

# Origen y evolución de la vida



IES Sierra de San Quílez  
(Binéfar-Huesca)

## 1- LAS EVIDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN

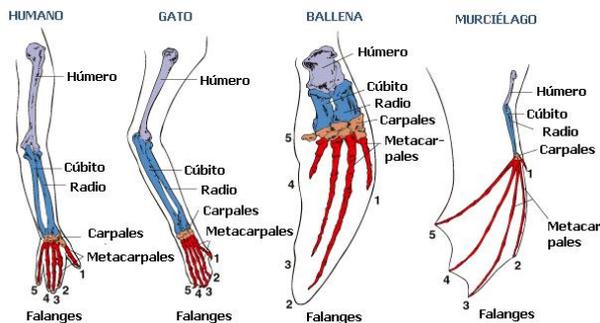
La evolución es uno de los paradigmas centrales de la biología actual. La evolución es aceptada como un hecho por cualquier biólogo o persona mínimamente informada. Pero ¿cuáles son las pruebas de la evolución? Comencemos.

La paleontología y la anatomía comparativa fueron, hasta mediados del siglo XX, las disciplinas biológicas que proporcionaron la evidencia más fuerte para la evolución, y la mejor información acerca de la historia evolutiva. La biología moderna ha corroborado totalmente el descubrimiento de Darwin sobre la evolución biológica y ha contribuido a dar mayor profundidad e infinitamente más detalle a nuestra comprensión del proceso.

### Pruebas anatómicas de la evolución

Las pruebas anatómicas están basadas en la comparación de la anatomía de distintas especies, tanto su estructura como su función. Se distinguen tres tipos de órganos que apoyan el proceso evolutivo:

#### Órganos homólogos



Los órganos homólogos son aquellos que tienen la misma o parecida estructura interna, pero pueden estar adaptados a funciones muy distintas. Su semejanza confirma que proceden de un antecesor común.

Por ejemplo, las extremidades anteriores de los vertebrados, como el brazo humano, la aleta de un delfín, o el ala de un ave son órganos homólogos, con estructura semejante, pero distinta función. Tendrían un antepasado común, pero por evolución divergente, los organismos se adaptaron al medio en el que vivían.

#### Órganos análogos

Los órganos análogos son aquellos que tienen una estructura distinta, aunque tengan forma y función similares. Son especies evolutivamente muy separadas pero que se han adaptado al mismo medio, por lo que han desarrollado órganos análogos que han tenido éxito en ese medio.

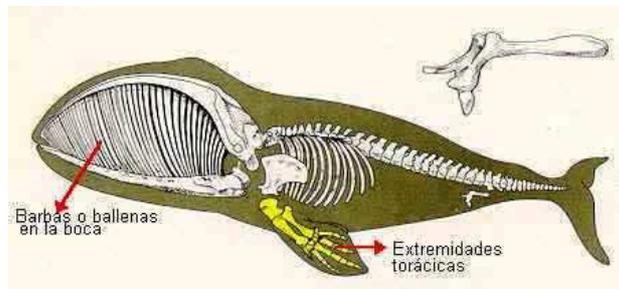


Por ejemplo, las alas de una mosca y las de un ave son órganos análogos. Ambas alas sirven para volar, aunque no tienen un alto grado de parentesco. Son similares porque las dos han evolucionado adaptándose al vuelo. En este caso, se da evolución convergente y los seres vivos repiten los diseños que han tenido éxito.

## Órganos vestigiales

Los órganos vestigiales están presentes en los seres vivos pero no se usan. Son órganos atrofiados, no funcionales, pero que sí eran funcionales en sus antepasados. La función original de ese órgano se ha perdido con la evolución.

Los humanos tenemos algunos de estos órganos vestigiales, como el apéndice, el cóccix (coxix, el resto de la cola perdida), las muelas del juicio, la plica semilunaris (resto de la membrana nictitante o tercer párpado de otros animales), la carne de gallina (para levantar el pelo y parecer más grandes para amedrentar a los enemigos), o el pezón en los hombres.



## Pruebas embriológicas de la evolución

Las pruebas embriológicas están basadas en el estudio comparado del desarrollo embrionario de distintos seres vivos. Las primeras etapas del desarrollo embrionario de diferentes vertebrados son muy similares, lo que indica que provienen de un antepasado común. A medida que se desarrollan los embriones, se van diferenciando. Las especies más emparentadas tienen más fases semejantes de desarrollo embrionario.



Los embriones de vertebrados tan distintos como peces, aves, tortugas, humanos, etc., son similares, con cola y hendiduras branquiales, aunque después sólo los peces desarrollan las branquias. El resto se va diferenciando según avanza su desarrollo.

El estudio de los embriones de los distintos vertebrados aportan información sobre el desarrollo evolutivo de estas especies, ya que son iguales en las primeras fases de

desarrollo. Conforme avanza el desarrollo embrionario, el embrión de cada especie se va diferenciando, siendo más parecidos cuanto mayor sea el grado de parentesco de las especies.

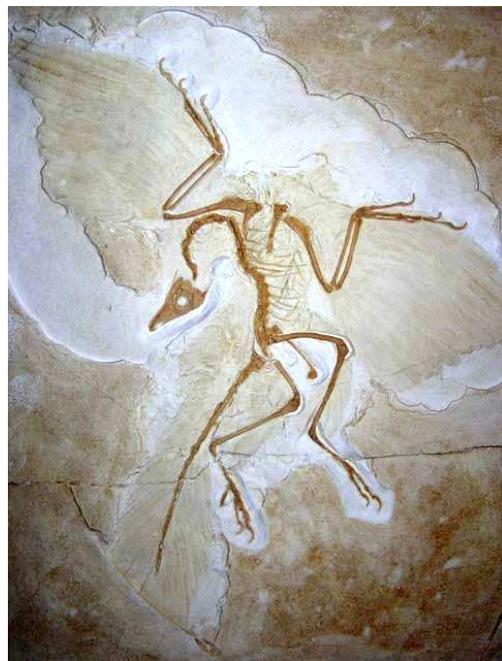
Haeckel resumió esta teoría con la famosa frase "La ontogenia recapitula la filogenia".

### **Pruebas paleontológicas**

Aunque muchas veces el registro fósil está incompleto, bien porque no se fosilizaron, no se han conservado, o porque aún no se han encontrado, en algunos casos sí se ha podido reconstruir su filogenia. Es decir, series completas, ordenadas de especies más antiguas a más modernas.

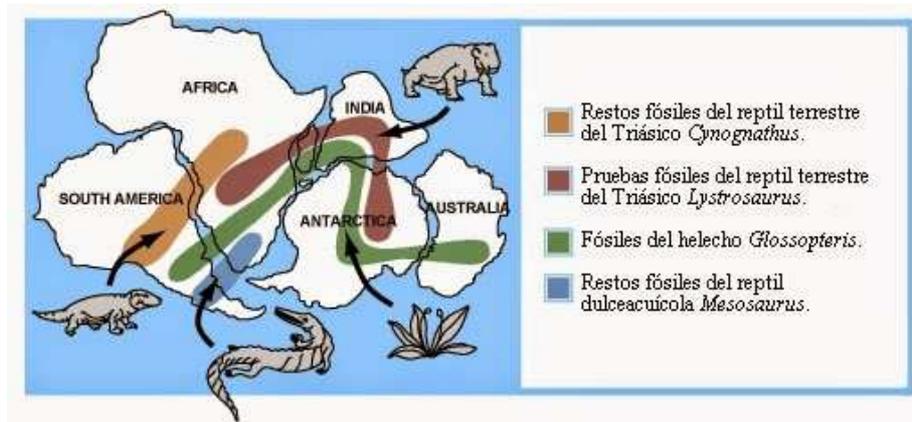
Estudiando los fósiles se puede observar cómo unas especies se han transformando en otras. Incluso se puede reconstruir cómo se fueron adaptando a las nuevas condiciones ambientales del medio.

