horizontal como en los reptiles, apareciendo las articulaciones de codo y rodilla (fig. 12);

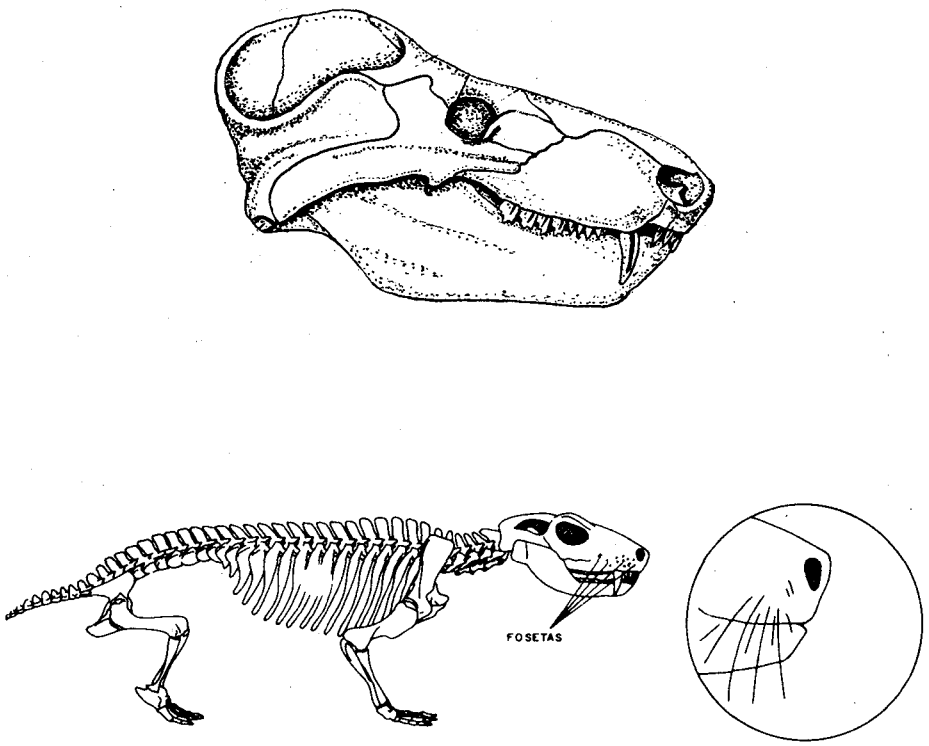

Fig. 12. Esqueleto reconstruido de un Reptil mamiferoide, *Ericiolacerta,* del Triásico del Karroo (Sudáfrica), mostrando los caracteres que le aproximan a los Mamíferos: posición vertical de las extremidades con codo y rodilla; diferenciación de la columna vertebral en dos regiones, torácica y abdominal, la primera con costillas que forman la caja torácica; y el cráneo con arco cigomático, mandíbula formada por el dentario y región facial con orificios y fosetas. A la derecha, reconstrucción de la región facial del animal, con las supuestas vibrisas. En la parte superior, cráneo de *Cynognathus* en el que se aprecia la dentición diferenciada, como en los Mamíferos. (Según Thenius en Alférez y según Seeley).

b) la columna vertebral se diferencia en dos regiones, torácica y abdominal, la primera con costillas que forman la caja torácica que debía estar separada de la cavidad abdominal mediante un diafragma, como en los mamíferos;

c) el cráneo tiene ya una estructura equivalente a la de los mamíferos, con un arco cigomático bién formado, y en la mandíbula se desarrolla una rama ascendente que llega a articularse directamente con el hueso escamoso del cráneo;

d) la dentición está diferenciada en incisivos, canino, premolares y molares, como en los mamíferos y se ha formado un paladar secundario, que permite a estos reptiles respirar mientras mastican el alimento;

e) en la región facial de los más evolucionados, encontramos varios orificios y fosetas, que debían dar paso a vasos sanguíneos y a terminaciones nerviosas, que irrigan y la cara tiene expresión, no como en los reptiles, en los que la piel está directamente adosada a los maxilares. Además, las fosetas corresponderían a la inserción de vibrisas que son largos pelos sensoriales, como los bigotes del gato. Todo esto permite suponer que en estos animales, la piel es taba cubierta de pelo, lo cual es una adaptación a la homotermia, es decir, que estos reptiles eran ya "de sangre caliente".

En definitiva, resulta que estos animales, aunque todavía eran reptiles por la forma de articulación de la mandíbula (mediante los huesos articular y cuadrado), en la mayoría de sus caracteres se parecen más a los mamíferos, por lo que se han denominado "mamiferoides".

