

NōS

Oposicións

BIOLOXÍA E XEOLOXÍA

TEMA 19. La historia geológica de la Tierra. Fauna y flora fósiles.

www.nosoposicions.com

www.espazonos.com

**GRAZAS
XCONFIAR
EN NōS**

Experiencia e innovación
na formación de opositores.

| ÍNDICE DE CONTIDOS

- 1. Historia pregeológica de la Tierra**
- 2. Historia geológica en el tiempo Precámbrico**
 - 2.1. Eón Hádico (4.567 A 4.000 M.A)**
 - 2.2. Eón Arcaico (4.000 A 2.500 Ma.)**
 - 2.3. Eón Proterozoico (2.500 A 538,8 Ma.)**
- 3. Historia geológica en el Eón Fanerozoico**
 - 3.1. Los continentes se acercan a su actual configuración**
- 4. Cambios en la atmósfera hacia la actual**
- 5. Registro fósil precámbrico**
- 6. Registro fósil paleozoico**
- 7. Registro fósil mesozoico**
- 8. Registro fósil cenozoico**
- 9. Las extinciones, auténticas catástrofes de la biosfera**
- 10. La conquista del medio terrestre por los organismos pluricelulares**

1. HISTORIA PREGEOLOXICA DE LA TIERRA

Independientemente del mecanismo como se formaron los planetas, en la actualidad se asigna al sistema solar una edad de 4.600 Ma. Las edades más altas de las rocas naturales terrestres más antiguas hasta ahora encontradas en la superficie terrestre raramente sobrepasan los 3.000-3.500 Ma. El no poseer representantes de materiales formados durante los 1.000 o más primeros millones de años de la historia del planeta, puede ser simplemente debido a que los materiales de mayor antigüedad han desaparecido, sirviendo como materias primas para la formación de rocas más recientes, ya que teniendo en cuenta la reconstrucción a que están sometidos los materiales terrestres durante los procesos geológicos, la probabilidad de encontrar materiales muy antiguos es tanto menor cuanto mayor es su edad.

No deja de ser interesante, en este sentido, que entre las primeras rocas traídas de la Luna por la misión Apolo XI (que, lógicamente, no tienen por qué ser las más antiguas de la Luna) había ejemplares con edades cercanas a los 4.500 Ma., es decir, bastante más antiguas que las más viejas encontradas en la Tierra. Este hecho es explicable si se tiene en cuenta que la Luna es un cuerpo planetario en el que no existe una dinámica reconstructiva del tipo de la que existe en la Tierra, y en la que los cambios que existen son fundamentalmente de origen externo, provocados por los impactos meteóricos.

De todas formas, estos 1.000-1.500 Ma. de historia pregeológica son una incógnita por hoy imposible de desvelar. Al comienzo de este período, la masa de partículas meteóricas fueron agrupándose: al principio a un ritmo creciente—por el aumento de atracción gravitatoria, como consecuencia del aumento de masa—y más lentamente al final—a consecuencia de la lejanía y de la escasez de las partículas susceptibles de ser captadas por el planeta—, hasta constituir una masa esférica que adquirió una temperatura mayor que la que tenían las partículas iniciales, como resultado del calor generado por los impactos, tanto mayor cuanto mayor fuera la masa del planeta creciente, pues la aceleración de la gravedad iría creciendo.

Se ha calculado que el calor generado por los impactos de las partículas sería suficiente como para calentar la Tierra a temperaturas del orden de 20.000 °C, más que suficiente para transformarla en una masa totalmente fundida. Lógicamente gran parte de este calor se disipó en el espacio por irradiación, por lo que aquella cifra puede rebajarse considerablemente sin más que admitir un período de acreción o acumulación de partículas suficientemente grande para que las pérdidas de calor al espacio sean apenas compensadas por el calor generado en los choques.

Aun existiendo todas estas incertidumbres, generalmente se admite que en la primera fase de formación de la Tierra la temperatura del planeta debió ser mayor que la actual, no sólo por el calor originado por los choques, sino también por el generado por la desintegración de elementos radiactivos de vida corta que hoy han desaparecido, por la desintegración de los elementos radiactivos de vida larga que existían en mayor proporción que en la época actual y por otras causas posibles, tal como la fricción de materia, originada por transporte gravitatorio en el interior del planeta.

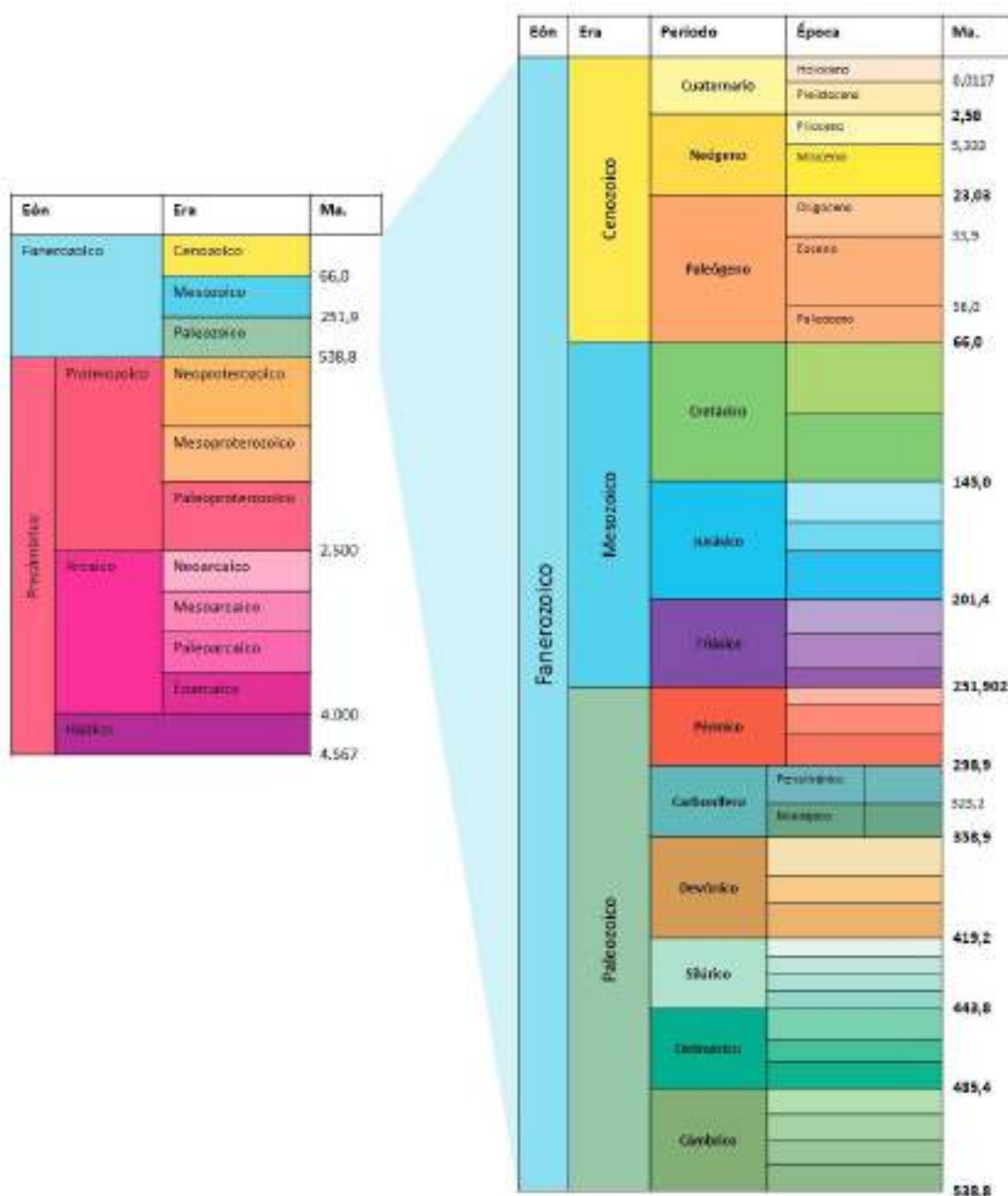
A temperaturas mayores que las que existen en la actualidad, los materiales que constituían la Tierra podrían recristalizar e incluso fundirse parcial o totalmente, facilitándose en cualquier caso el transporte de materia en el interior, por disminución de la viscosidad de los materiales a temperaturas de unos pocos millares de grados.

Muchos suponen que en este *período pregeológico*, y quizá muy al principio de él, se produjo una diferenciación general de la materia terrestre, acumulándose los elementos químicos, o sus compuestos estables, para cada condición específica de presión y temperatura en zonas concéntricas, donde los materiales más densos ocuparían las zonas profundas del planeta y los más ligeros las zonas progresivamente más externas.

También en este período pregeológico debieron formarse las cubiertas más externas de la Tierra, hidrosfera y atmósfera. En las hipótesis hoy más aceptadas de formación de la Tierra, (por acumulación de partículas inicialmente frías que adquieren una mayor temperatura como consecuencia de la acreción) las envolturas fluidas de la Tierra no existirían al principio y se formarían probablemente poco a poco, por los procesos de descomposición térmica de minerales con "componentes volátiles" en su estructura [(OH), (CO₂), Cl, etc.] que se liberarían en forma de gases, especialmente durante los procesos de fusión que ocasionarían las erupciones volcánicas. Estos gases volcánicos (principalmente H₂O, CO₂, CO, N, H, SO₂, SH₂, Cl, etc.) en parte se condensarían en la hidrosfera y en parte formarían la atmósfera primitiva, las cuales tendrían una composición muy diferente de la actual.

2. HISTORIA GEOLÓGICA EN EL TIEMPO PRECÁMBRICO

Los procesos geológicos y morfogenéticos, normalmente, ocurren tan lentamente que exceden las posibilidades de observación humana. Por esta razón los geólogos han ido desarrollando desde el siglo pasado una escala de tiempo, basada en eventos geológicos y biológicos globales, que se utiliza como marco de referencia temporal absoluta. Se toma como inicio la época de formación de la Tierra aunque se cuenta hacia atrás en millones de años. Los lapsos se establecen con criterios geológicos estratigráficos y biológicos. Los grandes períodos tienen un alcance planetario y son los fundamentales para establecer el tiempo geológico. (Figura 19.1).



La moderna escala de tiempos geológicos es una suma generalizada de acontecimientos geológicos planetarios (los menos), continentales (algunos) y regionales (la mayoría). Los límites son reales sólo en determinados puntos de la Tierra, en el resto, sólo son una fecha que no coincide con ningún acontecimiento geológico específico.

Dentro del tiempo Precámbrico se distinguen tres eones: Hádico, abarca desde hace 4.567 Ma. hasta 4.000 Ma., Arcaico, abarca desde hace unos 4.000 Ma. hasta 2 500 Ma. y Proterozoico, desde 2 500 Ma. hasta 538,8 Ma.

Dado que las rocas precámbricas son muy antiguas, la mayoría ha estado sujeta a muchos cambios. Gran parte del registro litológico del Precámbrico se compone de rocas metamórficas muy deformadas. Esto dificulta la interpretación de los ambientes del pasado, porque se han destruido muchas de las pistas presentes en las rocas sedimentarias originales.

La datación radiométrica ha proporcionado una solución parcial a la problemática tarea de fechar y correlacionar las rocas del Precámbrico. Pero el desenredar el registro Precámbrico complejo sigue siendo una tarea desalentadora.

2.1. Eón Hádico (4.567 a 4.000 M.a)

El Hádico corresponde al tiempo pregeológico de la Tierra, en la cual se van diferenciando las capas de la Tierra. La contracción gravitatoria, los impactos de planetesimales y meteoritos, y la desintegración de elementos radiactivos ocasionaron el aumento de la temperatura que hizo que los diversos compuestos químicos tuvieran la movilidad suficiente para diferenciarse por densidades.

En este período de tiempo, cuyo nombre deriva de Hades, dios de los infiernos, se produjo la formación de la Tierra en el entorno del Sistema Solar. Poco después, a causa de un gran impacto sobre la Tierra de un cuerpo rocoso del tamaño de Marte (Theia), se formó la Luna.

En rocas lunares, meteoritos y algún satélite del Sistema Solar se han calculado edades cercanas a 4.500 Ma. Sin embargo, no existen rocas terrestres anteriores a 4.000 Ma., ya que la tectónica de placas y la erosión han borrado los rastros más antiguos que pudieran haber existido. En ese este lapso de tiempo se fue enfriando la superficie terrestre.

La atmósfera terrestre es completamente reductora, es decir, carece de oxígeno gas y está formada por gases como el hidrógeno, el metano, amoníaco, CO₂, etc. La superficie terrestre recibe continuos impactos de meteoritos

Principales eventos del Hádico

- a) Formación de la Tierra.
- b) Formación de la primera atmósfera (sin oxígeno).
- c) Gran bombardeo meteorítico.
- d) Formación de la Luna.
- e) Formación de océanos primitivos.
- f) Formación de la litosfera.
- g) Formación de las primeras rocas.