Algunos fósiles, los fósiles transicionales, son formas intermedias entre dos grupos de seres vivos. Por ejemplo el Archaeopteryx tiene características típicas de los reptiles (cola y dientes) y de las aves (plumas), lo que demostraría que las aves actuales evolucionaron a partir de algunos reptiles.



### **Pruebas biogeográficas de la evolución**

Es frecuente encontrar especies más o menos parecidas, con alto grado de parentesco, que viven en lugares que están relacionados entre sí por su cercanía o características. Por ejemplo, en unas islas donde cada especie se ha adaptado a las condiciones concretas de cada isla. Todas estas especies provienen de un antecesor común, pero al irse adaptando a las condiciones de cada lugar fueron evolucionando y originando especies distintas.



Algunas de estas pruebas biogeográficas son:

- En las islas Galápagos, Darwin descubrió quince especies de pinzones diferentes pero muy emparentadas. Todas estas especies tienen el mismo tamaño (de 10 a 20 cm), pero se diferencian en la forma y tamaño del pico. Cada tipo de pico está adaptado a la distinta fuente de alimento que predomina en cada isla y a la que se han adaptado.
- Algunas grandes aves corredoras, como el ñandú suramericano, el avestruz africano y el emú australiano son bastante parecidas, a pesar de encontrarse a grandes distancias. Esto se explica porque tenían un antecesor común que vivía en el hemisferio sur de un supercontinente. Cuando se fragmentó, las distintas aves evolucionaron de forma independiente.
- Australia, separado del resto de los continentes hace unos 70 millones de años, tiene una fauna y flora muy distinta. Los mamíferos marsupiales como el canguro y el koala, sólo se encuentran aquí. Los mamíferos con placenta sólo aparecieron cuando fueron introducidos por los humanos. Esto explica que los mamíferos placentados aparecieron en los otros continentes después de que Australia se hubiera separado de ellos. Los placentados sustituyeron a los marsupiales por tener un sistema reproductivo más eficaz.

Resumiendo, las pruebas biogeográficas de la evolución están basadas en la distribución geográfica de las especies. Cuando los organismos viven juntos evolucionan del mismo modo, pero cuando algunas poblaciones quedan aisladas, evolucionan de distinta forma hacia especies diferentes.

### **El registro vivo de la evolución: proteínas y ADN**

La fusión de la bioquímica y la genética a mediados del siglo XX dio lugar a la biología molecular. Ésta, la más nueva de todas las disciplinas biológicas, ha proporcionado la fuente de evidencia más directa y confiable para reconstruir la

historia evolutiva. Existe hoy la posibilidad de determinar la historia evolutiva de cualquier grupo de organismos con tanto detalle cómo se desee. Sólo las limitaciones de tiempo y de recursos se interponen en la reconstrucción total del gran panorama de la evolución de la vida, desde las bacterias de hace 3500 millones de años hasta los microorganismos, los animales y las plantas de hoy en día.

Las proteínas y los ácidos nucleicos, que son esenciales para el conjunto de todos los organismos, son macromoléculas informacionales que retienen un registro de su historia evolutiva. La información evolutiva está contenida en la secuencia lineal de sus elementos componentes, de manera muy parecida a como la información semántica está contenida en la secuencia de letras de una oración en español. Esta “información evolutiva” es tan detallada que no sólo hace posible la reconstrucción de la topología filogenética o las relaciones evolutivas de parentesco de los organismos, sino que también abre la posibilidad de datar los eventos en esta historia, aun aquellos que ocurrieron en el pasado remoto de la historia de la vida.

## 2- TEORÍAS EVOLUTIVAS. UN POCO DE HISTORIA.

### 2.1- LAMARCK

Antes de que la teoría de la evolución Charles Darwin fuese aceptada como correcta por la comunidad científica, otros investigadores se aventuraron en la creación de teorías para la explicación de la evolución de los seres vivos. Uno de ellos fue **Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet de Lamarck (1744-1829)**. También conocido como Caballero de **Lamarck**, el naturalista francés también estudió medicina, física y meteorología. En sus aportaciones a las teorías evolutivas, publicó un planteamiento teórico que hoy conocemos como ‘Lamarckismo’ en su libro ‘Philosophie Zoologique’ (1809).



La teoría de Lamarck se basó en tres principios básicos:

-Es una característica intrínseca de los seres vivos evolucionar a un nivel de complejidad y perfección cada vez mayores –motivo por el cual Lamarck creía que los seres había evolucionado de microorganismos simples originados de materia no viva (teoría de la generación espontánea)

-El segundo principio fue el del ‘uso y el desuso’ de los órganos, es decir, lo que no es usado se atrofia y lo que es usado se desarrolla.

-El punto fundamental (y erróneo) del Lamarckismo es “la herencia de los caracteres adquiridos”, es decir, los órganos que se han desarrollado por el uso, los heredarán los descendientes algo más desarrollados. Los órganos que se han atrofiado en vida por el desuso los heredan los descendientes algo más atrofiados.

Tras demostrarse a finales del siglo XIX que lo que heredan los descendientes es un paquete de cromosomas en las células sexuales y no órganos paternos, el Lamarckismo fue definitivamente abandonado como explicación de la evolución.

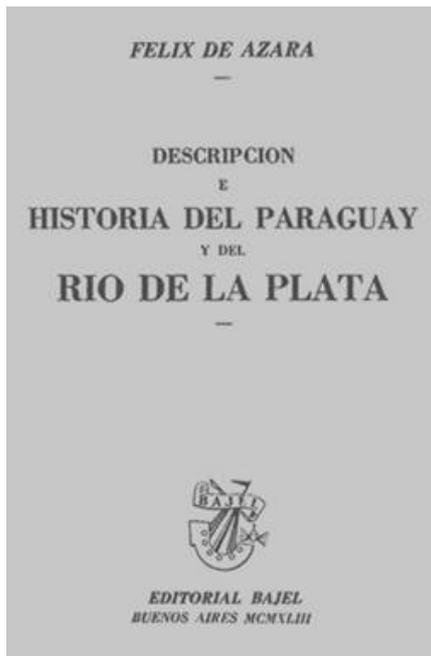
Si además tenemos en cuenta que la mayoría de los cambios que acumulan nuestros órganos en vida son lesiones, se puede decir que es toda una suerte que los caracteres adquiridos no se heredan.

## **2.2- FÉLIX DE AZARA**

Félix de Azara nace en Barbuñales, cerca de Barbastro (Huesca) el 18 de Mayo de 1742 y muere el 26 de Octubre de 1821 en la misma población. Ingeniero militar, fue comisionado por la Corona de España para fijar las fronteras entre Uruguay y Brasil. Los delegados portugueses nunca se presentaron y Azara pasó varios años en las colonias americanas catalogando más de 600 especies de aves y mamíferos desconocidos en Europa.