El último caracter reptiliano, que aún permanece en estos animales, la articulación de la mandíbula, también termina por desaparecer: algunos de estos reptiles de finales del Triásico, como *Diarthrognathus*, tienen una doble articulación mandibular, reptiliana y mamiferoide, de forma que en realidad, los huesos *articular y cuadrado* ya no son imprescindibles para esta función y pasan a desempeñar el papel de conductores del sonido en el oído medio de los mamíferos, transformados en *martillo* y *yunque*.

El desarrollo de los Mamíferos durante el Mesozoico, debió quedar frenado por el predominio de los Reptiles, pero con la extinción de la mayoría de éstos al final del Cretácico, se desarrollaron rápidamente en toda la Era Terciaria, en la que constituyen el elemento faunístico predominante, diversificándose evolutivamente hasta alcanzar el grado que tienen en la actualidad.

Las causas de la evolución

En lo que antecede, hemos visto cómo se ha producido la evolución de los seres vivos y su mecanismo a pequeña escala por *selección natural* , que actúa en las poblaciones,

mediante mutaciones y recombinaciones genéticas, cuando se produce, además, el aislamiento genético. Aparte del papel que hayan podido desempeñar los procesos de *pedomorfosis* y *neotenia*, no se conoce ningún otro mecanismo por el que se pueda haber producido la evolución. La *macroevolución* no ha sido, probablemente, más que una microevolución a gran escala y de ritmo acelerado.

En sí mismo este proceso es *mecánico* y depende del juego de las "causas segundas", que han condicionado o conducido la evolución, pero el proceso no ha sido ni completamente aleatorio ni sencillamente mecánico, y cabe preguntarse cuál habrá sido la "causa primera" y el porqué de esta evolución.

Las cosas vienen a suceder como en una moderna factoría, en la que el proceso de fabricación es puramente mecánico, sin apenas intervención de los operarios, que muchas veces están ausentes, y un visitante llegase a la conclusión de que eran las máquinas las que fabricaban, pongamos por caso los automóviles, cuando la realidad es que todo el proceso ha sido previamente programado por un equipo de técnicos, que puede ya ni siquiera estar en la factoría.

En la evolución de los Vertebrados, se puede comprobar que ha habido una línea privilegiada de evolución, la que a partir de los más inferiores en el Silúrico, ha culminado en los Mamíferos, pasando por los Peces, Anfibios y Reptiles, que seguidamente veremos cómo culmina en el hombre.

Esta línea evolutiva ha sido una realidad, ya que está bastante bién documentada y ha ido superando una serie de etapas, que brevemente han supuesto:

-- la salida del medio acuático pasando al medio aéreo y terrestre en los Anfibios;

-- la independización total del medio acuático en los Reptiles;

-- adquisición de la homotermia en los Mamíferos;

-- protección de la prole, que llega al máximo en los Mamíferos placentados;

-- dominio del ambiente, por el desarrollo del cerebro, que alcanza su grado máximo también en los Placentados.

Estas etapas evolutivas suponen una serie de modificaciones estructurales y funcionales, que no pueden haber sido *siempre* producto de la casualidad, porque tienen un sentido bién definido. Esta línea evolutiva privilegiada, es la que Teilhard de Chardin ha denominado *ortogénesis de fondo*, regida por la ley de *complejidad-conciencia*, que culmina en el hombre; aunque junto a ella se puedan haber desarrollado también otras líneas evolutivas laterales de Peces, Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos, que han

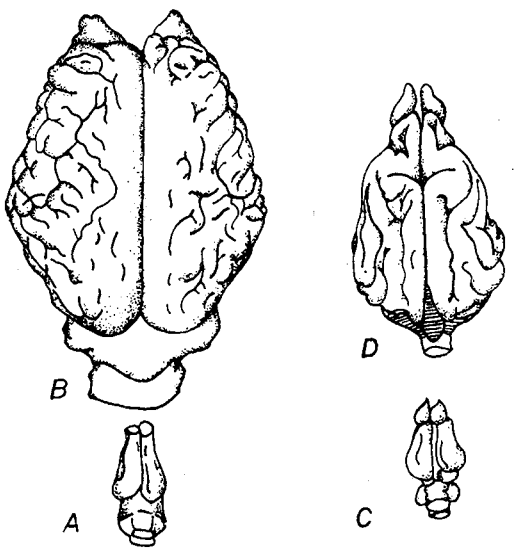

Fig. 13. Comparación de los moldes endocraneales de dos mamíferos actuales, caballo (B) y perro (D), con sus antecesores de principios de la Era Terciaria, *Eohippus* (A) y *Arctocyon* (C). Nótese el aumento de tamaño, el desarrollo de los hemisferios cerebrales que forman el *neopalio* y la fisuración que origina las circunvalaciones cerebrales. (Según Edinger.)

quedado estancadas a distintos niveles, sin llegar a progresar más que hasta un cierto límite.