2.2. Eón Arcaico (4.000 A 2.500 Ma.)

La temperatura, más moderada, permitió la condensación de la mayor parte de los vapores, incluida el agua, y empezaron los procesos geológicos propiamente dichos de erosión de la corteza primitiva y sedimentación en los océanos, originándose las primeras rocas sedimentaria, que han llegado hasta nosotros profundamente transformadas por los procesos de metamorfismo, pero en las que aún se reconoce su remoto origen sedimentario.

La atmósfera terrestre quedaría formada por ciertos gases que actualmente se desprenden sólo de los volcanes y que posteriormente han desaparecido: metano, ácido sulfhídrico, amoníaco; además de nitrógeno y anhídrido carbónico, pero sin oxígeno libre.

Este eón comienza con la aparición de las primeras rocas hacia los 4.000 Ma. Rocas sedimentarias más antiguas, conocidas y depositadas en ambiente marino = primera evidencia de hidrosfera.

Hay asociaciones de rocas verdes (grauvacas) y rocas volcánicas básicas y ultrabásicas incluidas en macizos graníticos-gneísicos, de una edad de 3.800 Ma.

Hace unos 3.900 Ma., al enfriarse la Tierra, apareció la primera litosfera continental (150 - 200 km. de espesor), de composición principalmente de anortositas y gabros. A partir de aquí comenzó la Tectónica de Placas con la aparición del primer rift continental, hacia 2.700 Ma. Por esa época también se inicia el desarrollo de plataformas continentales, grandes cratones. Acontecerá una gran actividad tectónico - magmática que finalizará hacia 2.500 Ma. y de cuya actividad comienza a liberarse los primeros indicios de oxígeno hacia la atmósfera (< 1% O₂).

Es muy probable que durante la primera parte del período Arcaico se haya realizado la síntesis previa de compuestos químicos orgánicos (aminoácido, azúcares, bases púricas y pirimidínicas, urea, etc.), necesarios para la ulterior formación de los primeros organismos elementales. La materia prima la proporcionaron los gases existentes en la atmósfera primitiva (metano, amoníaco, ácido sulfhídrico), y la energía necesaria procedía de descargas eléctricas y de las radiaciones ultravioletas, de extraordinaria intensidad, al no quedar bloqueadas en la atmósfera carente de oxígeno.

2.3. Eón Proterozoico (2.500 a 538,8 Ma.)

La litosfera ya debía ser rígida, y hay datos que permiten pensar en una posible movilidad horizontal de las placas:

- a) las variaciones en la declinación magnética alrededor de los 2.000 Ma.
- b) existencia de complejos ofiolíticos (rocas del manto que afloran a la superficie).

Al inicio de este eón se produce un aumento espectacular de la superficie ocupada por la corteza continental, causado por la emisión de grandes cantidades de granitos y rocas afines, que se atribuye a la existencia de fenómenos de subducción generalizados. Este hecho determina la formación de los núcleos de los continentes que hoy conocemos y el comienzo de una tectónica de placas semejante a la actual dará lugar a la formación de por lo menos dos supercontinentes: Rodinia, hace unos 1.000 Ma y Pannotia al final de Proterozoico.

En este período tan amplio se van a estabilizar los primeros continentes. Debían existir dos zonas continentales, divididas quizás en núcleos cratónicos:

- a) Protolaurasia: Ucrania, Escandinavia, Siberia y Norteamérica
- b) Protogondwana: Australia, India, Madagascar, África, Sudamérica, Antártida.

En esa misma época se detecta un significativo aumento de los niveles de O₂ en la atmósfera, superior al 1%. La atmósfera se hace oxidante y aparece una tenue capa de ozono (O₃). Hace unos 670 Ma. la atmósfera alcanza el 7% de O₂.

Hacia finales de este eón tiene lugar lo que seguramente es el período más frío de la historia del planeta (se habla incluso de una "Tierra blanca", cubierta por el hielo, conocido como periodo criogénico). En todos los continentes se pueden reconocer grandes espesores de morrenas glaciares de esta edad.

Entre 1.000 – 538,8 Ma. se dan las intensas glaciaciones precámbricas. Tal vez son debidas al efecto antiinvernadero provocado por la explosión demográfica del plancton calcáreo, que retirarían grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera. Estas glaciaciones pudieron originar la primera EXTINCIÓN masiva de seres vivos.

3. HISTORIA GEOLÓGICA EN EL EÓN FANEROZOICO

Fanerozoico = "Vida visible y llamativa". Este es el eón más reciente y cubre los últimos 544 millones de años. El Fanerozoico consta de la eras Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico.

Comprende un período relativamente corto de la Historia de la Tierra. Desde el punto de vista de la vida es el más importante, puesto que se extenderá por toda la Tierra, diversificándose y aumentando su número en un proceso tal que aún hoy en día no ha concluido.

3.1. Los continentes se acercan a su actual configuración

La deriva continental, a lo largo de este eón, se conoce bastante bien, en base a los datos paleomagnéticos y a las huellas dejadas en el registro geológico, de los choques y separaciones de estas masas continentales.

Como ya sabemos, los rasgos geográficos, climáticos y biológicos de cada continente, sufren continuas alteraciones a medida que cambian su posición y configuración en el globo terráqueo y esto se ha constatado de forma bastante clara en el registro geológico de este eón. La compleja evolución de la Tierra, solamente se interpreta correctamente, si se tiene en cuenta la deriva continental.

- A comienzos de la **Era Paleozoica**, en el **Cámbrico**, existía un continente, llamado **Gondwana** formado por: África, Suramérica, Australia, la Antártida, India y partes de China. En cambio, Norteamérica y el fragmentado resto de Eurasia estaban aislados. Era época de transgresiones marinas y con relativamente abundantes plataformas continentales. Es este contexto tuvo lugar la llamada explosión cámbrica de la biosfera. El clima se fue haciendo más cálido hacia el Cámbrico medio, como se deduce de la mayor extensión de los arrecifes coralinos.



Fig. 19.1. La Tierra en el período Cámbrico, hace unos 500 millones de años.

En el **Ordovícico**, Gondwana se movió hacia el sur y en este continente sobrevino la **glaciación ordovícica**; en el hemisferio norte apenas existían continentes.

La glaciación del Ordovícico es sustituida por un clima más cálido durante el **Silúrico** y una transgresión marina que facilita la extensión de los *graptolites*, fósiles más típicos de este período.

Por aquelas fechas (450 Ma.), un bloque continental, formado por Rusia y el norte de Europa (**Báltica**) se fue acercando a la antigua Norteamérica (**Laurentia**) contra la que acabó por chocar entre el Silúrico y el Devónico. Esta colisión generó la **orogenia Caledoniana** y un nuevo continente, **Laurrusia**. La orogenia Caledoniana modificó el clima cálido, haciéndolo más árido, lo cual originó la formación de las areniscas rojas antiguas.

Desde el **Devónico** (385 Ma.) los continentes comenzaron a aproximarse hacia una Pangea, la última hasta la fecha, que se acabó por formar a finales del Pérmico (alrededor de 240 Ma.). Parece ser que Laurrusia tenía, en estas épocas, un clima ecuatorial.



Fig. 19.2. La Tierra en el Devónico, hace 400 millones de años

En el **Carbonífero** (hace unos 300 Ma.), Gondwana derivó hacia el norte, hasta colisionar con Laurrusia, formándose los Apalaches en Norteamérica y la cadena hercínica en Europa. Como consecuencia de esta colisión aparece la segunda orogenia de la era paleozoica, la **orogenia Varisca**, también conocida como Hercínica. Este movimiento orogénico fue precedido de una transgresión marina (en el Carbonífero inferior) que cubrió gran parte de los continentes. En este período dominan por primera vez los sedimentos químicos sobre los detríticos debido al gran desarrollo de la vegetación continental que favorece la meteorización química. Se había comenzado a fraguar el supercontinente **Pangea**.

Hay que hacer notar, que durante el Carbonífero (325 - 263 Ma.) los bosques de helechos arborescentes y otros árboles de la época, de zonas ecuatoriales y templadas, de los continentes situados actualmente en el hemisferio norte (Norteamérica, Europa, Rusia, Siberia y China), dieron lugar a los depósitos más importantes de **carbón** (hulla y antracita). Por otro lado, el continente de Gondwana, sufrió una segunda glaciación (la **glaciación de Gondwana**), que ha quedado registrada con tillitas en África del sur, Suramérica, India y Australia.

Buena parte de Asia, todavía estaba derivando en el océano Pacífico, y fue en el **Pérmico**, cuando se completo la formación de la Pangea: Siberia chocó con Laurrusia, formando los Urales, con el bloque de Kazajstán y al comienzo del Triásico (225 Ma.) con China. Desde entonces, Laurrusia pasa a llamarse **Laurasia** y la última Pangea ya está formada.

- Como consecuencia de la formación de Pangea a finales del Pérmico el nivel del mar alcanzó niveles muy bajos y las tierras emergidas fueron las mas numerosas de la historia del planeta; las cordilleras, muy elevadas, al atraer las precipitaciones, provocaron la existencia de grandes desiertos en muchas zonas del interior de la Pangea. Se formó un gran océano universal, la **Panthalassa**. Este océano tenía un entrante que a modo de cuña o de gran golfo, se introducía en el supercontinente desde el este, a nivel del ecuador, en donde estaría situada la actual Iberia, entonces de clima ecuatorial. Esta cuña oceánica ha sido denominada el **mar de Thetys**, precursor del actual Mediterráneo.



Fig. 19.3. Triásico, principios de la Era Mesozoica, hace 250 millones de años

Esta Pangea, como todos los supercontinentes, ha tenido una vida geológicamente corta, y ya, a finales del **Triásico** comenzó a fragmentarse. La separación entre Gondwana y Laurasia se produce por la aparición de una dorsal oceánica que extiende el Mar de Tethys de este a oeste. Comienza a formarse el océano Atlántico, primero a nivel del ecuador y luego se abre por el norte y algo más tarde por el sur. Comienza la deriva de las Américas hacia el oeste, que ya es evidente en el **Cretácico** (146 - 65 Ma.), último periodo de la era mesozoica.

Paralelamente, Gondwana, se fragmenta, comenzando la separación por la India, a la que sigue Australia, y quedando la Antártida aislada en el polo sur. Tanto la India como Australia emigran hacia el ecuador, hacia el norte, mientras que África y Suramérica se separan, abriéndose cada vez más el Atlántico sur. Se denomina **CAMP** (*Central Atlantic Magmatic Province*) a la región de volcanes y de extrusión de coladas basálticas que llegaba desde Brasil hasta España consecuencia de la separación de África y Sudamérica.

En el Triásico hay que destacar una división estratigráfica denominada "**Trias**" que fue propuesta por un geólogo alemán para un terreno, que en Alemania consta de 3 tramos o pisos muy bien definidos: *areniscas abigarradas*, principalmente de color rojo en la base (**Buntsandstein**), de facies deltaica; *calizas conchíferas* en el tramo medio (**Muschelkalk**), que corresponde a la transgresión de un mar somero, epicontinental; y *margas irisadas*, con arcillas, yesos y sales diversas (**Keuper**), que corresponden a depósitos lagunares en la parte superior.

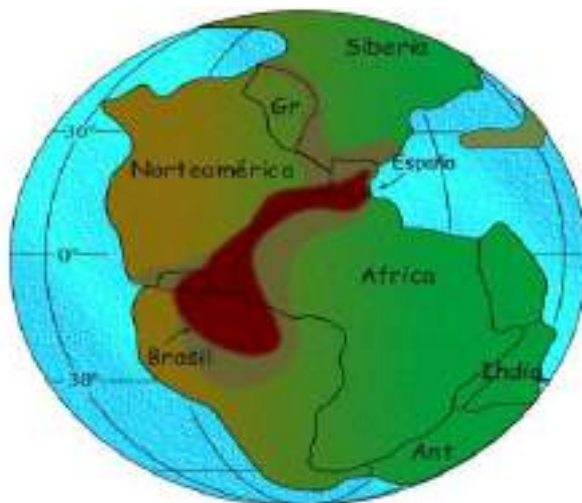


Fig. 19.4. Final del Triásico y comienzo del Jurásico, hace 200 millones de años

Durante el **Jurásico**, Gondwana continúa su fracturación: Madagascar se separa de África, y el Atlántico sur comienza a abrirse. La microplaca Iberia se separa de la Europea, desplazándose hacia el sureste y abriéndose el mar Cantábrico. Al emigrar los continentes americanos hacia el oeste, la litosfera oceánica del Pacífico subduce bajo ellos y se forman las Montañas Rocosas en Norteamérica y los Andes en Suramérica. El microcontinente de **Cimeria** (desde Turquía hasta Pakistán) chocó contra Asia. Estamos ya en plena **orogenia Alpina**.

En general, el mar avanza sobre los continentes, transgresión durante todo el período excepto al final que se produce regresión.

En el **Cretácico**, la evolución geográfica continúa el camino iniciado: emigración de la India hacia el norte y Madagascar hacia el este. Australia se separa de la Antártida completamente. Progresan la apertura del Atlántico sur y el Atlántico con el mar Boreal. Una gran transgresión en este período convierte a los continentes en enormes archipiélagos. La brusca evolución de los orógenos (Andes y Montañas Rocosas) se explica como respuesta a la apertura acelerada del Atlántico.