Félix de Azara no se limitó a realizar tratados de botánica y zoología descriptiva. Su curiosidad le llevó a dar un paso más y hacerse preguntas como: ¿Por qué están distribuidos los seres vivos de esta forma por las llanuras sudamericanas y no de otra forma? ¿De dónde llegaron los primeros ejemplares de cada especie? ¿A qué se deben las diferencias observadas entre las poblaciones de distintos lugares pertenecientes a la misma especie? Sin proponérselo, Azara estaba preparando el camino del evolucionismo del siglo XIX. En este párrafo, por ejemplo, el aragonés explica a la perfección el asilvestramiento (selección artificial a la inversa) como la causa de los cambios experimentados por los caballos en América en sólo 2 siglos:

“aunque descienden de la raza andaluza, me parece que no tienen la talla ni la elegancia, ni la fuerza ni la agilidad de sus antecesores. Atribuyo esta diferencia a que en América no escogen los caballos padres. Estos caballos viven en estado de libertad”

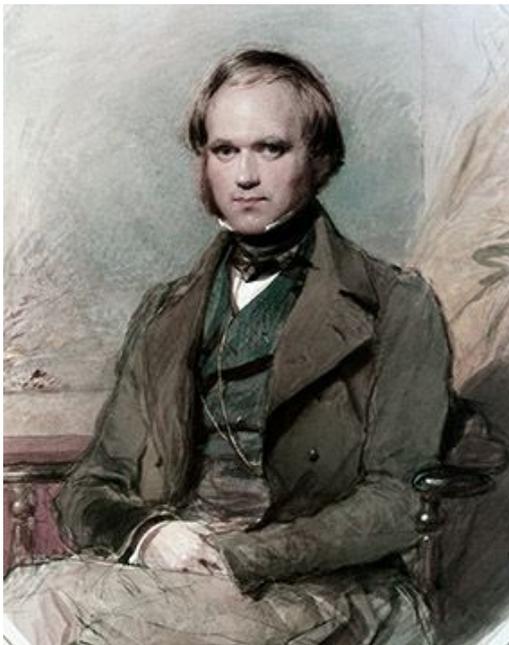


### 2.3- DARWIN. VIDA Y OBRA.

Charles Darwin nació en Shrewsbury (Inglaterra) en 1809. Hijo de un médico exitoso, y nieto de un naturalista, autor de varias obras. Su madre murió cuando contaba con 8 años de edad. Desde pequeño, mostró interés por el naturalismo. Fue enviado a estudiar medicina a Edimburgo, pero abandonó y su padre lo envió a Cambridge a estudiar teología (la mayoría de los naturalistas de la época eran teólogos). Al acabar sus estudios, en 1831, recibió una invitación para unirse al H.M.S. Beagle como naturalista, para explorar y cartografiar las costas de Patagonia, Chile y Perú. El viaje duró cinco años, y el joven Darwin lo aprovechó al máximo, recolectando multitud de fósiles y especímenes vivos, y realizando también numerosos estudios geológicos. Fue crucial para Darwin leer "Principios de Geología" de Charles Lyell durante el viaje, ya que en dicha obra se exponían las ideas de Lamarck (aunque muy criticadas).

Al volver del viaje, ordenó sus colecciones. A pesar de seguir siendo fijista y creacionista, estaba desconcertado por sus observaciones, especialmente por la distribución de especies en las islas Galápagos. Darwin fue concibiendo la idea de especiación geográfica, hasta que en 1837, Darwin era un evolucionista convencido (aunque no contaba aún con un mecanismo convincente). Un año después, leyó el "Ensayo sobre el principio de la población" de Malthus. En 1839 se casó, y en 1842 se trasladó a Londres, (donde viviría hasta su muerte, con una salud débil)

En los 20 años siguientes Darwin no publicaría aún sus teorías sobre la evolución, sino que siguió realizando investigaciones de todo tipo. En 1856 empezó a redactar su "gran libro de las especies".



Cuando lo tenía casi acabado, recibió un artículo de Alfred Wallace, en el que se exponían esencialmente sus mismas ideas. Darwin quedó conmocionado, y desistió de publicar una obra monumental, publicando en su lugar "un pequeño resumen": "El origen de las especies".

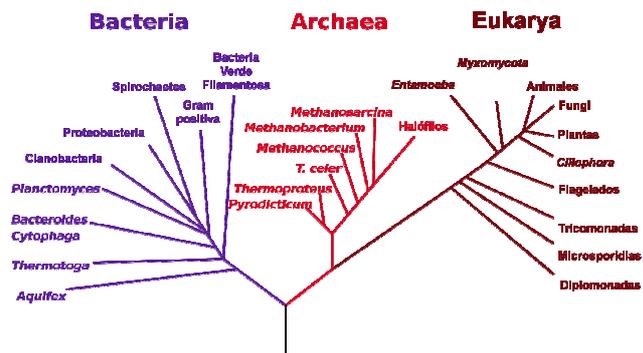
La repercusión del libro fue enorme e inmediatamente contó con un grupo de acérrimos defensores y también de feroces atacantes.

En sus últimos 20 años de vida, Darwin continuó trabajando en aspectos poco desarrollados en el "Origen". En el final de su vida publicó: "La variación de los animales y las plantas bajo la domesticación" (1868), "El origen del hombre y la selección en relación al sexo" (1871), "Los efectos de la fecundación cruzada y la autofecundación en el reino vegetal" (1880), y otras cinco más.

## ¿CÓMO ES LA EVOLUCIÓN?

Cuando el ornitólogo J. Gould preparó un informe sobre las colecciones de pinzones traídas por Darwin de las Galápagos, se demostró que cada isla contaba con su propia especie (no con razas de la misma especie), y todas muy próximas al pinzón del continente. Por tanto, habían evolucionado gradualmente por caminos distintos desde una "especie madre". La evolución era pues, un proceso lento, debido al aislamiento de poblaciones en zonas geográficas aisladas, y tenía un carácter ramificado.

## Árbol Filogenético de la Vida



A partir de aquí, sólo quedaba un paso para considerar que muchas especies podían derivar de un antepasado común. Darwin, poco después de aceptar que de una especie salían otras, que irían diferenciándose cada vez más, pareció darse cuenta de que esto podía conducir también a originar distintos géneros y categorías taxonómicas superiores. Por tanto, todas las categorías estarían unidas en un antepasado común.

También fue muy importante el cambio en la posición del hombre. Hasta entonces, el hombre era una criatura situada al margen del resto de los seres vivos. El demostrar que el hombre provenía de otras especies animales, supuso el final del antropocentrismo bíblico.

En resumen, Darwin demostró inmediatamente cómo se producía la evolución, que podría resumirse en estos principios:

- La evolución es lenta y gradual por acumulación de pequeños cambios.
- La evolución se produce por diversificación progresiva de poblaciones aisladas de una especie ancestral común.
- La vida tuvo un origen común y la diversificación ha generado todas las formas de vida.
- El ser humano tiene la misma procedencia que el resto de seres vivos y ha evolucionado por los mismos mecanismos naturales.