Entre las diversas modificaciones sufridas por los Vertebrados en el curso de su evolución, la más significativa es la que se refiere a la estructura del encéfalo y, en especial, a los hemisferios cerebrales, en cuya corteza radican los centros nerviosos que sirven para tomar decisiones. Hasta principios de la Era Terciaria, en la serie de Peces-Anfibios-Reptiles-Mamíferos, la evolución del encéfalo es relativamente poco significativa. pero en los Mamíferos placentados, durante la Era Terciaria, ha tenido lugar una aceleración evolutiva en el desarrollo del cerebro, que ha afectado no sólo a su volumen relativo, sino sobre todo a su estructura (fig. 13).

Primeramente se forma el *neopalio,* prolongación hacia atrás de los hemisferios cerebrales, que recubren al mesencéfalo, y luego tiene lugar una completa fisuración en los hemisferios, que origina las circunvoluciones cerebrales, merced a las cuales, sin aumentar el volumen, aumenta considerablemente la superficie donde están situadas las neuronas, de cuyas conexiones resulta una mayor capacidad de decisión para el animal que las posee.

El cerebro de los mamíferos funciona como un ordenador, que puede tomar decisiones de acuerdo con el programa que previamente se le ha dado. Este programa se ha ido perfeccionando en el curso de la evolución, pero no pasa de ser un programa ya establecido. Es indudable que un perro, un caballo o un delfín son inteligentes, en el sentido de que son capaces de tomar decisiones ante determinadas contingencias, pero no tienen libertad de acción, actúan siempre ateniéndose a un programa ya establecido mediante un aprendizaje previo.

Lo mismo ocurre con los Primates más evolucionados, como son el gorila o el chimpancé; aprenden cosas, pero no son capaces de inventarlas, no actúan por propia iniciativa, no tienen libertad de acción y por ésso no han *progresado.*

El origen del hombre

Entrando ahora en el estudio de los Primates, podemos comprobar por el registro fósil, que los primeros Hominidos en sentido estricto, estaban ya diferenciados del resto de los Primates hace, por lo menos, 4 millones de años.

Por el hallazgo de las huellas dejadas por un Primate bípedo, en las cenizas volcánicas de Leatoli, sabemos que la etapa inicial de la evolución humana consistió en alcanzar la posición erguida, liberando las manos de la función ambulatoria, antes de que se desarrollase el cerebro.

Los Hominidos más antiguos que se conocen fósiles, son los Australopitécidos, de los cuales el más representativo

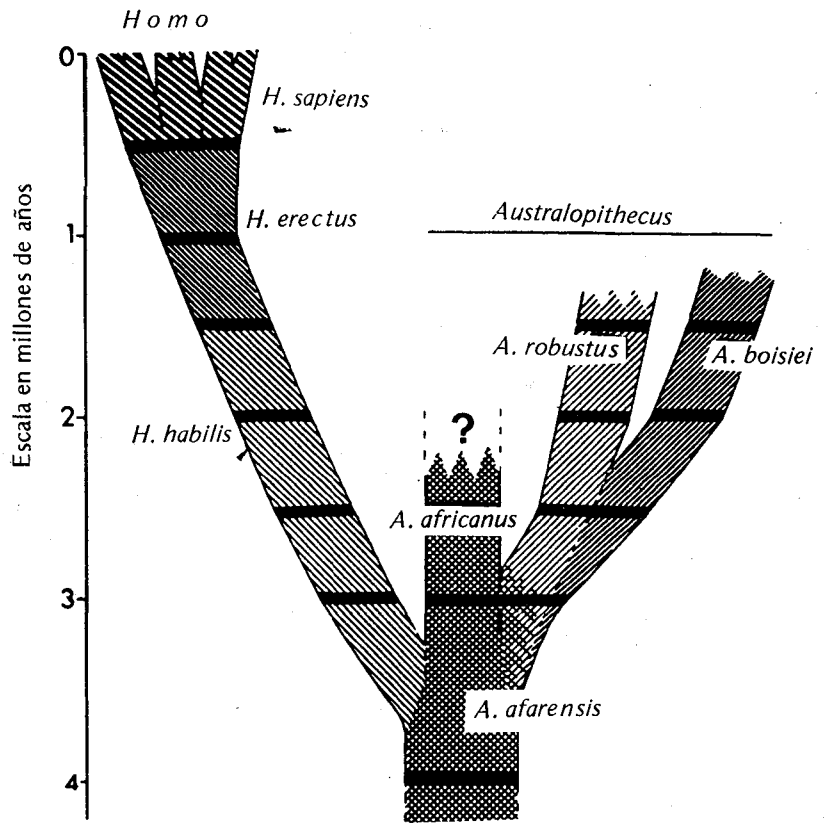

Fig. 14. Ensayo de filogenia de los Homínidos en el Plioceno-Pleistoceno, sobre el que se han situado en la posición cronológica y relativa más probable, los principales hallazgos de *Australopitecos* y *Homo* fósiles. (Según Tobías.)