La dispersión de Pangea, cambió de nuevo el clima hacia uno más cálido y húmedo (típico del Jurásico y del Cretácico), al circular más corrientes oceánicas cálidas entre los fragmentos continentales; además fueron épocas de gran actividad de las dorsales oceánicas, como lo demuestra la rápida apertura de los océanos, como el Atlántico, con el consiguiente aporte de nutrientes inorgánicos expulsados por los volcanes de dichas dorsales, que provocaron una explosión de plancton oceánico durante el Jurásico y Cretácico, que luego daría lugar a la mayor parte de los *yacimientos petrolíferos* de la actualidad, los cuales se formaron, por lo tanto, en estas épocas.

Además, el océano inundó las plataformas continentales, donde se depositaron abundantes calizas marinas, sobre todo en el Cretácico y la diversidad biológica aumentó no solamente por la dispersión continental y el consiguiente aislamiento geográfico, formador de especies, sino también por la rica flora y fauna marina que se estableció en estas plataformas continentales. Debido a una fuerte producción fitoplanctónica, o a una estratificación de las aguas, que provocan una escasez de oxígeno en algunas regiones marinas, se produce sedimentación y enterramiento de gran cantidad de materia orgánica sin descomponer, que se mezcla con las precipitaciones calcáreas. Las calizas negras resultantes se localizan en mares de aguas poco profundas.

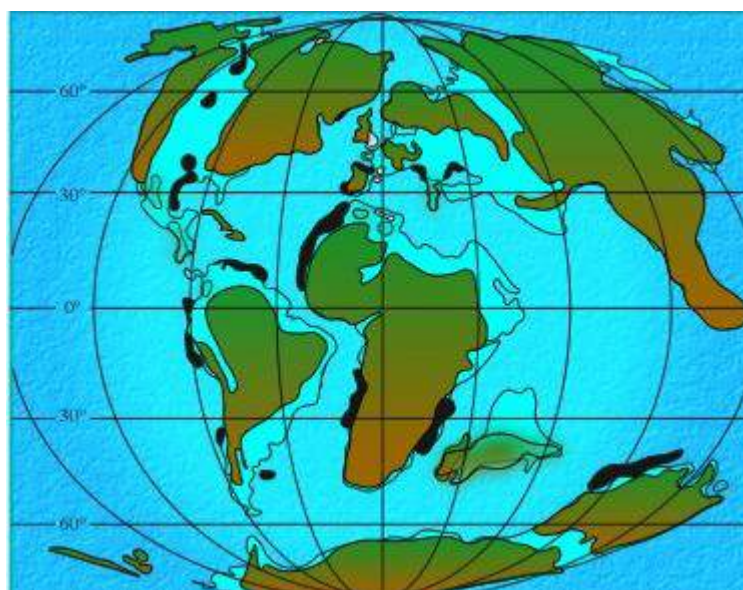


Fig. 19.5. Regiones de sedimentación de calizas negras durante el Cretácico, hace 100 millones de años.

- La **Era Cenozoica**, nos lleva a la geografía y clima actuales. La separación entre el Mesozoico y el Cenozoico no viene marcada por orogenia alguna, sino por la brusca renovación de la flora y fauna que el cambio climático produjo. India acabó por chocar contra Asia y formar así el Himalaya, la última cordillera de la orogenia alpina; Arabia colisionó con Cimeria e Iberia e Italia contra el sur de Europa (Pirineos y Alpes, respectivamente). De esta forma, en la orogenia alpina, se configuran dos grandes zonas de generación de cordilleras montañosas: una este-oeste, de colisión, desde los Pirineos, Cáucaso, Montes Zagros hasta el Himalaya, y otra, subductiva, rodeando el Pacífico, desde Nueva Zelanda hasta Tierra de Fuego en Chile. Es en estos dos cinturones orogénicos, donde se producen una gran cantidad de sucesos geológicos de borde de placa, en la actualidad, como terremotos, erupciones volcánicas, formación de pliegues y fallas, formación de rocas endógenas. Estas zonas constituyen la "tierra inquieta, activa e inestable", a diferencia de los grandes núcleos continentales actuales, de mayor estabilidad y quietud geológica, los escudos africano, brasileño, canadiense, siberiano... La Antártida permaneció libre de hielo hasta hace unos 35 millones de años, en el Oligoceno. Hasta entonces quedaba casi unida a América del Sur y a Australia por mares muy someros.

Las corrientes cálidas que llegaban desde latitudes tropicales mantenían templadas sus costas. Después, la Antártida quedó aislada y rodeada por una corriente circumpolar fría como ocurre en el presente.

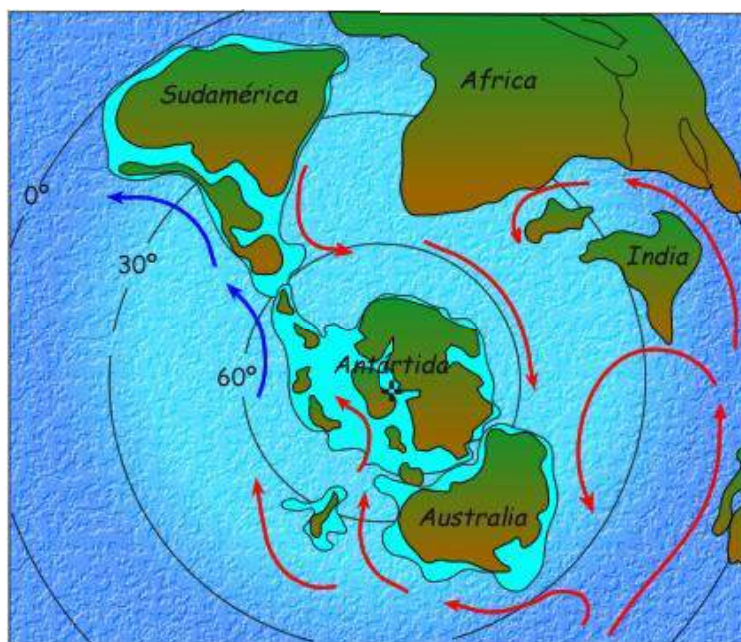


Fig. 19.6. Corrientes marinas hace 35 millones de años

Respecto al clima durante la era cenozoica, se enfrió quizá como consecuencia de las, cada vez más numerosas, cordilleras formadas en la orogenia alpina y el advenimiento, más tarde, de nuestra glaciación cuaternaria (desde 15 Ma.) Durante el período **Terciario** el cambio climático consistió en un enfriamiento general debido a la comunicación abierta entre el mar Boreal y el Atlántico norte, lo que ocasionó un descenso de corrientes frías. Durante el **Cuaternario** el cambio más importante son las grandes glaciaciones que ocasionan la extensión de los casquetes polares hacia latitudes más bajas y la formación de glaciares de montaña más extensos que los actuales. Las variaciones climáticas, glaciaciones-interglaciaciones, vienen marcadas por el avance y retroceso de los depósitos morrénicos los fósiles de animales y plantas.

4. CAMBIOS EN LA ATMÓSFERA HACIA LA ACTUAL

Se puede decir que la característica principal de la atmósfera durante el Arcaico era que el aire apenas contenía unas trazas de oxígeno.

Durante todo este eón, que duró hasta hace 2.500 millones de años, el poco oxígeno que arrojaban los volcanes, o que era producto de la disociación del vapor de agua en la alta atmósfera, era consumido por gases reductores como el monóxido de carbono, el hidrógeno y el metano. El resultado de las reacciones de oxidación era la formación de dióxido de carbono y de agua.

Por otra parte, las rocas continentales que originalmente contenían hierro en forma reducida, esto es, en forma de óxido ferroso, absorbían más oxígeno de la atmósfera y en una reacción de oxidación lo convertían en óxido férrico.

En definitiva, al igual que lo que ocurre hoy en los demás planetas del Sistema Solar, la atmósfera terrestre careció de oxígeno hasta pasada la primera mitad de su historia. Hubo vida mucho antes, pero el oxígeno se hizo esperar.

Las cosas cambiaron con la aparición y el desarrollo de organismos que practicaban la fotosíntesis. Estos nuevos seres vivos cambiaron el equilibrio geoquímico del aire, que hasta entonces había mantenido al oxígeno atmosférico en una concentración muy baja.

En la actualidad el oxígeno constituye el 21 % de los gases de la atmósfera y la Tierra es el único planeta del Sistema Solar con una atmósfera oxigenada. Veamos con más detalle cómo se llegó a ello.

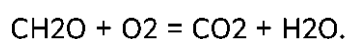
Papel de las cianobacterias

Entre hace unos 3.500 y 2.700 millones de años, las cianobacterias aparecieron en las aguas costeras de los primitivos continentes. Las cianobacterias son un tipo de bacterias que contienen clorofila y pigmentos fotosintéticos que utilizan para captar la energía de la luz solar y sintetizar azúcares. Pueden ser unicelulares o filamentosas, de hasta 0,5 mm de largo. Constituyen una parte muy importante del plancton marino. En los mares templados y tropicales, aún hoy, las cianobacterias unicelulares, minúsculas pero muy abundantes, son las principales generadoras de la producción neta de materia orgánica. A veces viven en simbiosis con otros microorganismos en costas fangosas de escasa profundidad formando una masa compacta, musgosa, y van creando mantos calcáreos de unos cuantos centímetros de espesor llamados **estromatolitos**. Excreciones rocosas fósiles de este tipo, huella de la antigua actividad de las cianobacterias, se han conservado desde el Arcaico hasta nuestros días en diversas partes del mundo y aún hoy se forman en algunas zonas de Australia, de Bahamas, de México y de otros sitios.

Las cianobacterias (antecesoras de los cloroplastos de las células vegetales, según la teoría endosimbionte) eran, y siguen siendo, bacterias fotosintéticas, que fabrican carbohidratos y oxígeno a partir del dióxido de carbono y del agua, usando la luz solar como energía.

A lo largo de la historia de la Tierra, las cianobacterias han sido los principales organismos creadores de oxígeno. Son capaces de vivir en ambientes anóxicos, sin oxígeno, pero, a diferencia de lo que ocurre con otras bacterias, el oxígeno no es para ellas un veneno. Al contrario, les gusta, por lo que pudieron proliferar en el propio entorno oxigenado que ellas mismas fueron creando.

Hasta finales del Arcaico estas cianobacterias siguieron encontrándose en minoría frente a otros tipos más antiguos de microorganismos, que utilizaban otras reacciones bioquímicas para la obtención de su energía vital. Probablemente casi todo el carbono orgánico creado en la fotosíntesis por las aún escasas cianobacterias se oxidaba en la propia **respiración y descomposición** de esas bacterias. De esta forma el carbono era devuelto en forma de dióxido de carbono a la atmósfera y el oxígeno se consumía en un proceso químico (opuesto al de la fotosíntesis) que puede escribirse, de forma también simplificada, de la siguiente manera:



Casi todo el oxígeno que se producía fotosintéticamente desaparecía inmediatamente en la respiración sin quedar en el aire.

La oxidación mineral

En los primeros cientos de millones de años de existencia de las cianobacterias, la diferencia entre el carbono orgánico producido y el consumido era muy pequeña y el oxígeno atmosférico no aumentaba. Probablemente ocurría que, aparte de la respiración y descomposición de la materia orgánica (que consumía casi todo el oxígeno), existía otro proceso depredador del oxígeno atmosférico: la oxidación de algunos minerales. Las rocas de la superficie terrestre eran todavía muy ricas en hierro reducido que, ávido de oxígeno, lo esquilmba del aire nada más formarse.

El aumento de la concentración de oxígeno

Las cosas cambiaron cuando a finales del Arcaico y principios del Proterozoico —entre hace unos 2.500 y 2.300 millones de años— la producción fotosintética comenzó a superar a lo que se perdía en la oxidación de la materia orgánica y en la oxidación de los minerales ferrosos. Esto permitió que su concentración en el aire, al traspasar un umbral de supervivencia, aumentase velozmente. A su vez, las cianobacterias aeróbicas, fotosintéticas, se vieron favorecidas y se multiplicaron exponencialmente, llegando a proliferar en todos los mares. Así, el oxígeno alcanzó en relativamente poco tiempo niveles comparables a los de la atmósfera contemporánea: un 21 % de la mezcla de gases que componen el aire.

No todos están de acuerdo. Para algunos, el proceso de acumulación de oxígeno fue más lento y no se alcanzaron los niveles actuales hasta hace unos 600 Ma., al final del Precámbrico, como lo probaría la aparición entonces de seres vivos celularmente más complejos, que necesitaban más oxígeno y que pudieron aprovecharse de un volumen adecuado para desarrollarse (Lenton & Watson, 2004).