## ¿POR QUÉ SE PRODUCE LA EVOLUCIÓN? EL PAPEL DE LA SELECCIÓN NATURAL

La victoria de las tres ideas: evolución, origen común y diversificación de especies, supuso la primera revolución darwiniana. Pero Darwin, pronto comprendió que el principal problema de la evolución era el cambio de una especie a otra. Una vez resuelta esta cuestión, lo demás resultaría sencillo.



Sin duda, la joya del Darwinismo es la selección natural. Dicha idea, fue la más audaz y novedosa, ya que no había existido en ningún pensador que intentara explicar los cambios por causas no sobrenaturales. Para Darwin, la selección natural consistía en una producción constante de individuos, alguno de los cuales presentaba una ventaja reproductiva, y transmitía sus caracteres a la siguiente generación. Las fuentes de las que Darwin pudo tomar la idea, son objeto de controversias.

Dos años después de su viaje a bordo del Beagle, Darwin era un evolucionista convencido, pero las causas de la evolución, eran para él un completo misterio, por lo que continuó recogiendo pruebas durante 20 años. Parece ser que en 1838, Darwin leyó "sobre la población" de Malthus, y llegó a la conclusión de que las variaciones favorables, tenderían a ser preservadas y las desfavorables a ser eliminadas. En cualquier caso, este hecho fue únicamente la culminación de las conclusiones que había ido sacando de sus estudios sobre especies domésticas.

Cinco hechos y tres correctas inferencias, fueron los que condujeron a Darwin a la selección natural:

- 1-Las poblaciones, tienden a crecer exponencialmente, si no hay limitaciones externas.
- 2-Las poblaciones, muestran un número prácticamente constante de individuos en la mayoría de los casos.
- 3-Los recursos de los que dispone una población, son limitados.

De estos tres hechos, se deduce la primera inferencia: existe una lucha por la existencia entre los individuos.

- 4-Existe una abundante variabilidad intraespecífica, más evidente en poblaciones alejadas.
- 5- Gran parte de la variabilidad se hereda.

De la primera inferencia, y de los hechos 4 y 5, se deduce la segunda inferencia: existe una selección natural. Y de ésta segunda inferencia, se llega a la tercera: la selección natural, producida durante muchísimas generaciones, conduce a una evolución gradual.

Es importante destacar que la evolución darwiniana es un algoritmo. Si se dan las condiciones (aislamiento, variación, selección, etc) la evolución no "puede" suceder, sino que DEBE suceder.

Así pues, sólo unos pocos de todos los descendientes de unos padres, sobreviven el tiempo suficiente para poder reproducirse, y no hay un agente selectivo definido, sino que son muchas las causas posibles. No es el ambiente el que selecciona, sino que es el organismo el que se enfrenta a un ambiente con más o menos éxito. Casi todas las "desviaciones" de la normalidad que ocurran en el desarrollo, serán seleccionadas negativamente. Y en general, existen dos cualidades favorecidas por la selección: todo aquello que permita una mayor supervivencia (lucha por los recursos, resistencia a los depredadores, etc.), y la selección sexual, es

decir, todo lo que favorezca la reproducción (caracteres sexuales secundarios que resulten atractivos, y producen plumajes exuberantes, gigantismos, etc.).

## **LA OPOSICIÓN IDEOLÓGICA A LAS TEORÍAS DE DARWIN.**

Es dudoso considerar la obra de Darwin como una sola teoría. Más bien serían un conjunto de ellas. Lo que Darwin publicó en el "origen" en 1859, era un paradigma muy complejo, cuyas teorías tendrían un destino muy diferente en los 80 años siguientes, ya que la mayoría de los evolucionistas posteriores a Darwin, aceptarían unas y rechazarían otras.

Aunque Darwin no fue filósofo, en sus tratados científicos, fue echando por tierra sistemáticamente los principales conceptos filosóficos de su tiempo, y los reemplazó por conceptos nuevos. Los principales conceptos atacados fueron:

- Creencia de un mundo constante y con procesos causales: mecanicismo.
- Creencia en un mundo creado.
- Creencia en un mundo diseñado por un creador sabio y benigno.
- Creencia en la posición única del hombre en la creación.
- Creencia en el esencialismo.
- Creencia en las causas finales.

En los años posteriores a 1860 hubo muchos intentos de reemplazar la Teoría de la Selección Natural, por otras formas de conseguir la adaptación. Las más conocidas son las conocidas como Neolamarckistas (herencia de caracteres adquiridos) y la ortogénesis (tendencia intrínseca a la perfección). Todas ellas incluían algún componente finalista o religioso en mayor o menor medida.

### **3- TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN. (Las bases genéticas de la evolución)**



Desde la época de Darwin se han acumulado muchos conocimientos que permiten una interpretación más precisa del proceso evolutivo. Una de las principales carencias de la teoría de Darwin era que no se explicaba por qué aparecían nuevas variaciones intraespecíficas, ni cómo se transmitían estas a los descendientes. Con el desarrollo de la genética estos aspectos pudieron ser explicados con claridad.

De la combinación de la teoría darwiniana y de los principios básicos de la genética y la paleontología surgió a mediados del siglo XX la que se conoce como **teoría sintética de la evolución**. Un aspecto fundamental de la TSE es que son las poblaciones (o mejor, los genes de las poblaciones) los que evolucionan, no los organismos individuales, como se pensaba en la época de Darwin.

### 3.1- EL POR QUÉ DE LA EVOLUCIÓN.

#### a) Aislamiento de poblaciones.

Los individuos pertenecientes a una especie viven en poblaciones reproductivamente aisladas. Pese a existir la posibilidad teórica de tener descendencia fértil, los organismos sólo se cruzan con sus compañeros de grupo. Pero, ¿qué separa unas poblaciones de otras?

-Por un lado, la existencia de **barreras geográficas**, constituidas por accidentes geográficos o climáticos que impiden la comunicación entre poblaciones. (Ej. una cadena montañosa, un estrecho de mar, un río, un desierto, islas aisladas, etc)

En la aparición de barreras ha tenido un papel relevante la tectónica de placas. Durante el mesozoico el supercontinente Pangea se fracturó en varias placas abriendo nuevos océanos, la colisión de placas generó nuevas cordilleras, etc Existen también barreras geográficas a escala mucho más

reducida que las mencionadas. Unos centenas de metros de terreno seco pueden ser una muralla infranqueable para los caracoles, el contorno de un lago es el límite de los peces que lo habitan, un matorral aislado puede ser una isla para una colonia de insectos, etc



Fig. 40. La diferenciación de una especie en dos comienza cuando se divide la población a causa de algún tipo de barrera geográfica.

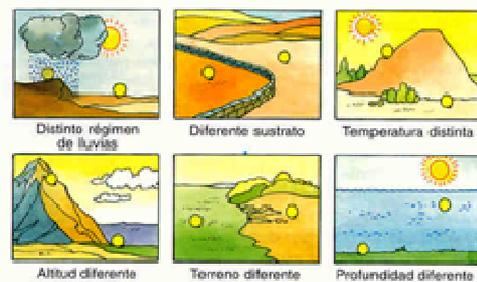


Fig. 41. En ambientes diferentes, cada población sigue un camino evolutivo distinto.