es el *Australopithecus africanus,* hallado por primera vez en Sudáfrica en 1925, del que posteriormente se han encontrado numerosos restos, cuya antigüedad se remonta a 2.6 m. a. El cráneo tiene caracteres humanos, como son la inserción vertical de los incisivos, el óvalo facial, el escaso prognatismo, las órbitas en posición frontal, etc., pero el volumen del cerebro no sobrepasa los 600 cc., inferior al límite que se considera humano, convencionalmente situado en 750 cc.

Por otra parte, se han encontrado cráneos también de Australopitecos de un tipo más "robusto", con crestas craneales y arcos cigomáticos muy desarrollados, que indican una evolución divergente del tipo más "grácil" al que correspondían los primeros hallazgos, por lo que se supone, que en estos homínidos tuvo lugar una evolución divergente tal como se indica en el esquema filogenético de la figura 14; pero los australopitecos tienen dentición de tipo humano y caminaban en posición erguida, como se deduce de la estructura de la cintura pelviana, análoga a la humana y distinta de la del chimpancé.

Los últimos hallazgos de Australopitecos se han realizado en el Africa Oriental, alcanzando alguno de ellos la increíble antigüedad de 3.5 m.a. El más famoso de estos hallazgos ha sido un esqueleto bastante completo de una hembra, al que humorísticamente dieron sus descubridores el nombre de "Lucy" y que ha sido bastante divulgado. Por haberse encontrado en la región del Afar, ha recibido el nombre de *Australopithecus afarensis* y bien podría tratarse de un representante del tronco basal del que derivarían, por una parte, los demás Australopitecos y por la otra la línea evolutiva que conduce al hombre.

El fósil más antiguo de un posible hombre, parece ser el cráneo hallado a orillas del Lago Turkana, de caracteres humanos, denominado *Homo habilis* por estar asociado a una industria lítica muy primitiva, y cuya capacidad craneal ya se aproxima a la humana, habiéndose calculado su antigüedad en unos 2 m.a., es decir, que fué contemporáneo de los Australopitecos.

Luego encontramos ya los hombres auténticos, cuya capacidad craneal sobrepasa los 750 cc. y cuyos restos se remontan hasta los 700.000 años. Son los "pitecantropos", actualmente denominados *Homo erectus,* descubiertos primeramente en Java y luego en Pekín, en Europa y en Africa, con caracteres claramente humanos, de los que sabemos que eran cazadores y tenían una industria lítica muy elaborada.

En orden cronológico siguen los Neandertales que eran ya hombres como nosotros, *Homo sapiens neandertalensis,* aunque presentan algunos caracteres peculiares, como la arcada superciliar sobre las cuencas orbitarias. Y finalmente, desde el último período glacial, encontramos los restos del hombre actual, *Homo sapiens sapiens.*

La finalidad de la evolución

En todo lo que antecede hemos hecho historia del desarrollo de los seres vivos, especialmente de los Vertebrados hasta llegar al hombre, basada en los documentos fósiles de ésa evolución, y la genética nos ha descubierto el mecanismo por el que ha debido producirse todo el proceso. Pero es ahora el momento de preguntarse, ¿cuál ha sido la Causa Final que ha motivado y dirigido la evolución hasta la aparición del hombre?

La contestación resulta sencilla a la vista de lo que ha ocurrido y de cuál ha sido su resultado: todo parece haber estado programado para que al final aparezca el hombre como culminación de esa evolución que Teilhard de Chardin ha denominado, muy acertadamente, *evolución ascendente*.

Es evidente que en el proceso hay, por lo menos un principio y un fin, y que ese final ha sido la aparición del hombre, por evolución en el tronco de los Primates, de tal manera que, aún en el plano puramente material, ha existido una dirección privilegiada, que parece responder a una *finalidad*.

Sin duda, esa *finalidad* está en un plano superior al puramente material de la evolución, en un plano trascendente que se superpone al material-temporal, y que no sólo es la razón de ser de la evolución, sino que le da una dirección desde su comienzo. Pero no hay que caer en el error de pensar que esa dirección, ha sido a la manera como nosotros la concebimos en lo material, que fuese actuando sucesivamente para asegurar que el camino recorrido era el correcto, sino que está contenida en el *fiat* inicial de todo el mundo sensible que nos rodea. Ahí está contenido todo el proceso de la evolución del mundo inanimado y del de los vivientes, para que desarrollándose, se formase el ambiente adecuado y pudiese, al final, aparecer el hombre.