Sea cual sea el período en el que la oxigenación atmosférica alcanzó un nivel importante, 2.000 Ma. o 600 Ma., los análisis de Berner parecen indicar que durante el Fanerozoico, los últimos 500 millones de años, el contenido de oxígeno de la atmósfera ha oscilado entre el 15 y el 35 %. El nivel de oxígeno parece que alcanzó un máximo del 35 % de la composición atmosférica durante el Carbonífero final y comienzos del Pérmico, hace unos 300 millones de años, y bajó bruscamente al 15 % durante la transición del Pérmico final al Triásico, hace unos 250 millones de años. La razón de la fuerte subida de finales del Carbonífero parece estar ligada a un intenso enterramiento de materia orgánica tras el fuerte desarrollo de plantas leñosas vasculares en los continentes. El enterramiento en el mar de grandes cantidades de carbono redujo considerablemente la concentración de CO₂ en la atmósfera y aumentó el oxígeno (Berner, 1999). La bajada posterior de la concentración de O₂ y del enterramiento de materia orgánica pudo ser debida a un enfriamiento, bajada del nivel del mar y a la sequía en los continentes.

A escala de tiempo menor, hay mecanismos complejos que probablemente han regulado y mantenido el nivel próximo al 21 %. Cuando se manifiesta un proceso que rompe el equilibrio, aparece otro que lo restablece. Por ejemplo, si la atmósfera gana oxígeno por una intensificación de la fotosíntesis, puede ocurrir: a) que se intensifique también la oxidación de las rocas, lo que hace que se pierda oxígeno de nuevo; b) que al haber más oxígeno, proliferen en el suelo los microorganismos heterótrofos que se comen y oxidan la materia orgánica enterrada, lo que hace también disminuir la cantidad de oxígeno del aire; c) que con más oxígeno en el aire, aumente la probabilidad de los incendios gigantescos (como los que han ocurrido desde hace unos 400 Ma., desde que la vegetación ocupa extensamente los continentes) con lo que la combustión reduce de nuevo el oxígeno restableciendo el equilibrio. Estos y otros procesos contrarios de reequilibrio ocurrirían si por alguna razón, en vez de aumentar, el oxígeno disminuyese.

El ozono

Una vez que el oxígeno fue suficientemente abundante en la atmósfera, con la ayuda de la radiación solar se fue formando ozono (O₃), a partir de la combinación de una molécula normal biatómica con un átomo libre de oxígeno: O₂ + O = O₃. Por su capacidad de absorción de la radiación solar ultravioleta de tipo B, letal si es intensa, el ozono contribuiría a que fuese más fácil la vida al descubierto en la superficie de los océanos y de los continentes, pues, anteriormente, los organismos vivos no recubiertos de capas protectoras hubieron de protegerse cuando la luz era intensa, sumergiéndose, buscando la sombra o enterrándose.

Disminución de los gases invernadero

A lo largo del eón Arcaico y principio del Proterozoico el clima se fue enfriando, lo que originó, por un proceso de retroalimentación de causa y efecto, que los gases invernadero más importantes —vapor de agua, dióxido de carbono y metano— fuesen disminuyendo.

En un primer momento el enfriamiento producido tras la disminución del calor de origen meteorítico y radiactivo del Hádico hizo disminuir la capacidad higrométrica del aire, pues, al estar el aire más frío, el vapor de agua se condensaba y precipitaba.

La proliferación de las cianobacterias y del fitoplancton marino hicieron que el carbono quedase fijado en forma de materia orgánica planctónica, y en parte enterrado en el fondo del mar, con lo que disminuyó también el dióxido de carbono del aire.

Finalmente, el tercer gas invernadero importante —el metano (CH₄)— también disminuyó a medida que se fue acumulando oxígeno en la atmósfera. Hay algunos investigadores que creen que la atmósfera del Arcaico estaba compuesta esencialmente de nitrógeno y de metano.

Hoy el metano tiene una duración media en la atmósfera de tan sólo diez años, debido a que se oxida: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, pero antes de la acumulación de oxígeno en el aire las moléculas de metano duraban largo tiempo en la atmósfera, miles de años, lo que permitía que su concentración fuese muy elevada. Ese metano provenía, o bien directamente del interior de la Tierra a través de las chimeneas volcánicas, o bien de bacterias metanogénicas del reino de las *Arqueas*, que vivían en las condiciones sin oxígeno de aquella atmósfera. Actualmente las bacterias metanogénicas están confinadas en algunos reductos anóxicos, como son los intestinos de los bóvidos o en los fangos de los campos inundados. Pero entonces eran probablemente mucho más abundantes gracias a la ausencia de oxígeno en el aire. Por fermentación de los carbohidratos esas bacterias metanogénicas fabrican y fabricaban metano: $2\text{CH}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4$. Además, en la atmósfera primitiva, cuando el hidrógeno era más abundante, algunas bacterias podían combinarlo con el dióxido de carbono y fabricarlo también de esta manera: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. Parte del metano así producido era posiblemente consumido por las propias arqueas.

Otra parte quedaba enterrada en los sedimentos en forma, probablemente, de hidratos de metano congelados, y una tercera parte, importante, se escapaba a la atmósfera. Después, hace unos 2.500 millones de años, al acumularse oxígeno en la atmósfera, el metano fue siendo oxidado y su concentración fue disminuyendo. En definitiva, la vida, al crear oxígeno, contribuyó al enfriamiento del planeta.

5. REGISTRO FÓSIL PRECÁMBRICO

La primera evidencia fósil abundante no aparece en el registro geológico hasta comienzos del Cámbrico. Antes del Cámbrico, predominaron formas de vida como las algas, las bacterias, los hongos y los gusanos. Todos estos organismos carecen de partes duras, una condición importante que favorece la conservación. Por esta razón, sólo hay un registro fósil Precámbrico escaso. Se han estudiado con cierto detalle muchas exposiciones de las rocas del Precámbrico, pero a menudo es difícil establecer correlaciones cuando faltan fósiles.

Los terrenos precámbricos afloran en otras muchas localidades, pero especialmente en Australia, en las montañas de Ediacara, de donde procede la fauna fósil mejor conservada de esta época, la cual comprende diversos organismos (medusas, celentéreos, gusanos, etc.), todos ellos carentes de esqueleto calizo, lo cual hace sospechar que, en esta época, los diversos grupos de animales aún no habían desarrollado los mecanismos fisiológicos necesarios para la fijación de carbonato cálcico, lo cual posiblemente sea la causa principal de la ausencia sistemática de fósiles en las rocas precámbricas.

Eón ARCAICO (4.000 a 2.500 Ma.)

El hecho más importante es la aparición de la vida sobre la Tierra. Los primeros seres vivos serían Procariotas (MONERAS), anaerobios que han dejado microfósiles con una edad de unos 3.600-3.500 Ma.

- **Microfósiles de Bitter Springs Chert** (Australia). Son los más antiguos que se conocen; de hace unos 3.600 Ma. Pertenecen seguramente a CIANOBACTERIAS.
- **Microfósiles de Marble Bar** (Australia). Tienen unos 3.500 Ma. de antigüedad. Son cianobacterias y bacterias anaerobias.
- **Fósiles de Warrawoona**. Fueron localizados en el noroeste de Australia ESTROMATOLITOS: rocas que presentan laminaciones concéntricas producidas por la acción de microorganismos que crecen en la superficie atrapando pequeñas láminas de sedimento. Debieron ocupar amplias extensiones en los fondos marinos someros. En la actualidad viven en zonas de elevada salinidad donde no pueden crecer otras formas de vida. Datan de hace unos 3.450 Ma.
- **Formación "Fig Tree"** en Sudáfrica, restos fósiles que datan de hace unos 3.200 Ma.
- **Fósiles de Fortescue** (Australia occidental): estromatolitos abundantes (CIANOBACTERIAS): fotoautótrofos, emisión de O₂ a la atmósfera. 2.800 Ma.

Eón PROTEROZOICO (2.500 a 540 Ma.)

Fósiles de Gunflint (Australia): organismos capaces de metabolizar O₂, de unos 2.100 Ma.

También hace unos 2.100 Ma. aparecen las **primeras células eucariotas** (PROTISTAS). Son tal vez parecidas a algas verdes fotosintéticas unicelulares, y han recibido el nombre de *Grypania*.

En los mares proterozoicos predominan unas células eucariotas que se van extendiendo por todas partes. Estas células están englobadas en el grupo de los *Acritarcos*.

Hacia 1.400 Ma. se muestra otra de las grandes adquisiciones evolutivas, la reproducción sexual. Hace 1.000 Ma. se registran las primeras algas pluricelulares, rojas y verdes.

En 1947 se encontró en Australia, la formación de la **FAUNA DE EDIACARA**, de hace 900 Ma., constituida por invertebrados marinos, que constituye la primera gran explosión de vida sobre la Tierra. Posteriormente, organismos de características muy similares y de la misma edad, han sido encontrados en Inglaterra, Rusia y suroeste de África. La fauna de Ediacara es la más interesante y son los primeros fósiles de animales pluricelulares. Consta de cerca de treinta especies de fondos fangosos marinos, y aunque la mayoría pertenecen a los Cnidarios, existen también gusanos segmentados y organismos con simetría bilateral que no pueden relacionarse con ninguno de los grupos existentes en la actualidad, todos ellos de cuerpo blando. Algunos presentan tejidos reforzados por espículas de carbonato cálcico que representan un primitivo soporte corporal. Su morfología es variada, desde formas esféricas, cónicas y discoidales a alargadas en forma de pluma, o con cierto parecido a las larvas de otros animales (Trilobites), aunque su organización es, generalmente, aplanado y estrecho, con lo que se consigue un aumento máximo de relación superficie/volumen, ideal para los seres que habitan en medios donde son escasas las reservas de nutrientes disponibles.

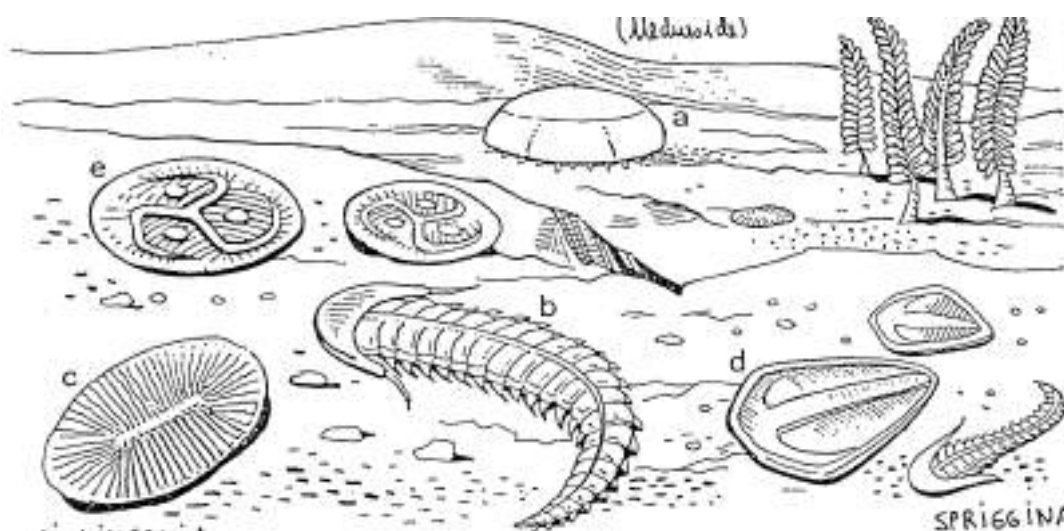


Fig. 19.7. Fauna de finales del Precámbrico (Ediacara-Australia): a) formas semejantes a medusas (1/3 del tamaño real); b) forma parecida a un gusano (x 2); c) forma semejante a un gusano; d) y e) formas de afinidades desconocidas.

Por lo tanto hace unos 1.000 Ma. la vida en el planeta ya presentaba una gran variedad. Aunque los fósiles encontrados son escasos, aparecen en puntos geográficos muy distantes, lo que indica que la vida se extendía por todo el planeta.

Entre 900-700 Ma. surgen los primeros individuos de los reinos hongos y otros animales. Es el desarrollo explosivo de la biosfera.

Hacia finales del precámbrico se dan intensas glaciaciones, debidas quizás al efecto antiinvernadero provocado por la explosión demográfica del plancton fotosintético, que retirarían grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera. Esto pudo ocasionar la primera gran extinción de seres vivos.