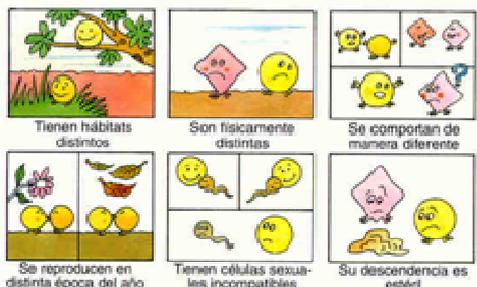
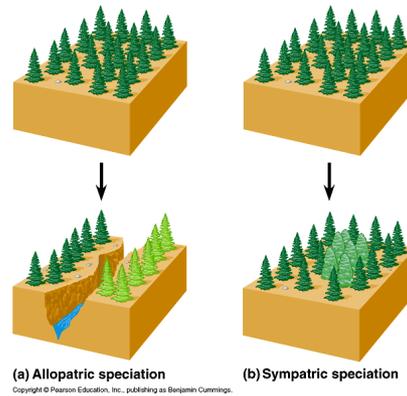


Fig. 42. Las barreras reproductoras que se establecen entre dos poblaciones separadas pueden ser de muy diferente naturaleza.



-Por otro lado, están las llamadas **barreras ecológicas y etológicas** que impiden la reproducción cruzada entre individuos de dos poblaciones pese a que puedan residir en el mismo espacio geográfico. Tales barreras “invisibles” son los hábitos diurnos o nocturnos de distintos individuos, la posesión de células sexuales incompatibles, distinta época de celo, distinta temperatura de floración, etc

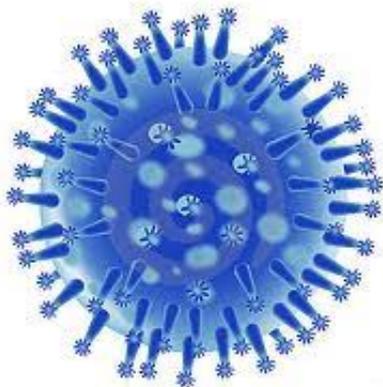
### b) Variaciones genéticas. (Diferenciación gradual)

La variabilidad genética entre los individuos de una población es la materia prima sobre la que actúa la selección natural. Pero, ¿cómo surge esa variabilidad genética? Hoy en día sabemos que esas variaciones son el resultado de dos procesos: las mutaciones y la recombinación sexual.

Las **mutaciones** ocurren de forma aleatoria, incontrolada e inevitable y que dan lugar a nuevos genes (y por tanto a nuevos caracteres hereditarios) Si la mutación es muy “grande”, es muy probable que sea letal. Pero si la mutación es “pequeña”, puede ocurrir que produzca un efecto favorable o desfavorable sobre el descendiente. Si el efecto es favorable, ese nuevo gen, tenderá a extenderse en la población.

La **recombinación sexual** tiene lugar durante la meiosis y la fecundación. Ambos mecanismos, inherentes a la reproducción sexual, no crean nuevos genes, pero sí combinaciones nuevas de genes existentes.

El **aporte de nuevos genes por el ataque de virus** es otro mecanismo de variación genética al que se le ha empezado a prestar atención en los últimos años. Los virus son agentes infecciosos que, además de desatar enfermedades, en ocasiones insertan su genoma en los cromosomas de las células hospedadoras. Casi siempre este fenómeno acarreará problemas al organismo atacado, pero recientemente se ha demostrado que en



creacion3d.com

muchos casos el organismo infectado ve enriquecido con nuevos genes que ha aportado el ADN vírico. Los virus, pues, han pasado a ser considerados como un laboratorio donde se generan nuevos genes y, posteriormente, los insertan en diferentes poblaciones. Una población animal o vegetal, por tanto, no necesita esperar millones de años a que aparezcan nuevos genes por casualidad... pueden llegar más rápidamente a bordo de virus.

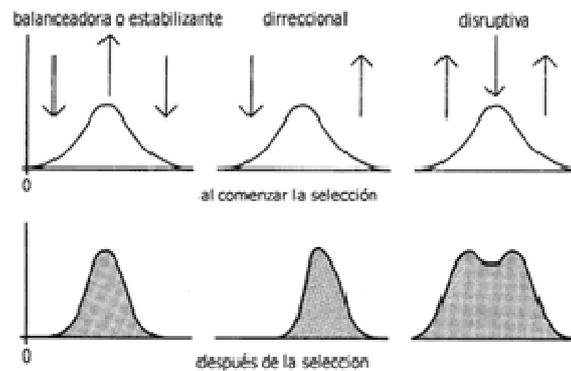
La **simbiogénesis**, por último, representa una fuente de variación de enorme importancia puesto que supone la fusión de los genomas de dos especies preexistentes y ha podido originar cambios drásticos (en vez de cambios lentos y graduales) en algunos momentos de nuestra historia evolutiva. Es bien conocido el caso de la aparición de los primeros organismos eucariotas por simbiosis de bacterias. Se cree que la simbiogénesis ha sido la responsable de la aparición de nuevos grupos taxonómicos de nivel alto (reinos, filos)

### Selección natural.

#### (Diferenciación gradual 2)

Partiendo del hecho de que en una población nacen muchos más individuos de los que finalmente sobrevivirán hasta adultos y se reproducirán, y del hecho de que dentro de una población existe abundante variabilidad hereditaria, que aumenta de manera continua, se deduce el tercer hecho importante: los escasos individuos de cada generación que se reproducen son aquellos que presentan alguna característica (por pequeña que ésta sea) que favorezca su supervivencia de un modo más efectivo que las que posean sus compañeros.

Si el individuo que presenta una característica “a” sobrevive y se reproduce gracias a ella, en la siguiente generación habrá muchos más individuos con esa característica “a”, y en poco tiempo, toda la población poseerá la característica “a”. Se habrá producido un pequeño paso evolutivo.



Es importante recordar que las características que propicien la supervivencia, no son las mismas en todas partes ni en todos los momentos. El color de piel blanco puede ser una característica propicia en un clima polar, pero no serlo en un clima tropical; el tamaño grande puede ser una ventaja para un depredador que viva en campo abierto, pero no para otro que viva en un bosque cerrado, etc

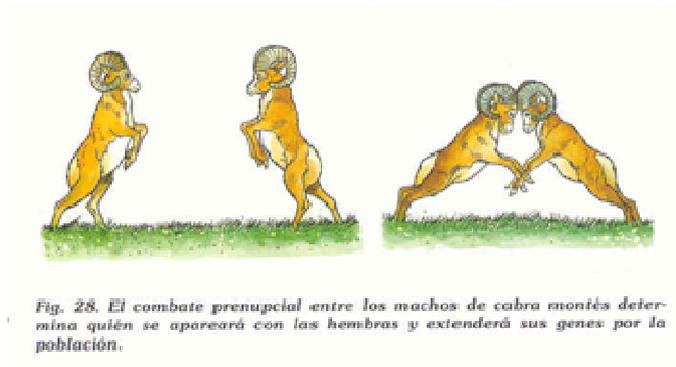
También se debe recordar que la selección natural afecta a cualquier forma de ser vivo. Los depredadores más rápidos serán los que transmitirán sus genes a la siguiente generación, pero también serán las presas más rápidas las que lo hagan.