El hombre tiene una serie de prerrogativas, con relación a los demás seres vivos porque, en primer lugar, es capaz de haber comprendido la evolución que le ha originado. Por eso mismo se encuentra ya fuera de una evolución que ha superado y se sitúa en un plano superior. Los demás animales no saben que han evolucionado, el hombre ha averiguado cuáles han sido sus antecesores, cuál ha sido el proceso y cómo ha ocurrido. Dicho de otra manera, los animales saben cosas, pero no saben que las saben (valga la redundancia), en cambio el hombre tiene conciencia de lo que sabe y saca partido de ese conocimiento.

Al propio tiempo, el hombre es libre y esa libertad, que en los animales supone sólo una mejor coordinación de los centros nerviosos, en el hombre es algo más que éso, es la capacidad de poder decir SI o NO a algo que en el animal ya tendría una respuesta programada, a la que no puede escapar

y que es el resultado de la elaboración de un proceso en su cerebro, que funciona como un ordenador.

El animal no es libre, hará lo que su cerebro le ordene, que será, seguramente, la respuesta más adecuada a cada situación, pero el hombre, además, podrá hacer otra cosa, incluso lo contrario. Ahí reside su libertad y también su responsabilidad.

Otra prerrogativa del hombre consiste en la creencia en el "más allá", que no termina todo con la muerte, y por ésso entierra a sus muertos con ritos especiales, como se ha podido comprobar ya en los neandertalianos. Y cree también en la existencia de un Ser Supremo al que rinde culto.

En cuanto a la Causa Ultima de todo el proceso evolutivo, sólo puede ser la misma que, en el principio de los tiempos puso en marcha todo el mecanismo, el "big-bang" que progresivamente fué originando las nebulosas, las estrellas, los planetas y, en nuestra Tierra, después de una etapa inicial de evolución química, originó los primeros viviemtes que, con el correr de los tiempos, han ido desarrollándose en la forma que acabamos de ver hasta nosotros mismos; en una palabra, es el Sumo Hacedor del Universo, que en su infinita sabiduría pudo, *ab initio* en un único acto creador, organizar todo este maravilloso proceso.

* * *

Notas al texto

(1) Aristóteles (384-322 a.J.C.) inició el estudio y ordenación de todos los animales conocidos en su tiempo, clasificándolos en un cierto número de grupos que denominó *phylla*, distinguiendo los "sanguíneos"(Vertebrados), de los "exsanguíneos" (Invertebrados); dentro de los primeros colocó en *phylla* separados al hombre, a los "vivíparos cuadrúpedos" (Mamíferos), los "ovíparos cuadrúpedos" (Reptiles y Anfibios), los pájaros y los peces, colocando los Cetáceos en un grupo independiente. Los Invertebrados los clasificó en "anillados" (Gusanos e Insectos),"malacostráceos" (Crustáceos), "testáceos" (Moluscos y Equinodermos) y Cefalópodos.

(2) El Naturalista sueco Karl von Linné (1707-1778), fué el que sentó las bases de la clasificación y nomenclatura modernas. Su obra principal fué *Systema Naturae* (1735-1758), que ha sido el punto de partida de la sistemática moderna. Comprende un catálogo razonado de las especies de animales conocidos hasta entonces, distribuidos en *clases, órdenes, familias, géneros y especies;* cada especie la designó con dos nombres latinizados, el primero corresponde al *género* y el segundo a la *especie,* por lo que esta nomenclatura recibe el calificativo de *binómica*.

(3) La idea de la *Scala Naturae* se encuentra ya en Aristóteles, que al ordenar los seres vivos en los grupos indicados, deduce que en la Naturaleza existe un progreso desde los seres más sencillos hasta los más complejos, aunque en un sentido puramente formal, en una ordenación lineal.

(4) A esta Escuela que debe su origen a Goethe, pertenecían la mayoría de los zoólogos alemanes de la primera mitad del Siglo XIX y su influencia se extendió a otros países, principalmente en Francia; sus puntos de vista se relacionan con las concepciones de la *Echelle des êtres,* nueva versión de la *Scala Naturae,* desarrollada por el francés Bennet, a finales del Siglo XVIII, que comprendía desde la simple organización de los minerales, hasta la complejidad de los Mamíferos y del hombre.