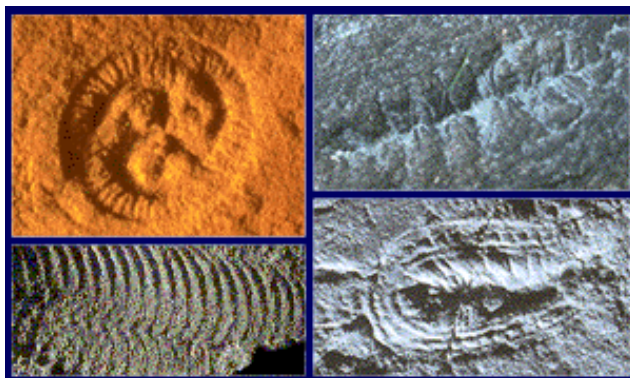
FÓSILES PRECÁMBRICOS



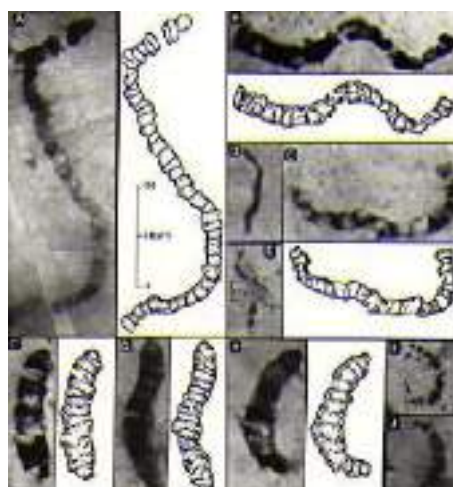
Estromatolitos



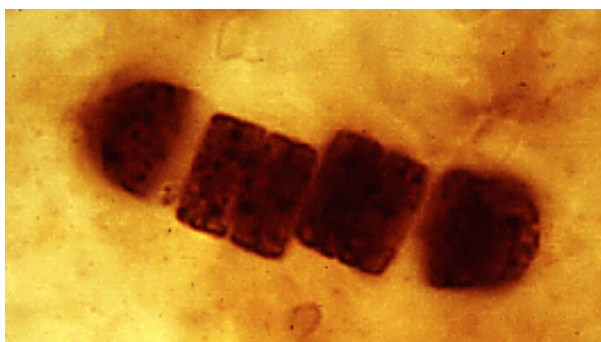
Grypania, primer eucariota fotosintético



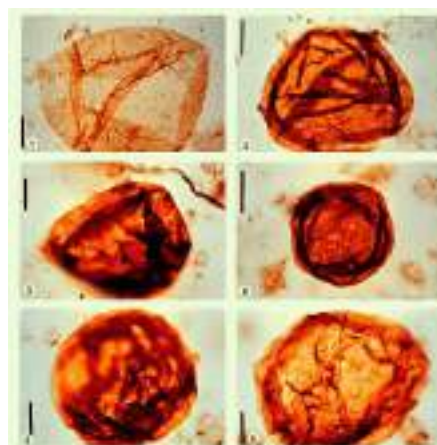
Invertebrados de Ediacara



Primeros eucariotas



Fósiles más antiguos, cianobacterias



Acritarcos, eucariotas unicelulares

6. REGISTRO FÓSIL PALEOZOICO

La explosión de la vida animal

Es a principios del período **Cámbrico**, hace unos 530 Ma., de forma un tanto sorprendente, tal y como lo atestigua el registro fósil, cuando surge una auténtica **explosión de la vida animal**, la llamada revolución cámbrica. Parece ser que este hecho se produjo en tan solo 5 Ma. En los correspondientes estratos rocosos aparecen hasta 10 nuevos tipos de animales, con la representación, de prácticamente, todos los grupos animales actuales: gusanos, artrópodos (con los extintos trilobites), equinodermos, celentéreos, esponjas, actinias, arqueociátidos (organismos análogos a las esponjas), gusanos, moluscos (braquiópodos) y cordados, con la diversidad de estructuras animales de la actualidad.

Los fósiles que corrientemente se encuentran asociados a las rocas paleozoicas, los verdaderamente característicos de esta Era, corresponden a grupos biológicos desaparecidos, sobre todos Invertebrados: Trilobites, Braquiópodos, determinados Cefalópodos: Nautiloideos y Goniatites; ciertos Equinodermos (entre ellos, Crinoideos); Arqueociátidos, Coralaris especiales, Graptolites, Gigantostráceos, ciertos Briozoos y Fusulinas.

En palabras de *F. Anguita*, prestigioso geólogo español: "*A partir de este esfuerzo creativo, la evolución lo único que ha hecho hasta la fecha, ha sido retocar lo inventado, sin aportar ni un solo diseño nuevo*". Este suceso es un claro ejemplo que apoya la **teoría saltacionista** de *S.J. Gould*, según la cual, la evolución pasa alternativamente por fases prolongadas de gradualismo y quietud que alternan con fases cortas de grandes transformaciones, y es en estas fases donde aparecen, como a grandes saltos, nuevos tipos de organización y estructuras vivas novedosas. Las causas del desencadenamiento de estas fases aceleradas hay que buscarlas en alteraciones súbitas del ambiente que provocan presiones de selección que motivan esta rápida evolución.

Es probable, que en el caso que nos ocupa, sean las glaciaciones acaecidas tiempo atrás, durante la llamada "Tierra blanca", las que, al desaparecer, hayan provocado este resurgir vital. Quizá entre otras causas, por un mayor aporte de nutrientes oceánicos, que revolucionan la vida animal de los océanos (los continentes todavía no habían sido conquistados por los animales). De esta forma se aportan calcio, fósforo y otros elementos con un incremento significativo y por esto aparecen formas animales con profusión de caparazones, conchas y esqueletos de fosfato y carbonato cálcico (moluscos, corales, artrópodos...). Las escasas formas animales de etapas anteriores eran de cuerpo blando, sin tales tipos de estructuras calcificadas. Además, el aporte de nuevos nutrientes, habría estimulado la formación de nuevos hábitos alimenticios, apareciendo organismos filtradores, carroñeros, y sobre todo, depredadores.

Los fósiles más característicos del **Cámbrico** son los Trilobites, que se utilizan para establecer su estratigrafía detallada en pisos y zonas. Son también muy importantes los Braquiópodos Inarticulados. Otros fósiles importantes y muy característicos son los Arqueociátidos (exclusivos del Cámbrico), y ciertos Equinodermos.

En el **Ordovícico** continúa la diversificación de la fauna marina. Perduran los trilobites y alcanzan gran desarrollo los braquiópodos y los graptolites, utilizados como fósiles "guía". Los Moluscos adquieren gran importancia como fósiles característicos; abundan los Gasterópodos y los Pelecípodos. Surgen los cefalópodos, y continúa la aparición de briozoos y crinoideos. Aparecen los primeros vertebrados, los peces primitivos agnatos (sin mandíbula), cuyos representantes actuales son las lampreas. Las plantas y los animales comienzan a conquistar las tierras emergidas: con las Briofitas y los Artrópodos terrestres la vida sale de los mares.

Tiene lugar la glaciación Ordovícico-Silúrica que dará lugar a la extinción ordovícico-silúrica (438 Ma.)

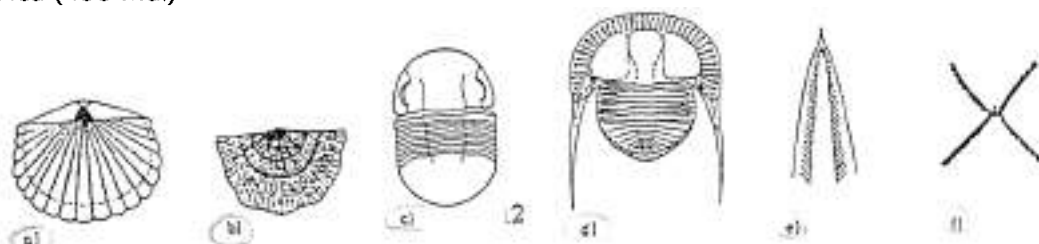


Fig. 19.8. Fósiles del Ordovícico: a) Orthis; b) Leptaena (braquiópodos); c) Illaenus; d) Trinucleus (trilobites); e) Didymograptus; f) Tetragraptus (graptolites).

En el **Silúrico**, debido a la explosión de la vida vegetal y la conquista de la tierra, la atmósfera alcanza un 21% de O₂, como en la actualidad. Las primeras plantas terrestres vasculares, son plantas palustres, con caracteres ambiguos entre algas, briófitos y pteridófitos. Son las llamadas Psilófitas (con tejidos conductores para transportar nutrientes a las partes aéreas) que pertenecen a las Pteridófitas primitivas. A partir del Silúrico superior empiezan a encontrarse artrópodos adaptados a la vida continental. Los primeros fueron los escorpiones, morfológicamente muy parecidos a los actuales.

Durante el **Devónico**, predominan los Goniatites, que se utilizan como fósiles característicos, y los Braquiópodos, con géneros característicos y frecuentes (Spirifer) utilizados como fósiles "guía" en determinadas facies. También son importantes los Pelecípodos, los Crinoideos y los Blatoideos, en cambios los Trilobites, aunque presentan formas muy características, empiezan a escasear. En el Devónico, las plantas terrestres continúan su desarrollo y diversificación (helechos, equisetos, licopodios). En esta época aparecen las primeras Criptógamas vasculares. En el Devónico encontramos los primeros insectos sin alas. Hace unos 390-380 Ma. aparecen los primeros peces dipnoos (con respiración acuática y terrestre) y surgen los predecesores de los peces actuales, los placodermos (con mandíbulas y placas dérmicas). Desaparecen los graptolites y escasean los trilobites. La aparición de la respiración pulmonar y la tetrapodia, condiciones indispensables para la conquista del medio aéreo, se inicia en el Devónico superior. Con unos 360 Ma. de antigüedad, surgen los primeros anfibios (los *Estegocéfalos*), que conservan numerosos caracteres de sus antecedentes, los peces Crosopterigios, que ya pueden caminar por tierra firme y respirar aire atmosférico. A finales de este período tiene lugar la extinción Devónica (358,9 Ma.)

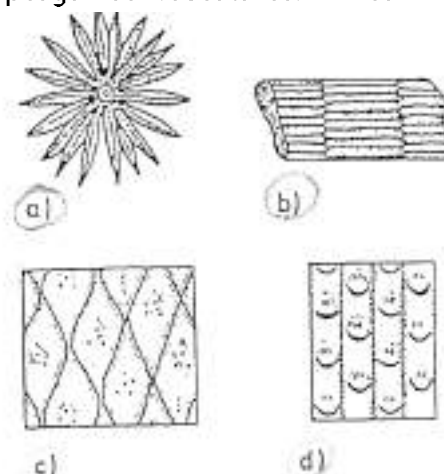


Fig. 19.9. Vegetales del Devónico: a) Anularia; b) Calamites (esfenópsidas); c) Lepidodendron; d) Sigilaria (licópsidas)

Carbonífero (358,9 a 298,9 Ma.): Los Goniatites siguen siendo los fósiles característicos de las facies marinas, aunque en las facies neríticas abundan los Braquiópodos y los Moluscos; en cambio los Trilobites son escasos. En los mares costeros siguen siendo importantes las formaciones arrecifales (Tabulados y Tetracoralarios coloniales). En las facies continentales se desarrolló una fauna muy compleja de Artrópodos terrestres, principalmente Insectos, Arácnidos y Miriápodos. En las charcas y lagunas carboníferas se desarrolló también una fauna muy variada de Anfibios. Los primeros reptiles tienen una edad de unos 340 Ma. Hace 325 Ma. se desarrolla la primera membrana amniótica, que permite la vida independiente del agua a los animales. La vegetación continental llega a su máximo esplendor en esta época, con el desarrollo exuberante de Licopodiales gigantes: *Lepidodendros* y *Sigillarias*; Equisetales de porte arbóreo, *Calamites* y helechos arborescentes que forman espesos bosques en regiones pantanosas. De unos 300 Ma. atrás son las primeras Espermatófitas (plantas con semillas), las Gimnospermas: Pteridospermas que tienen porte de helechos pero que presentan fructificaciones; las Cicadófitas, y ya al final de la Era aparecen las primeras Coníferas. Esto implica la existencia de estructuras reproductoras y especializadas, como el polen y las semillas. Los reptiles colonizan los continentes. Glaciación permo-carbonífera. Se forman los grandes depósitos de carbón.



Fig. 19.10. *Pteridospermas* (helechos con semillas del Carbonífero, difíciles de distinguir de los helechos fósiles): a) Pecopteris; b) Neuropteris; c) Arthopteris. *Cicadófitas*: d) Cicas. *Ginkgofitas*: e) Ginkgo.

Pérmico (298,9 a 251,9 Ma.): Entre 260 y 250 Ma. se da la gran extinción Pérmica, coincidiendo con el fin de la glaciación Permo-Carbonífera (en Gondwana). Hay un clima cálido, gran aridez, enormes depósitos de sales a nivel mundial, gran oscilación térmica, actividad volcánica intensa, que tuvo un efecto importante en la extinción de muchas especies paleozoicas. Los Reptiles inician su desarrollo "explosivo" dando lugar a numerosos grupos, adaptados a los ambientes más diversos, aunque no puede decirse que sean abundantes. Al final del período, hace unos 245 Ma., aparecen los primeros dinosaurios. Los más curiosos son los Pelicosauros, adaptados a la vida en ambientes semidesérticos, destacando Dimetrodon.