Los insectos que mejor se camuflen pasarán la prueba de la selección, pero también la superarán las aves con mejor visión. Estos dos ejemplos pretenden resaltar que la evolución nunca se detiene, y se parece en gran medida a una **carrera de armamentos**. (¿Por qué los microorganismos patógenos actuales resisten sin problemas los medicamentos que hace 40 años les resultaban letales? ¿Ganaremos alguna vez la guerra contra las enfermedades infecciosas?)

En definitiva, las variaciones genéticas surgen por azar, y sobre ellas actúa la fuerza conductora de la selección natural, eliminando aquellos genes que produzcan caracteres desfavorables. Mucha gente piensa de forma errónea que la evolución es sinónimo de azar. Las mutaciones y por tanto la aparición de nuevas variedades, suceden por azar; pero la selección natural es lo contrario del azar. La selección natural posibilita que sobreviva el mejor diseño de entre los existentes, el cuál deja copias de sí mismo y sobre estas copias se realizarán nuevas variaciones, dando lugar a un proceso algorítmico de mejora que, proyectado durante millones de años, posibilita que se desarrollen diseños vivos verdaderamente eficaces.

Normalmente, los individuos mejor adaptados para la supervivencia son los que dejan más descendientes, pero no siempre es así.

Una modalidad especial de selección natural, es la llamada **selección sexual**, que es debida a la fuerte competencia que tiene lugar entre los miembros de un sexo



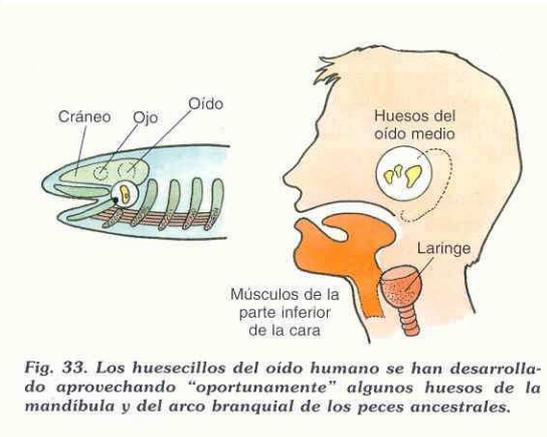
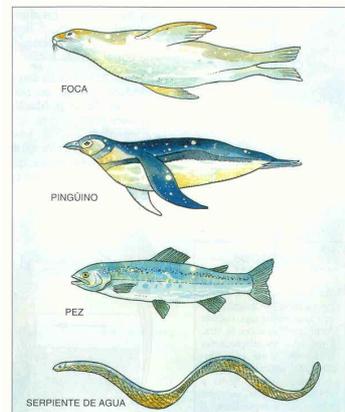
para reproducirse. La selección sexual no favorece caracteres que supongan una ventaja desde el punto de vista adaptativo o de supervivencia del individuo, sino que favorece aquellos que faciliten la reproducción (transmisión de genes) Por ejemplo, puede favorecer a los

machos de aves de largas y vistosas colas, o a los ciervos de largas y pesadas cornamentas. (¿Por qué las hembras eligen a los machos que han resultado vencedores en las berreas? ¿Por qué las hembras de muchas especies exigen un precio al macho antes de aparearse, comida, construcción de nido, etc? ¿Qué son los celos? ¿Por qué los machos de mantis insisten en aparearse si el precio es la muerte?)

La selección sexual afecta sólo a una parte del reino animal. En palabras de Darwin, si la selección natural es la responsable de la efectividad, la selección sexual es la responsable de la belleza.

c) **Desarrollo de adaptaciones. (Acumular pequeños cambios)**

Si miramos a nuestro alrededor, vemos multitud de formas vivas con características y comportamientos peculiares, que nos hacen plantear preguntas del tipo: ¿Por qué los árboles tienen el tronco leñoso?, ¿por qué los peces tienen aletas y cuerpo hidrodinámico?, ¿por qué los animales polares disponen de gruesas capas de grasa bajo su piel?, ¿no es demasiada casualidad que aparecieran órganos delicadamente admirables como es un ojo humano?

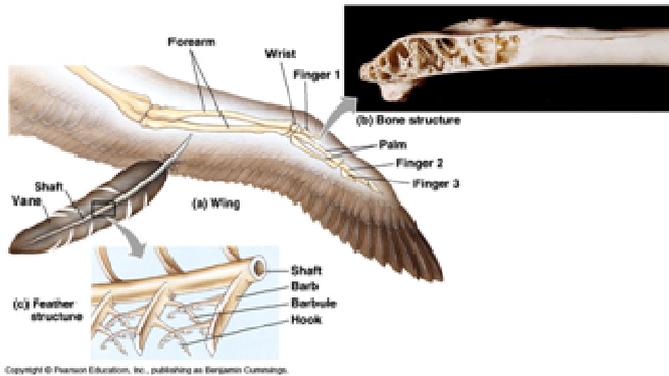


Todas las preguntas expuestas tienen su respuesta en el concepto de adaptación. Una adaptación es un dispositivo biológico que ayuda al poseedor a superar un problema que existe en el lugar donde vive, y en realidad son consecuencia de la selección natural. Un órgano complejo no puede aparecer en un solo salto, en una sola macromutación, en un único golpe de suerte. Por el contrario, recordemos que los organismos que dejan copias de sí mismos son los que poseían alguna ligera ventaja sobre los demás de su especie. Este hecho supone que la población adquirirá un pequeño cambio. Repitiendo la operación durante miles de generaciones, los pequeños cambios se irán acumulando de modo que el órgano irá ajustando su diseño a las necesidades ambientales, y entonces diremos que la especie ha desarrollado una adaptación.

Pero ¡ojo! A lo largo de millones de años, las condiciones medioambientales han cambiado muchas veces (cambios climáticos, impactos de asteroides, llegada de nuevos depredadores o infecciones) y los seres vivos, o se extinguen, o evolucionan adaptándose a las nuevas condiciones.

### Tipos de adaptaciones.

**-Adaptaciones estructurales.** Todas las especies tienen adaptaciones estructurales de diversa naturaleza: de protección (caparazón de las tortugas, espinas en los cactus, pared celular de las bacterias, etc), de régimen alimenticio (dentición de los carnívoros, espiritrompa de las mariposas, barbas de las ballenas, raíces de las plantas), de desplazamiento (alas, aletas, piernas), de reproducción (huevos con cáscara, placenta de los mamíferos, glándulas



mamarias, flores vistosas para atraer a los insectos polinizadores), de coordinación (órganos de los sentidos, sistemas nerviosos y endocrinos, etc).

De modo que se puede definir como adaptación estructural aquella que ha supuesto la aparición de nuevos órganos.

### **-Adaptaciones fisiológicas.**

Son las adaptaciones que afectan al funcionamiento del organismo. Una especie desarrollaría una adaptación fisiológica cuando modifica la función de un órgano preexistente (desarrollo de pulmones a partir de la vejiga natatoria de los peces, transformación de las escamas de los reptiles en plumas en las aves primitivas, etc)

### **-Adaptaciones de conducta.**

Las adaptaciones de conducta suponen la aparición de nuevos comportamientos, y suponen un éxito evolutivo considerable. Serían ejemplos una mejora en la búsqueda de alimento, los hábitos de cooperación entre especies simbióticas, la organización social de insectos como las hormigas o las abejas, o la aparición de la cultura en el ser humano. Aunque algunas plantas presentan adaptaciones de conducta, es obvio que estas son casi exclusivas del reino animal.