(5) La *Enciclopedia,* fundada por Diderot y dirigida por el matemático d'Alambert, se publicó de 1751 a 1765 y se convirtió en un órgano de propaganda laicista, que describía el mundo de los seres vivos, en términos de un orden puramente natural, el cual podía ser investigado mediante la Ciencia y la Razón. Entre otros, colaboraron en esta obra Voltaire, Rousseau, Montesquieu y el mismo Buffon. Su influencia se dejó sentir en el ámbito de las Ciencias Naturales, en la segunda mitad del Siglo XVIII y tuvo como consecuencia su emancipación progresiva de las ideas tradicionales, preparando el terreno a las concepciones evolucionistas.

(6) Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon, estuvo vinculado a los enciclopedistas y su influencia en el campo de las Ciencias Naturales fué comparable a la de Linneo aunque en un sentido muy distinto. Su obra más importante fué una *Historia Natural* en 44 volúmenes. En uno de ellos, *Epoques de la Nature* publicado en 1778, estableció una serie de períodos a través de los cuales habría pasado la Tierra hasta adquirir su configuración actual, con la aparición de grandes animales terrestres, seguida de amplias migraciones a los distintos continentes

(7) Benoit de Maillet (1656-1738) fué un diplomático que viajó por el Mediterráneo haciendo interesantes observaciones geológicas sobre la sedimentación y sobre el origen de los fósiles. En su obra *Telliamed* (su nombre *de Maillet* escrito al revés),explica el origen de los primeros seres vivos en el mar, por generación espontánea y, según sus ideas los animales terrestres procedían de los marinos mediante súbitas transformaciones.

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), fué un Matemático, autor de diversas obras de Ciencias Naturales, entre ellas *Systeme de la Nature,* en la que se refiere a las mutaciones fortuitas, que originan nuevas razas en los animales domésticos, achacándolas a accidentes sufridos por los gérmenes. Sugiere que de esta forma pudieron, a partir de un par de individuos, formarse diversas especies; y a fuerza de mutaciones de este tipo, se habría originado la gran diversidad de especies existentes.

(8) Erasmus Darwin (1731-1802), médico, naturalista y filósofo, publicó en 1794 su obra *Zoonomia or the laws of organic life,* en la que aborda algunos problemas relacionados con la evolución. Hace referencia a las metamórfosis que en su desarrollo sufren ciertos animales y a los cambios que se producen por cruzamientos o por cambios climáticos y por influencias prenatales; sugiere además que si estos cambios ocurren en un corto período de tiempo, no sería atrevido imaginar que con el tiempo que hace que el mundo existe, quizás millones de años, viendo la unidad del plan de organización de los animales de sangre caliente, se inclina a creer que han sido producidos de esta forma, a partir de un germen dotado de animalidad, con facultad de irse perfeccionando de generación en generación. Finalmente, ampliando estas ideas, llega a plantear la posibilidad de que todos los seres vivos procedan por evolución, de un único germen, surgido por generación espontánea.

(9) Jean-Baptiste Monet, Caballero de Lamarck (1744-1929), se había distinguido por sus estudios de Botánica; en 1793 fué nombrado Profesor de Zoología en el Museo de Historia Natural y desde entonces centró sus trabajos en el estudio de los Invertebrados, a los que dedicó diversos trabajos. En 1809 publicó su obra fundamental sobre la evolución bajo el título de *Philosophie Zoologique,* en la que expone sus puntos de vista, que se pueden resumir en estos 4 puntos:

-todos los seres vivos son producto de la Naturaleza, que los ha formado a lo largo del tiempo;
-los organismos más simples se han originado y se siguen formando directamente, en lugares y en circunstancias favorables, por generación espontánea;
-a partir de estos organismos elementales, la vida misma, que posee la cualidad inherente de hacer progresar su organización, y la influencia de nuevas causas ambientales y de nuevos hábitos, han ido produciendo, a lo largo del tiempo, todos los demás organismos;
-las especies actuales, que han sido así formadas gradual y sucesivamente, tienen sólo una constancia relativa y no pueden ser tan antiguas como lo es la Naturaleza.

Segidamente da una explicación del proceso evolutivo que se puede resumir en tres puntos:
-la producción de un nuevo órgano en un animal, es el resultado de una necesidad nueva y de la nueva necesidad que esta función crea y mantiene;
-el grado de desarrollo de los órganos y su fuerza de acción son proporcionados al uso que se hace de este órgano;
-todo lo que ha sido añadido, adquirido o cambiado en la organización de un individuo durante el curso de su vida, se mantiene y trasmite a sus descendientes.