FÓSILES PALEOZOICOS



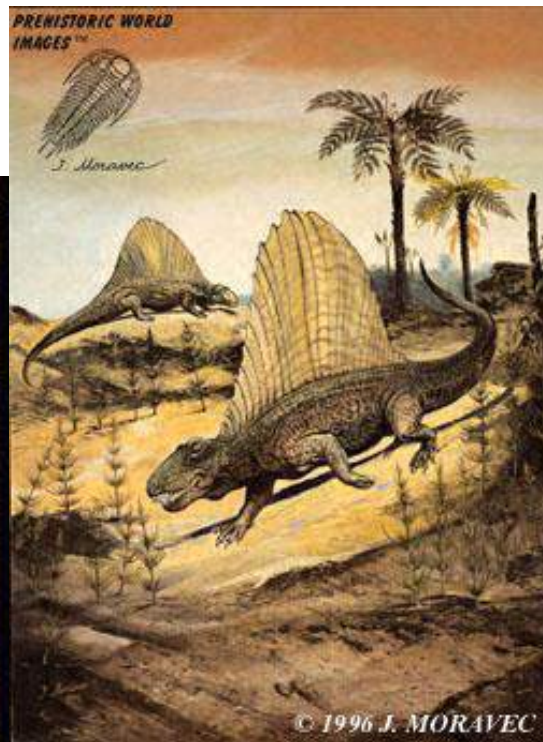
Calceola, Coral, Celentéreo



Cyrtograptus, Graptolitos



Trilobites, Artrópodo marino



Dimetrodon, reptil

7. REGISTRO FÓSIL MESOZOICO

Existe un marcado contraste entre las faunas paleozoica y mesozoica, siendo numerosos los grupos biológicos que, en el tránsito entre ambas Eras, pasan por un período de "crisis", cuya consecuencia es la desaparición de unos y aparición de otros, que caracterizan la fauna mesozoica. Así, por ejemplo, desaparecen los Trilobites, y se desarrollan los Crustáceos Decápodos; a los Tetracoralarios suceden los Exacoralarios; a los Goniatites, los Ammonites; a los Crinoideos paleozoicos, los Crinoideos Articulados; desarrollándose, además, otros grupos nuevos, que dan lugar a fósiles muy característicos: Belemnites, Rudistas, Ostreidos, Rhynchonellas y Terebrátulas, Orbitolinas, etc. En conjunto, se caracteriza el Mesozoico por un neto predominio de los Moluscos.

El carácter fundamental de la Era Mesozoica, en cuanto a los vertebrados se refiere, es el desarrollo inusitado que tuvieron los Reptiles, adaptándose a todos los medios ecológicos, en los continentes, en el mar y también en el aire, llegando a alcanzar tamaños gigantescos.

El Mesozoico es también conocido como la Era de los Ammonites, por ser los fósiles más característicos, exclusivamente mesozoicos y la Era de los Reptiles, por el extraordinario desarrollo que entonces adquirieron los reptiles, en esencial los Dinosaurios.

Período Triásico (251,9 a 201,4 Ma.)

Hace unos 240 Ma. existieron dinosaurios con toda certeza. La cadera de los reptiles se adapta para la carrera veloz. Los **reptiles** tuvieron un gran desarrollo durante el Mesozoico debido a que sus adaptaciones tan variadas les permitieron expandirse a territorios que no habían estado ocupados hasta entonces, e incluso algunos volvieron a los océanos y compitieron con los peces y el resto de la fauna marina. Los grupos de reptiles más importantes de esta fueron:

- Anápsidos*, de las diversas formas que se desarrollaron este grupo sólo han llegado a nuestros días las tortugas.
- Arcosaurios*, incluyen los reptiles voladores que se desarrollaron en este grupo del que derivan las aves y los cocodrilos.
- Lepidosaurios*, es el grupo al que pertenecen la mayor parte de los reptiles actuales, lagartos, serpientes, iguanas, luciones, etc.
- Sinápsidos*, actualmente no tiene representantes, pero es un grupo muy importante dado que por evolución dio lugar a los mamíferos.

Los **arcosaurios** son los reptiles más importantes del mesozoico, dominaron en los continentes durante más de 140 millones de años. Incluyen a los famosos reptiles voladores o pterosaurios, a los dinosaurios y a los tecodontos, de los que derivan los cocodrilos. Los primeros Pterosaurios, tienen unos 205 Ma.

En el Triásico hay que destacar una facies en especial, la facies Germánica, la cual está dividido en tres pisos perfectamente diferenciados:

- el Triásico inferior, *Buntsandstein*, mayoritariamente azoico, salvo restos vegetales.
- el Triásico medio, *Muschelkalk*, caracterizado por los ammonites y un grupo de ceratites y lamelibranquios, braquiópodos, crinoideos.
- el Triásico superior, *Keuper*, nuevamente azoico salvo raras excepciones que presenta lamelibranquios.

Período Jurásico (201,4 a 145 Ma.)

Gran abundancia y diversidad de fauna: ante todos, ammonites y belemnites, utilizados como fósiles "guía"; en menor escala, Pelecípodos, Braquiópodos y ciertos Equinodermos. También insectos, dinosaurios. Son frecuentes los peces Holósteos y aparecen los primeros peces teleósteos. Primeros Mamíferos y Aves. Primeros animales con placenta en el Jurásico superior.

Los **mamíferos** aparecen a finales del Triásico por evolución de un grupo de reptiles sinápsidos, los terápsidos; estos primeros mamíferos son muy difíciles de distinguir de los reptiles dado que sus primeras diferencias se deben a la reproducción y a la fisiología, más que al esqueleto.

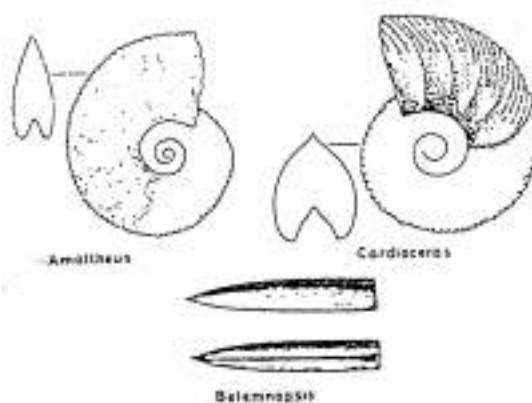


Fig. 19.11. Fósiles del Jurásico: Amaltheus y Cardioceras (ammonites); Belemnopsis (belemnites).

Las **aves**: la teoría tradicional sobre su origen es que evolucionaron de un grupo de reptiles voladores dentro de los arcosaurios, pero en la actualidad, debido a los hallazgos de ejemplares fósiles, tanto en China como en España, con rasgos de ave y dinosaurio, los paleontólogos están estudiando la hipótesis de que las aves proceden de los dinosaurios. Las aves más antiguas que datan de del Jurásico superior son las *Arqueornitas* con el género *Archaeopterix*, cuyo cuerpo estaba recubierto de plumas y donde los caracteres reptilianos dominaban sobre los propios de las aves; no eran buenas voladoras, posiblemente trepaban a los árboles y se dejaban caer planeando; se extinguieron a finales del Jurásico.

Las restantes aves, con caracteres típicos de las aves modernas, se encuentran fósiles desde el Cretácico, y son las únicas que existen en la actualidad.

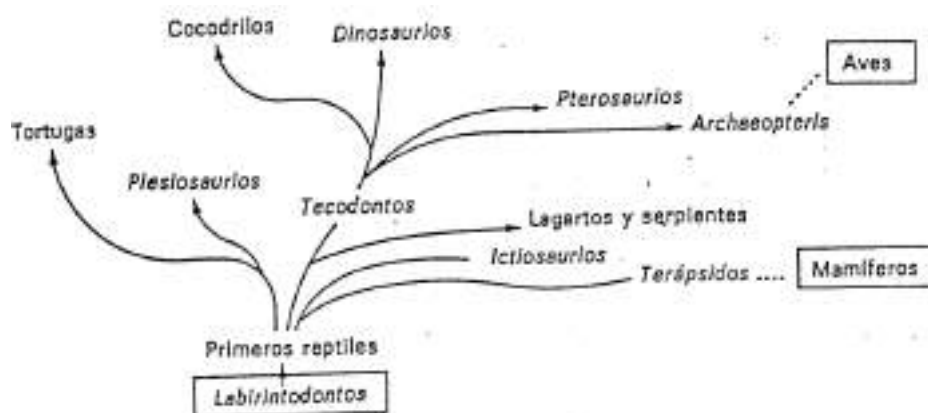


Fig. 19.12. Línea evolutiva de las aves.



Período Cretácico (145 a 66 Ma.)

El hecho más notable de la flora mesozoica es la aparición del ciclo estacional, con alternancia de invierno y verano, que se refleja en la estructura del tronco de las Coníferas del Cretácico, con anillos anuales de crecimiento, que no existen en las del Jurásico. Hace 130 Ma. se registran las primeras Angiospermas, flores y semillas protegidas, lo que va a permitir su expansión hacia el interior de los continentes. Las primeras en aparecer son las Dicotiledóneas (*Magnolia, Laurus, Populus, Eucaliptos, Salix*), y luego las Monocotiledóneas, principalmente las Palmeras.

Los Ammonites siguen siendo fósiles guía estratigráfica, con formas gigantes en el Cretácico superior como Pachydiscus. Abundan los Pelecípodos, principalmente los Ostreidos y los Rudistas.

Comienzan a extinguirse los dinosaurios y continúa el desarrollo de los mamíferos. En el Cretácico hay mamíferos no placentados del grupo de los marsupiales, y al final del Cretácico surgen los mamíferos placentados del tipo insectívoros y del grupo de los primates. Todos estos grupos de mamíferos no llegaron a ser abundantes en el Mesozoico, su gran expansión se produce durante el Cenozoico.

Unos 110-80 Ma. atrás se genera el 60% de todo el petróleo conocido.

FÓSILES DEL MESOZOICO



Ceratites, Cefalópodo



Trigonia, Molusco



Ammonites, Cefalópodo



Belemnites, Cefalópodo



Plesiosaurio, Reptil marino (no era un dinosaurio)

8. REGISTRO FÓSIL CENOZOICO

Por el enorme desarrollo que en esta época alcanzan los mamíferos, también se le ha dado el nombre de "Era de los Mamíferos".

Las diferencias faunísticas entre el Mesozoico y el Cenozoico, son muy acusadas, siendo en general, muy fácil la distinción paleontológica entre ambos. A la desaparición de numerosos grupos de Reptiles (Dinosaurios, Pterosaurios y Ichthyosaurios) sucede el desarrollo en gran escala de los Mamíferos placentados; y a la desaparición de varios grupos de Invertebrados, principalmente Moluscos (Ammonites, Belemnites, Rudistas), Orbitolinas, etc., sucede el desarrollo de los Nummulites y de ciertos grupos de Equínidos exocíclicos, que junto a los Pelecípodos y Gasterópodos, y los Coralarios, así como numerosos Microforaminíferos, son los fósiles más característicos de esta Era.

En cuanto a los Vertebrados, se caracteriza por el desarrollo de los Mamíferos placentados y las Aves modernas, que han debido ser muy abundantes, aunque sus fósiles sean escasos, debido a que son animales que tienen malas condiciones para fosilizar. Es también la época del desarrollo de los Peces Teleósteos, predominando sobre los demás. Los Anfibios y Reptiles, tras la desaparición de los grupos mesozoicos, quedan reducidos a su condición actual.

Paleógen y Neógeno (66 a 2,6 Ma.)

Hace unos 60 Ma. sucedió la radiación de los mamíferos placentados, conociéndose ya desde el Eoceno casi todos los órdenes actuales: 54 Ma. caballos, 50 Ma. ballenas y elefantes. Entre los grupos de fósiles principales, por el número de ejemplares que se localizan, citaremos los ungulados (perisodáctilos y artiodáctilos), los proboscidos, los carnívoros, los insectívoros y los roedores.

Primates con visión estereoscópica y manos prensiles datan de 30 Ma. Hace 20 ma surgieron los primeros Homínidos (familia que incluye a los actuales chimpancés, gorilas, orangutanes y humanos).

Hace 5 Ma. aparecen los primeros Homininos, subtribu de la familia de los homínidos, primates bípedos: *Australopithecus*. Hace 2 ma apareció el género Homo.

Paleógeno: Aparte de los Nummulites, Alveolinas y otros Foraminíferos característicos del Paleógeno, son importantes los Equínidos irregulares, ciertos Exacoralarios y los Gasterópodos y los Pelecípodos. En facies continentales, los restos de Mamíferos, de plantas fósiles Fanerógamas y algunos Gasterópodos de agua dulce.

Neógeno: En las facies neríticas predominan los Moluscos (Pelecípodos y Gasterópodos), con formas muy próximas a las actuales; son muy característicos los Equínidos exocíclicos (Clypeaster). En cambio, los corales son escasos, rara vez forman verdaderos arrecifes, persistiendo formas solitarias o ramificadas. Tienen gran importancia estratigráfica los Microforaminíferos y los Ostrácodos. También abundantes son los Radiolarios y Flagelados, además de Diatomeas. En las formaciones continentales tienen gran importancia los Mamíferos, como fósiles característicos: Mastodontes, Rinocerontes, Hiparión, Rumiantes, Suidos y diversos Carnívoros. Y en las facies lacustres, grandes tortugas del género Testudo, y los Gasterópodos de agua dulce Planorbis y Lymnaea.

Período Cuaternario (2,6 Ma hasta hoy)

La noción de "Cuaternario" se ha basado en determinadas circunstancias de tipo climático, faunístico y antropológico que concurren en su desarrollo:

- Profundo cambio climático que dio origen a los períodos glaciales o glaciaciones, separados entre sí por períodos de clima suave denominados interglaciales.
- Presencia de la fauna que inmediatamente ha precedido a la actual y que, en su mayoría, aún persiste.
- Aparición del hombre, por lo que también se suele dar a esta Era el nombre de Antropozoica.