### **Restricciones físicas. Los límites de la selección natural.**

Si siempre son los organismos mejor adaptados los que sobreviven ¿por qué no existen animales que corran a la velocidad del sonido?, ¿por qué no hay animales con ruedas?, ¿Por qué las presas no nacen acorazadas con planchas de titanio?

La respuesta a todas las preguntas planteadas es la misma. No todo lo imaginable o deseable es físicamente posible. Un animal corriendo a la velocidad del sonido, consumiría tanta energía que de ningún modo podría recuperarla con

alimentos, un animal con ruedas debería tener órganos móviles, desconectados del resto del cuerpo, de modo que sería imposible abastecer a las ruedas de riego sanguíneo, y así sucesivamente.

Vivimos en un mundo con unas leyes físicas fijas. Dentro de sus límites, los seres vivos pueden evolucionar y “perfeccionarse”, pero nada más (y nada menos)

### **Contraadaptaciones.**

Algunas características presentes en los seres vivos parece que han evolucionado en el sentido de ser perjudiciales. ¿Acaso no ha funcionado la selección natural? Cuando estas características paradójicas son vistas en su contexto, resultan ser “efectos secundarios” de la mejora de otros caracteres más importantes para la supervivencia y la reproducción.

Son ejemplos de contraadaptaciones, el doloroso y difícil parto de las hembras humanas (efecto secundario de la adquisición de la postura bípeda) o la unión de conducto respiratorio y digestivo en la faringe humana, que supone un riesgo permanente de atragantamiento y ahogo (efecto secundario de la adquisición del habla)

### **e) Especiación.**

Una vez sentadas las bases para la diferenciación gradual de las poblaciones (debidas a las mutaciones y la selección natural), sólo resta contar con tiempo suficiente. Imaginemos dos poblaciones de la misma especie que hayan permanecido aisladas durante un millón de años (en dos islas separadas, o a ambos lados de una cordillera, por ejemplo) Dado que los ambientes que han ocupado eran diferentes, la selección natural habrá favorecido diseños diferentes en cada caso. Durante un tiempo, a pesar de las pequeñas diferencias acumuladas, si las dos poblaciones pudieran haberse juntado de nuevo, todavía podrían haber tenido descendencia fértil. En ese momento serían razas, o quizá subespecies de la misma especie. Pero con el paso del tiempo, la cantidad de caracteres distintos entre los dos grupos es tal, que aunque vuelvan a estar comunicados la reproducción cruzada será imposible. Llegado ese momento diríamos que una especie ancestral ha dado lugar a dos especies nuevas. Se ha producido una especiación.

Se habla de **especiación alopátrica** cuando la barrera que separó a ambas poblaciones era geográfica. Por el contrario, si la separación no era geográfica, diríamos que se ha producido una **especiación simpátrica**.

## **3.2- POLÉMICAS INTERNAS DE LA TSE.**

-El ritmo de la evolución. La visión darwinista tradicional es **gradualista** y sostiene que el ritmo de la evolución es lento y se debe a la acumulación de

pequeños cambios. En los años 70, sin embargo Gould y Eldredge plantearon la teoría **puntualista**, según la cuál la evolución se aceleraría en cortos intervalos, separados por largos periodos de equilibrio o “no cambio”. La visión puntualista de la evolución, que ha gozado de cierta popularidad, no es después de todo una alternativa. Por un lado, si en un ambiente dado las condiciones no cambian, las especies no evolucionarán porque no tendrán necesidad de hacerlo. Por otro lado, los rápidos cambios que a veces se observan en el registro fósil, suelen deberse



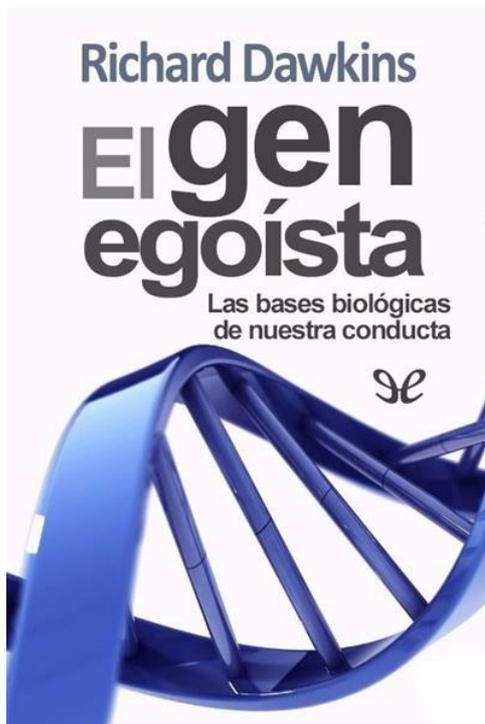
*Fig. 29. El Nautilus se considera un "fósil viviente". Vive en las zonas profundas de los mares tropicales, sin haber sufrido apenas variación durante los últimos 300 millones de años.*

a la sustitución de unas especies por otras invasoras, no a la evolución de una población autóctona. Los términos “rápido” y “lento”, además son puramente relativos. Un millón de años es un periodo enorme a escala ecológica, pero puede suponer sólo unos metros de roca sedimentaria, y en poco espacio los fósiles mostrarán “rápidos cambios”.

-Las mutaciones neutras. Los avances en genética molecular experimentados a finales del siglo XX, parecían llamados a causar serios problemas a las viejas ideas darwinistas. Curiosamente, la genética ha venido a confirmar o a complementar la mayoría de las hipótesis evolutivas. Es el caso del descubrimiento de las **mutaciones neutras** por parte de Motoo Kimura. El darwinismo clásico sostenía que por definición, todas las mutaciones debían ser beneficiosas o perjudiciales para la supervivencia, pero se ha descubierto que muchas de ellas no son ni lo uno ni lo otro, son neutras porque no tienen papel adaptativo. Esto supone que algunas características presentes en los seres vivos no han pasado el filtro de la selección natural, y se han transmitido por mero azar. Las mutaciones neutras entonces, serían responsables en parte de la evolución, pero de la parte aburrida de la evolución, y de ningún modo han tenido protagonismo en el desarrollo de adaptaciones. Éstas, nadie lo pone en duda, son la obra de la selección.

-El problema del altruismo. Durante décadas, se propuso como un serio problema para el darwinismo la existencia de comportamientos altruistas en numerosas especies animales. Un individuo que presta su ayuda a un congénere, desvía parte de sus recursos a la supervivencia de un posible competidor. ¿No debería la selección natural eliminar a este tipo de ejemplares? ¿No debería la

selección natural favorecer a los individuos egoístas que sólo trabajan para sí mismos?



Este caso representa otro falso problema. Los etólogos han demostrado que el altruismo sólo se presenta en dos casos bien definidos.

-En grupos donde se practica el “hoy por ti mañana por mí”. Los murciélagos vampiros, por ejemplo, ceden una parte de la sangre que han conseguido a los compañeros que no han comido en toda la noche por falta de presas. Pero si un individuo no presta ayuda a nadie a lo largo de varias noches, es identificado, atacado con saña y expulsado de la colonia. ¿Quién lo tiene más difícil para sobrevivir y reproducirse?