(10) Lamarck ilustra sus ideas con una serie de ejemplos concretos, como la atrofia de los ojos en los topos, por su vida subterránea; la pérdida de las extremidades en las serpientes, por arrastrarse sobre el suelo y por el hábito de caminar por lugares angostos; o la atrofia de las alas en los insectos debido a su vida sedentaria. Por otra parte, el desarrollo de membranas interdigitales en las aves acuáticas para facilitar la natación; el alargamiento de las patas y del cuello en las que viven en regiones pantanosas, para mantenerse fuera del agua y poder coger el alimento del fondo; el cuello de la jirafa, que se ha alargado por su costumbre de ramonear en la copa de los árboles, en regiones áridas donde escasean los pastos. Hay que reconocer que algunos de sus ejemplos son muy sugestivos.

(11) Charles-Robert Darwin (1809-1882) inició estudios de medicina en Edimburgo y luego siguió la carrera eclesiástica en Cambridge, hasta 1831, licenciándose en Letras. Allí estudió Geología con el Prof. Sedgwick y trabó amistad con el botánico Henslow que despertó en él la afición por las Ciencias Naturales. Fué entonces cuando fué designado como Naturalista en la expedición del Beagle que duró casi cinco años, dando la vuelta al mundo, y fueron sus observaciones directas sobre la naturaleza, especialmente en Sudamérica, las que le llevaron a su concepción sobre la evolución de los seres vivos. A su regreso publicó una Narración del viaje realizado (1839) y varios trabajos sobre los arrecifes de coral (1842), sobre Geología de las Islas volcánicas y sobre Geología de Sudamérica (1846), además de una extensa monografía sobre los Cirrópodos (1851-1854).

Durante estos años, estuvo elaborando su teoría sobre la evolución, hasta que en 1858 recibió una carta de A. R. Wallace que estaba trabajando en el Archipiélago Malayo, donde le exponía ideas análogas a las que él mismo había estado elaborando desde hacía 20 años; gracias a la intervención de sus buenos amigos, el geólogo Lyell y el botánico Hooker, ambos se pusieron de acuerdo y presentaron una nota conjunta ante la Linnean Society en 1858. Al año siguiente publicó su obra principal *On the origin of species by means of Natural Selection*, en la que exponía con mayor extensión sus ideas sobre la evolución y sobre el proceso de *selección natural*, que tuvo un notable éxito.

En 1871 publicó su segunda obra *The descent of Man and selection in relation to sex*, en la que exponía su nueva teoría de la *selección sexual*, y sus ideas sobre el origen del hombre por evolución a partir de otros Primates. Este libro fué motivo de una fuerte polémica, porque chocaba de plano con las ideas tradicionales, que preconizaban para el hombre una creación especial. Hay que reconocer que sus argumentos no estaban, en esta ocasión, a la misma altura que los expuestos en *El origen de las especies*, especialmente en lo referente al comportamiento humano que pretendía también derivar por evolución, del de los Primates más elevados; pero hay que tener en cuenta, en su descargo, que en aquella época, el hombre fósil era prácticamente desconocido, y que a pesar de todo, tuvo la intuición de establecer la relación de dependencia entre el hombre y los Primates.

(12) En la segunda parte de su obra *El origen de las especies*, Darwin expone su teoría sobre la "selección natural", que fué la que le dió más fama, y que puede resumirse así:

- las especies animales se reproducen a mayor ritmo que el necesario para mantener su número entre ciertos límites. Sin embargo las poblaciones, aunque sujetas a fluctuaciones, permanecen estables;
- debe existir competencia entre los individuos de una misma especie y entre los de especies distintas, por el espacio vital, por el alimento y por la elección de pareja, para que los caracteres individuales se trasmitan a la siguiente generación;
- dentro de una misma especie no hay individuos idénticos; todos presentan ciertas variaciones hereditarias;
- en la *lucha por la existencia*, los individuos mejor dotados para sobrevivir en un determinado ambiente, son los que tienen mayor probabilidad de sobrevivir y de reproducirse; los otros son eliminados por la competencia;
- los caracteres favorables, que hicieron posible la supervivencia, son heredados por las generaciones futuras, y la acumulación de estos caracteres favorables, conduce a la aparición de nuevas especies mejor adaptadas a un determinado ambiente.

(13) N.Eldredge y S.J.Gould, en 1972, propusieron la teoría del "punctuated equilibrium", como alternativa al "gradualismo" filético, para dar una explicación a las discontinuidades que frecuentemente se observan en el registro fó-

sil, aún en series estratigráficas en las que la sedimentación ha sido aparentemente continua. El término "punctuated equilibrium", utilizado por los autores de la teoría, puede traducirse más adecuadamente por "equilibrio interrumpido", pero es preferible emplear la palabra original castellanizada utilizando la expresión "equilibrio puntual" o también "equilibrio puntuado", por estar ya muy extendido su uso en la literatura científica.