Diversificación del género **Homo**: *H. erectus*, *H. antecessor*, *H. neanderthalensis*, *H. sapiens*. El hombre conquista todos los continentes.

Grandes glaciaciones cuaternarias perduraron hasta hace unos 10.000 años en que dio fin la última glaciación. Esta repetición de cambios climáticos condiciona las migraciones faunísticas características del Cuaternario. Entre los animales de las etapas frías (etapas que reciben los nombres de Gunz, Mindel, Riss y Würm) citaremos al elefante lanudo o mamut, y no aves voladoras de gran tamaño.

9. LAS EXTINCIONES, AUTÉNTICAS CATÁSTROFES DE LA BIOSFERA

Las extinciones son sucesos que, de forma repetida y con frecuencia impredecible, han sacudido a los seres vivos desde que aparecieron sobre el planeta.

Las **extinciones** se producen en épocas en las que hay una mortandad más o menos brusca en todos o en una buena parte de los tipos de vida de la época, y en las que, los ecosistemas son completamente reestructurados y aparecen formas de vida más o menos novedosas, adaptadas a las nuevas situaciones ambientales, ya que cambios ambientales más o menos bruscos, provocan tales crisis biológicas.

Se han registrado varias extinciones a lo largo de la historia de los seres vivos: durante la era proterozoica, hubo al menos una extinción, de vida microbiana, producida como consecuencia del aumento de oxígeno en el ambiente debido a la actividad fotosintética. Los nuevos microorganismos surgieron con importantes adaptaciones bioquímicas a los nuevos ambientes oxigenados. Hay que hacer notar que las bacterias, por su abundancia, rapidez de reproducción y versatilidad, son muchos más resistentes a los cambios ambientales que los seres vivos complejos y pluricelulares, más diversificados y especializados con respecto a los medios ambientales existentes. Por eso, las extinciones, se refieren, en especial, a estos últimos, ya que tienen una fragilidad evolutiva mayor.

Durante la era paleozoica se produjeron tres extinciones: una, a comienzos del Silúrico (440 Ma.), otra a finales del Devónico (358,9 Ma.) y otra, la de más envergadura, a finales del Pérmico (251,9 Ma.), en la transición a la era mesozoica.

Hubo otra extinción importante, en la que desaparecieron los dinosaurios, a finales del Cretácico (66 Ma.) y actualmente, el hombre está provocando otra extinción de seres vivos, y ¿quién sabe? si de su propia especie...

La vida máxima de una especie es, normalmente, de unos 10 Ma. (en los mamíferos de unos 3-5 Ma.) y después desaparecen para dar paso a nuevas especies. Pero la intensidad de estas "extinciones normales o de fondo" de especies es baja y gradual a lo largo del tiempo. Es en estas épocas de catástrofe cuando se supera claramente esta intensidad en la desaparición de especies, debido a acontecimientos ambientales más bruscos e intensos de lo normal.

Hay que considerar a las extinciones como fuerzas modeladoras de la vida, como sucesos que modulan la evolución, al igual que lo hace la selección natural darwiniana.

¿Qué sucesos han provocado las principales extinciones masivas? Son sucesos de variado tipo pero todos ellos han provocado cambios ambientales intensos y acelerados que han desencadenado estas crisis biológicas.

La mayor extinción sucedida hasta la fecha, **la extinción permo-triásica**, provocó una desaparición de más del 90% de las especies oceánicas y más del 70% de las familias de vertebrados terrestres. No están claras sus causas; se han propuesto varias:

1. un cambio climático (enfriamiento) debido a la glaciación permo-carbonífera y desertización de la Pangea.

2. Una anoxia debida a la oxidación masiva de cadáveres de seres vivos muertos al retirarse los mares de las plataformas continentales (regresiones marinas).
3. Emisiones masivas de productos volcánicos a finales del Pérmico, en Siberia y China que cambiaron el clima.
4. El impacto de un asteroide, con la consiguiente saturación atmosférica de polvo, oscurecimiento y falta de luz, parada de los procesos fotosintéticos, etc., tal y como parece ser, ocurrió en la extinción de finales del Cretácico.

Cada una de estas causas tienen sus inconvenientes y es probable que esta extinción sea un acontecimiento complejo provocado por varios factores, aunque quizá el impacto del asteroide, como ocurrió en la siguiente extinción, haya sido determinante; lo que ocurre, es que en este caso, no ha sido suficientemente probado que haya ocurrido tal impacto.

La extinción más famosa, aunque no la de mayor envergadura, ha sido la del **Cretácico-Paleógeno** (66 Ma.) que produjo un relevo importante de flora y sobre todo de fauna, tanto oceánica como terrestre. Entre los animales marinos se extinguieron los ammonites y los belemnites y entre los terrestres, es famosa la extinción de los dinosaurios. Esto dio la oportunidad a los pequeños mamíferos que convivían con ellos y que sobrevivieron, para ocupar los hábitats y nichos ecológicos que los grandes reptiles dejaron y experimentar una exitosa irradiación evolutiva en el terciario.

¿A qué se debió esta extinción? En la década de los 70, el geólogo Walter Álvarez y su padre demostraron que la causa fue el impacto de un gran asteroide, al encontrar concentraciones muy elevadas de iridio en los estratos arcillosos que señalan el tránsito entre las dos eras. Este elemento es muy escaso en la corteza terrestre y mucho más frecuente en los meteoritos, lo que prueba este impacto. Posteriormente, se encontró sepultado, el cráter producido por dicho impacto, de 50 km de profundidad y 180 km de diámetro en una localidad del Golfo de México. Se calculó que el asteroide debió tener unos 10 km de diámetro.

Las consecuencias debieron ser catastróficas: El proyectil, inyectó en la atmósfera miles de millones de toneladas de material suyo y de la corteza terrestre en forma de polvo, cenizas y vapor. Produjo una enorme ola de 1 km de altura (tsunami) que inundó gran parte de Norteamérica. El polvo, hollín y humo, enturbiaron la atmósfera, ocultando la luz del sol durante meses, incluso años, y desencadenaron el descenso de temperatura que congeló buena parte del planeta. Después, la gran cantidad de CO₂ producido e inyectado a la atmósfera, provocó un incremento considerable de las temperaturas y los correspondientes incendios... Estos fuertes contrastes térmicos, junto con el oscurecimiento, colapsaron la mayor parte de los ecosistemas del planeta. Murieron los vegetales (productores del ecosistema) y también los animales (consumidores: fitófagos y zoófagos). También, la gran cantidad de azufre liberado provocó intensas lluvias ácidas para rematar la ya gravemente herida Tierra. Perecieron las tres cuartas partes de las especies existentes, incluyendo los dinosaurios, y tuvieron que transcurrir más de 10 Ma. para que los ecosistemas volvieran a regenerarse.

10. LA CONQUISTA DEL MEDIO TERRESTRE POR LOS ORGANISMOS PLURICELULARES

Llegó un tiempo en la historia de nuestro planeta, en el que ciertos ambientes oceánicos comenzaron a estar superpoblados. Determinadas especies de diversos grupos de seres vivos, especies intrépidas y aventureras, más bien eurioicas, exploraron nuevos hábitats y se adentraron en el medio terrestre. Es probable que el tránsito desde las aguas marinas a tierra firme se produjese, en muchas ocasiones, pasando por etapas intermedias de agua dulce (ríos, lagos, pantanos...). Es probable también, que, en aquellas épocas, la concentración de oxígeno en la atmósfera y la capa de ozono, ya fuesen como en la actualidad y esto estimuló esta conquista.

Varios grandes grupos de organismos pluricelulares realizaron este gran paso con éxito: Los vegetales terrestres o plantas, los hongos, los artrópodos y los vertebrados.

Por el registro fósil de que disponemos, las primeras **plantas** aparecieron sobre la Tierra a comienzos del Silúrico, hace unos 440 Ma. Eran plantas muy primitivas y simples todavía, de porte herbáceo, del grupo de las Psilofitales, parecidas a algas, algo más complejas. A este respecto, se cree, por su semejanza en pigmentos fotosintéticos y sustancias de reserva celular, que derivaron de ciertos grupos de algas verdes que colonizaron los medios terrestres de la época. Con el tiempo, estas plantas se expandieron y diversificaron fácilmente (el medio terrestre estaba a su disposición, vacío e inexplorado) y evolucionaron, dando lugar a una serie de grupos de plantas cada vez más diversos y complejos, y mejor adaptados.

Estos vegetales, igual que los animales, se encuentran con problemas semejantes en su adaptación al medio terrestre: Evitar la pérdida de agua, adquirir estructuras esqueléticas, respirar el oxígeno del aire y proteger sus estructuras reproductoras.

Las plantas han tenido que idear un sistema de vasos conductores que transporten, desde la raíz, a lo largo del tallo y hacia las hojas, el agua e iones minerales (savia bruta). Estos son los **vasos leñosos** del **sistema vascular**; y los **vasos liberianos** que transporta la savia elaborada a todas las partes de la planta. Pues bien, como en las algas no existe este sistema transportador de nutrientes, ya que no lo necesitan (están rodeadas de agua con nutrientes), las plantas han tenido que idear este sistema vascular de transporte. La pérdida de agua la evitan con el **tejido epidérmico**, que está revestido además por sustancias impermeables como la **cutina**. En las hojas aparecen los **estomas**, que regulan el intercambio de gases. También las plantas adquieren un **tejido esquelético** interno. Las células de ciertos tejidos, como los vasos leñosos y las de los tejidos de sostén, se recubren de sustancias duras como la **lignina**. Además la pared de las células vegetales está constituida por una sustancia, la **celulosa**, resistente y con cierta dureza, que ya de por sí cumple esta función esquelética. De esta manera las plantas se mantienen más o menos erguidas.

Las plantas más primitivas que se conocen, son las **Briofitas** (musgos y hepáticas), que tienen ciertos rasgos organizativos que indican una adaptación a la tierra no muy eficaz. Actualmente están siempre ligadas a medios húmedos o en contacto con el agua. Su aparato vegetativo es bastante primitivo, siempre de porte herbáceo, sin tejido esquelético desarrollado y no ha conseguido desarrollar un auténtico aparato vascular de transporte. Sus gametos no han conseguido protegerse del aire debidamente y los gametos masculinos (anterozoides) necesitan nadar en el agua, o bien en gotas de ésta, para llegar al gameto femenino (oosfera) y fecundarlo. Así es que necesitan del agua para la reproducción (igual que los anfibios). Representan un primer escalón evolutivo en la conquista del medio terrestre por las plantas.

Las **Pteridofitas** representan las cormofitas más primitivas, el segundo escalón evolutivo. Es un grupo heterogéneo con diferentes tipos de plantas, pero todas ellas sin semillas y sin verdaderas flores. Aquí están los **helechos**, que sobreviven en la actualidad y que en zonas ecuatoriales presentan porte arbóreo. También sobreviven los **equisetos** o "colas de caballo", de porte herbáceo. En el pasado, a partir del Devónico, y sobre todo en el Carbónífero y Pérmico, existían extensos bosques, muchos de zonas pantanosas, que han dado lugar al carbón (hulla y antracita), formados por helechos arborescentes y otros grupos de Pteridofitas de porte arbóreo como los árboles de tallos articulados. Los gametos masculinos, los anterozoides, todavía no están protegidos del aire y nadan mediante flagelos (al igual que en los musgos) en el agua, para llegar hasta donde está los gametos femeninos y fecundarlos. Por lo tanto, las pteridofitas, necesitan vivir en ambientes ligados al agua o muy húmedos.

Parece ser que los **hongos** colaboraron en la conquista del ambiente terrestre con las plantas ya que aparecen dichos organismos en las raíces de gran número de estas plantas fósiles. Les proporcionarían humedad y facilitarían ciertos nutrientes, ayudándoles en esta aventura. No está claro si los primeros hongos terrestres fueron estos socios radiculares de las primitivas plantas o si aparecieron hongos que conquistaron la tierra por su cuenta. El registro fósil es apenas inexistente.

Con la extensión de las plantas en los ambientes terrestres, surgieron los primeros animales **invertebrados** terrestres. Aunque actualmente, ciertos moluscos, los caracoles de tierra, y gusanos, como las lombrices de tierra y otros, viven en estos ambientes, son los artrópodos, los que mejor se han adaptado a estos ambientes sin agua; y concretamente, determinados artrópodos, como los ciempiés, los milpiés, los escorpiones, las arañas, los ácaros y en especial, los insectos.

Los primeros **artrópodos** que se arrastraron a tierra firme fueron probablemente criaturas segmentadas, antecesores de los ciempiés y milpiés que poseían un ventajoso sistema de locomoción. Al principio se mantendrían cercanos a la costa pero con el tiempo se adentrarían en tierra firme en donde no tendrían rivales y sí gran abundancia de comida: plantas. Ya bien entrado el Silúrico, estos organismos se convirtieron en los primeros gigantes terrestres, llegando incluso a los dos metros de longitud. Más adelante, con el crecimiento de los bosques, aparecieron los insectos, que desarrollaron alas para poder volar y alcanzar las hojas de los árboles. Los insectos se expandieron fácilmente y desarrollaron formas gigantes como cucarachas y libélulas, abundantes en los bosques del Carbonífero.

Los **vertebrados** fueron algo más tardíos en llegar a tierra. Los primeros en conseguirlo fueron los **anfibios**, como las ranas y las salamandras actuales. Los primitivos anfibios aparecieron en el Devónico, hace unos 400 Ma. Eran parecidos a tritones actuales y con una cabeza semejante a la de los primitivos peces, ya que proceden de un grupo de peces óseos, los **Crossopterigios**. Hoy prácticamente extinguidos, tenían aletas lobuladas, a diferencia de los peces actuales que tienen las aletas radiadas. En aquellos **peces**, los huesos de estas aletas lobuladas estaban unidos al esqueleto, lo cual permitía que el animal las utilizase de apoyo.

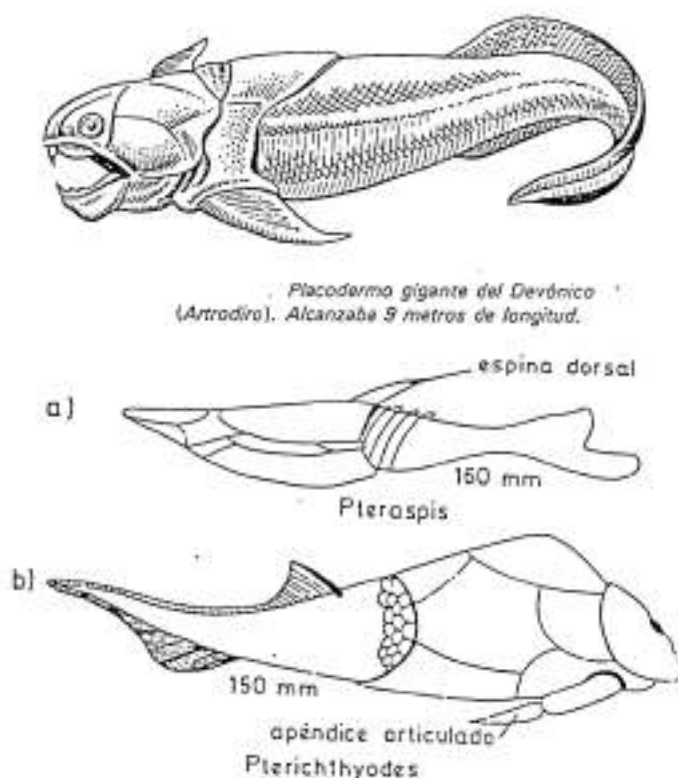


Fig. 19.13. Peces del devónico. a) Pteraspis (ostracodermo); b) Pterichthyodes (placodermo).



Fig. 19.14. Filogenia de los peces.

Es probable que algunos de estos peces vivieran en lagunas que se desecaban periódicamente, como ocurre en algunos peces actuales, los peces pulmonados. Entonces se veían obligados a vivir en el barro mojado o en agujeros excavados en tierra blanda y fueron adquiriendo unos primitivos pulmones, derivados de la faringe. A la vez caminaban entre el barro mediante sus aletas lobuladas, que con el tiempo se transformaron en extremidades marchadoras "de tipo quiridio", adquisición de todos los vertebrados terrestres. De esta forma, surgieron los primeros vertebrados terrestres, los primitivos anfibios. Los anfibios irradiaron en los continentes y hasta el Triásico de la era mesozoica, desarrollaron formas muy variadas, algunas de hasta 5 metros de largo. A estos anfibios gigantes típicos de la segunda mitad de la era paleozoica se les ha llamado labirintodontos. A partir del Jurásico, solamente han quedado los anfibios actuales, ranas, sapos, salamandras y tritones.

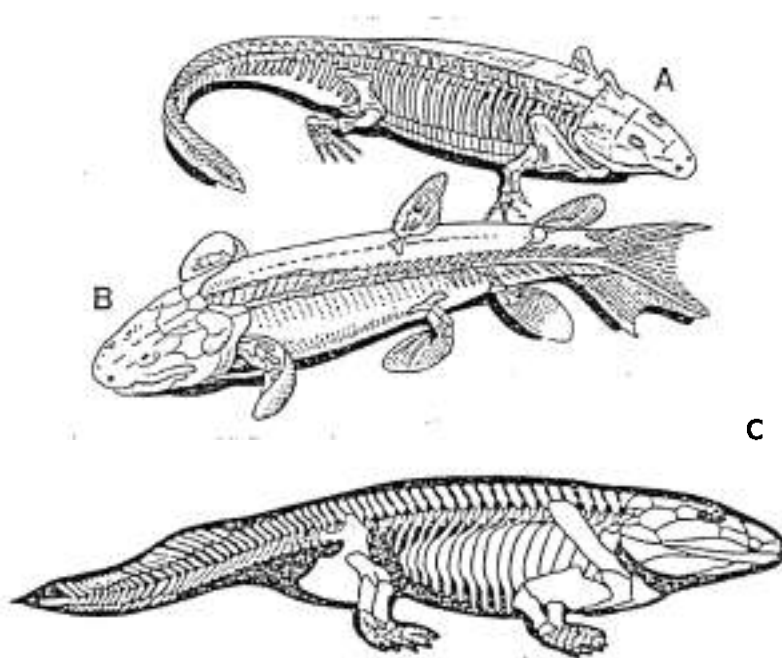


Fig. 19.15. A. Labirintodonto. B. Pez con aletas lobuladas. C. Anfibio primitivo (Ichlyostega, es el anfibio más antiguo conocido y, aunque presentaba semejanzas con los peces crossopterigios, poseía ya todas las características básicas para habitar en tierra firme).

Como hemos visto, los anfibios fueron los primeros vertebrados en conquistar el medio terrestre y lo hicieron de forma imperfecta todavía.

Uno de los principales problemas que presentan los animales en un ambiente fuera del agua es evitar la pérdida de este preciado líquido, imprescindible para la vida: evitar la desecación. Otro problema es adquirir un esqueleto que les sostenga convenientemente en un medio aéreo, sobre todo si no están a ras de suelo (en el agua, no lo necesitan tanto ya que su empuje sostenedor es mayor). Un tercer problema es conseguir respirar el oxígeno disuelto en el aire. Y un cuarto problema ha sido proteger a los elementos reproductores (gametos, huevos) del ambiente terrestre hostil.

Pues bien, los animales que han pasado a vivir a tierra firme han superado dichos obstáculos de varias formas.

- Los *artrópodos* han resuelto los dos primeros problemas adquiriendo un exoesqueleto o **caparazón de quitina** (sustancia dura) que les recubre y protege, evitando la pérdida de agua. Este exoesqueleto, en las zonas móviles del animal como extremidades y piezas bucales, no es continuo, sino que está articulado para permitir la movilidad (artrópodos = pies articulados). Pero este caparazón tiene un inconveniente: no permite un excesivo tamaño (por eso los artrópodos no son muy grandes) ya que impide el crecimiento continuo. Pero los artrópodos se desembarazan de él periódicamente cuando crecen y se dice que mudan. El tercer problema, el de la respiración aérea, lo han resuelto mediante un sistema de tubos ramificados por todo el cuerpo, llamados **tráqueas** (respiración traqueal) que llevan el oxígeno directamente a todas las partes del cuerpo, ya que este no es muy grande. En cuanto a la protección de los gametos del aire la solución es la **fecundación interna**, dentro del cuerpo de la hembra, en donde los líquidos de su aparato reproductor, los protegen. De esta forma, previamente a la fecundación, se realiza una cópula, para asegurar la entrada de los espermatozoides en el aparato reproductor de la hembra y que estos no contacten en su trayecto con el aire, pues sería letal para ellos. Los huevos, ya fecundados, si son puestos en el exterior, como ocurre en la mayoría de los casos (animales ovíparos) están protegidos con una cubierta coriácea y resistente que les protege de la desecación, hasta que eclosionan.
- En los *vertebrados*, en concreto en los anfibios, las estrategias de adaptación al medio terrestre no siempre coinciden con los artrópodos. La desecación la evitan impermeabilizando la capa de células más externa de la piel que cumplen diversas funciones (protección, defensa, aislante térmico, impermeabilización) tales como escamas, placas o escudos dérmicos en los reptiles, plumas en las aves y pelos en los mamíferos. Los anfibios tienen una piel desnuda, fina y vascularizada pues necesitan respirar a su través (respiración cutánea) para complementar a los todavía poco eficaces pulmones. Por eso debe de estar húmeda (está cubierta por mucosidad) además de ricamente irrigada por capilares sanguíneos. Así es que a través de esta delicada piel pierden bastante agua y necesitan vivir en sitios con cierta humedad, o cercanos a charcas, ríos, etc.

Como todos los vertebrados terrestres, los anfibios han desarrollado unos **pulmones**, sacos con un epitelio alveolar para el intercambio de gases entre el aire y la sangre. Estos sacos están humedecidos, encerrados en el cuerpo y comunicados con el exterior mediante unos conductos de entrada y salida del aire (**respiración pulmonar**). En los anfibios, todavía son poco eficientes.

El problema de su sostén en el aire lo resuelven, como vertebrados que son, mediante un esqueleto interno, formado por unas piezas articuladas y endurecidas por sales de carbonato y fosfato cálcico, los **huesos**. Estas piezas, permiten un crecimiento continuado, a la vez que crece el animal y por eso los vertebrados pueden alcanzar grandes tamaños.

La protección de los gametos también la resuelven mediante la **fecundación interna** y la **copulación**. En cuanto a los huevos, a lo largo de la evolución, han ideado algunas soluciones. En el caso de los anfibios, los huevos todavía no han conseguido protegerse debidamente del aire y por eso, los anfibios ovíparos, que son la mayoría, ponen sus huevos en el agua (charcas, lagos, ríos) y allí se desarrollan y eclosionan. Por lo tanto, los recién nacidos, los renacuajos de las ranas, por ejemplo, son como pequeños peces y sufren una metamorfosis para transformarse en adultos terrestres definitivos.

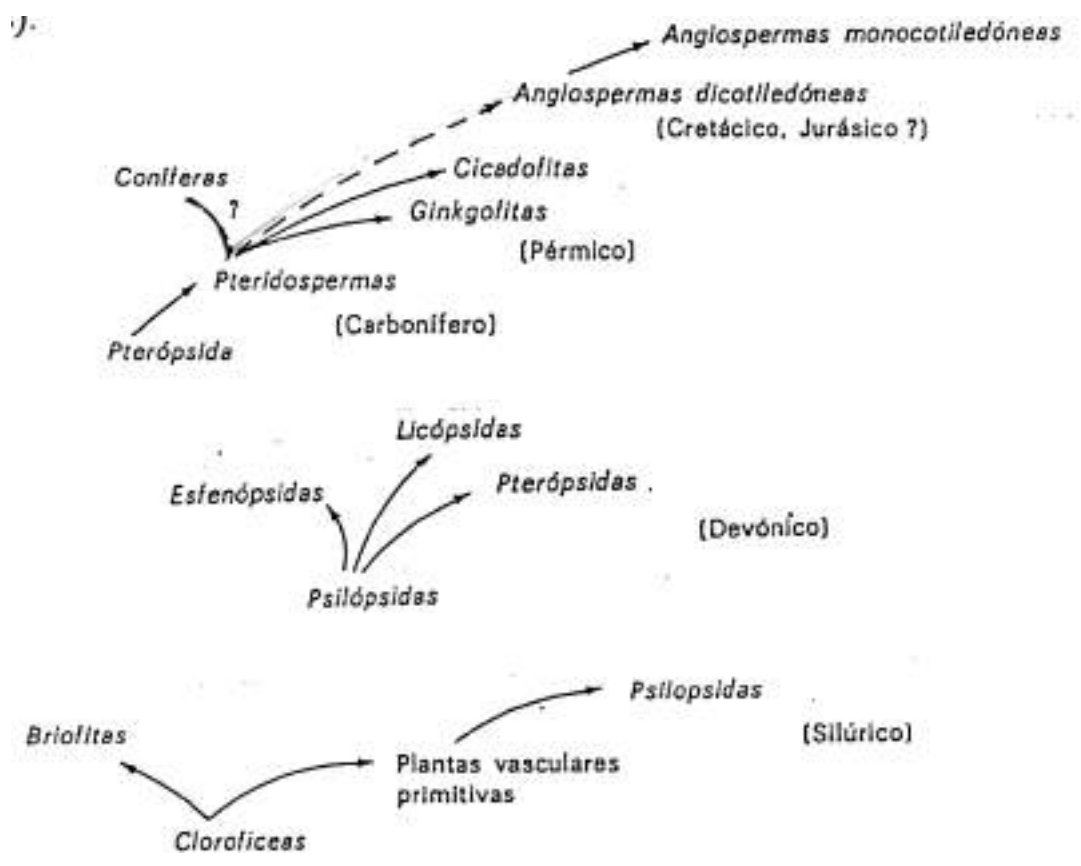


Fig. 19.16. Línea evolutiva de las plantas superiores.