(14) *Especiación alopátrica* es la que se produce por segregación de una parte de la población, que viene a ocupar un ambiente periférico, donde evoluciona aisladamente. En el caso de que la población inicial, de donde procede, llegase a desaparecer, podría ser sustituida por una de las periféricas evolucionada, mediante una amplia migración, lo cual daría lugar a una discontinuidad en el registro fósil. Esto parece que ocurrrió, p. ej., con los Trilobites del Devónico del género *Phacops* en Norteamérica, según los estudios realizados por Eldredge en 1974.

(15) La *neotenia* es un proceso por el cual, en determinadas circunstancias, individuos juveniles llegan a alcanzar la madurez sexual, eliminando de esta forma en su descendencia los caracteres que corresponderían al adulto. La *pedomorfosis* supone la persistencia en el adulto de ciertos caracteres juveniles o larvarios, sin que sea necesaria la madurez sexual prematura.

Extracto de Bibliografía en Español

Aguirre, E.: *El origen del hombre.* Biblioteca Salvat G.T., Barcelona, 1973.

Aguirre, E. (Coordinador): *Paleontología.* Nuevas tendencias. C.S.I.C., 1989.

Aguirre, E., Meléndez, B y Valls, A.: La evolución en la biosfera. en *Historia Natural,* t. 4, Ed. Carroggio, Barcelona, 1980.

Carter, G.S.: *Cien años de evolución.* Ed. Taurus, Madrid, 1959.

Clarkson, E.N.K.: *Paleontología de Invertebrzdos y su evolución.* Ed. Paraninfo, Madrid, 1986.

Crusafont, M.: *Evolución y ascensión.* Ed. Taurus, 1960.

Crusafont, M.: *Origen, evolución y singularidad del hombre.* Taurus Ed., 1965.

Crusafont, M.: *El fenómeno vital.* Nva. Col. Labor, 1972.

Crusafont, M., Meléndez, B. y Aguirre, E.: *La evolución.* B.A.C., Madrid, 1976.

Darwin, Ch.R.: *El origen de las especies por medio de la selección natural.* Ed. Grijalbo, México, 1957.

Darwin, Ch.R.: *Viaje de un naturalista alrededor del mundo.* Ed. Libr. El Ateneo, Buenos Aires, 1951.

Darwin, Ch.R.: *El origen del hombre.* Soc.Ed. Latino-Americana, Buenos Aires, 1945.

Dodson, E.O.: *Evolución: proceso y resultado.* Omega, 1963.

Fernández Mercantoni, J.L.: *La Evolución según Teilhard de Chardin.* Ed. Castellví, Santa Fe (Argentina), 1970.

Grassé, P.P.: *La evolución de lo viviente.* Blume, 1975.

Henning, W.: *Elementos de una sistemática filogenética.* EUDEBA, Buenos Aires, 1968.

Leonardi, P.: *La Evolución biológica.* FAX, Madrid, 1961.

Leonardi, P.: *Carlos Darwin y el evolucionismo.* FAX, 1961.

Maynard Smith, J.: *Acerca de la Evolución.* Blume, 1979.

Maynard Smith, J.: *La teoría de la evolución* Blume, 1984.

Johanson, D y Edey, M.: *El primer antepasado del hombre.* Ed. Planeta, Barcelona, 1982.

Mayr, E.: *Especies animales y Evolución.* Ed. Ariel, 1968.

Meléndez, B.: *Paleontología.* Ed. Paraninfo, 1982-1985.

Piveteau, J.: *De los primeros Vertebrados al Hombre.* Nva. Col. Labor, Barcelona, 1967.

Piveteau, J.: *Origine et destinée de l'homme.* Masson, Paris y Barcelona, 1983.

Savage, J.M.: *Evolución. Las teorías más recientes de las fuerzas básicas evolutivas.* Cia. Ed. Continental, S.A., México, 1964.

Simpson, G.G.: *La vida en el pasado.* Alianza Editorial, Madrid, 1957.

Simpson, G.G.: *El sentido de la Evolución.* EUDEBA, Buenos Aires, 1961.

Taylor, G.R.: *El gran misterio de la evolución.* Ed. Planeta, Barcelona, 1983.

Teilhard de Chardin, P.: *El grupo zoológico humano.* Taurus, Madrid, 1957.

Teilhard de Chardin, P.: *La visión del pasado.* Taurus, 1958.

Teilhard de Chardin, P.: *La aparición del hombre.* id. 1961.

Templado, J.: *Historia de las teorías evolucionistas.* Ed. Alhambra, Madrid, 1974.