-En grupos unidos por vínculos familiares. Un padre puede poner en peligro su vida desviando la atención de los

depredadores. Quizá sacrifique su vida, pero favorece la supervivencia de sus descendientes, y ellos han heredado sus genes, por lo que el comportamiento altruista se mantendrá en la siguiente generación. Un padre “egoísta”, en cambio, ante el menor peligro abandonaría a sus crías para salvar su pellejo. Sin duda llegaría a viejo, pero difícilmente sobrevivirían sus descendientes, de modo que sus genes no pasarían a la siguiente generación, por lo que el comportamiento egoísta, desaparecería de nuevo.

Un caso extremo de altruismo familiar es el que presentan los insectos sociales, donde las abejas obreras, literalmente lanzan ataques suicidas para proteger la colmena. El motivo de semejante sacrificio hay que buscarlo en la esterilidad de las obreras. Al no poder reproducirse, su única forma de transmitir sus genes es a través de la reina.

El altruismo familiar, lejos de contradecir el darwinismo, viene a ofrecer un punto de vista aún más radical. Los auténticos protagonistas de la evolución no son los individuos ni las especies, sino los genes. Los ejemplos anteriores demuestran que la vida de los individuos aislados carece de valor, y que lo que realmente importa es la transmisión de genes. (La teoría del **gen egoísta** propone que los individuos somos tan sólo vehículos temporales, contruidos por los genes, y destinados a transmitir genes)

#### -La transmisión de información no genética.

Todo lo expuesto en el tema bastaría para explicar la evolución de más del 99% de las especies. Sin embargo, existe un minúsculo grupo de seres vivos (aves y mamíferos) que no sólo transmiten información genética a sus hijos, sino que a veces les transmiten **información cultural**, directamente de cerebro



a cerebro. Puede ser la técnica de un canto atractivo para las hembras en las aves, la técnica de caza entre los delfines, o la técnica de usar palos y piedras en chimpancés y humanos. Si la supervivencia de los individuos ha dependido en parte de la cultura aprendida, la selección natural ha podido tener una restricción importante.

## 4- EL ORIGEN DE LA VIDA.



Las preguntas "quiénes somos" y "de dónde venimos" acompañan a nuestra especie desde que apareció como tal. Al margen de explicaciones míticas, la Biología ha resuelto en parte esas cuestiones gracias a las teorías de la evolución. La evolución explica cómo han aparecido todas las especies actuales, por cambios graduales a partir de un antecesor común, pero no explica cómo apareció ese antepasado común. El origen de la vida es pues, uno de los principales interrogantes de la ciencia actual.

### 4.1-ANTECEDENTES.

#### **La generación espontánea.**

Desde la antigüedad, tanto en Europa como en Asia, se había creído que los organismos simples se generaban espontáneamente, sin necesidad de descender de otros seres vivos. Así, en China se pensaba que los pulgones se creaban a partir del

bambú joven, en la India se pensaba que moscas, escarabajos y otros insectos se generaban a partir del sudor y la basura, en Egipto se pensaba que el limo del Nilo producía sapos, ranas, ratas y serpientes. En la Europa del siglo XVII, se podían encontrar recetas de cómo "crear" insectos, protozoos e incluso ratones a partir de licores, extractos de animales, granos de trigo, e incluso de ropa sucia.

La idea de generación espontánea fue adquiriendo el rango de polémica científica, con las primeras esterilizaciones aceptables, conseguidas por Lazzaro Spallanzani, y sobre todo las de Louis Pasteur, con las que demostró que cualquier fluido nutritivo, nunca desarrollaba seres vivos si no se permitía que llegaran a él semillas, huevos o esporas de otros seres vivos. A partir de mediados del siglo pasado, se abandonó la idea de generación espontánea, y se aceptó que todo organismo procede de otro organismo.



### **El vitalismo.**

Hasta el siglo XIX parecía imposible fabricar en laboratorio, a partir de compuestos minerales, moléculas idénticas a las presentes en los seres vivos. Químicos, médicos y biólogos creían firmemente que tales sustancias sólo podían ser creadas gracias a una misteriosa "fuerza vital", presente tan sólo dentro de los organismos vivos. Química orgánica (o del Carbono) era sinónimo de vida.

El vitalismo se fue al traste con la primera síntesis artificial de un compuesto orgánico: la urea, realizada en 1828 por el químico alemán Friedrich Wöhler, a la que siguieron la de otras muchas sustancias orgánicas. Desde entonces se sabe que innumerables sustancias orgánicas pueden originarse y estar presentes en lugares donde no haya rastro de vida.

### **4.2- ¿QUÉ ES LA VIDA?**

La característica más importante que posee nuestro planeta es sin duda, la existencia de vida. Por supuesto que existen otras características que hacen diferente a la Tierra de sus vecinos (Venus, Marte) como la existencia de agua líquida, o la presencia de oxígeno libre en la atmósfera. Pero estas peculiaridades son insignificantes comparadas con la existencia de una Biosfera. Es más, algunas de ellas son consecuencias de la existencia de vida.

Hoy sabemos que los actuales seres vivos son el producto de una larga evolución basada en las mutaciones y la selección natural, que ha durado miles de millones de años. Sabemos que todo ser vivo desciende de otro ser vivo, que distintas especies tienen antepasados comunes, y que en definitiva todos los seres vivos tienen un origen común. Este hecho se manifiesta en tres propiedades comunes a toda la materia viva, pese a su inmensa diversidad:

1-La universalidad de la composición química. Todos los seres vivos están formados por moléculas basadas en la química del carbono. El carbono, gracias a sus propiedades, es fuente de una inmensa variedad de compuestos, con una estabilidad compatible con las condiciones de la vida.

2-La universalidad del código genético. Todos los seres vivos almacenan su información hereditaria en el ADN. La capacidad de almacenar información reside en un alfabeto de 4 letras. Todos los seres vivos traducen el lenguaje del ADN al del ARN, y el de éste al lenguaje de las proteínas, formadas por los mismos 20 tipos de aminoácidos, y construidas por los ribosomas, básicamente iguales en todo ser vivo. Todo ser vivo además, duplica constantemente sus instrucciones hereditarias.

3-La universalidad de la organización celular. Todo ser vivo está constituido por una o más células, que limitan con el exterior o través de membranas de lípidos y proteínas, y que realizan por sí mismas todas las funciones básicas de la vida.

El "árbol de la vida" en resumen, es grande, variado y frondoso. Presenta innumerables ramas con diferencias notables entre sí, pero posee un único tronco: un único origen. Y lo más importante; hay un único árbol de la vida. La vida apareció una vez en la Tierra, y ha originado a todos los organismos que podemos contemplar, pero no han aparecido desde entonces "nuevas vidas": no hay varios "árboles de la vida", al menos en nuestro planeta.



Descifrar el misterio del origen de la vida, consiste en explicar cuándo, dónde y cómo surgió el primer ser vivo de la Tierra. Para ello es imprescindible definir qué es la vida, o siendo más precisos, ¿qué propiedades debe cumplir un sistema para poder ser considerado como viviente? Las respuestas más aceptadas a esta cuestión son:

1-Estabilidad frente al medio

2- Las partes del organismo han de trabajar coordinadamente para el bien común.

3-Reaccionar ante estímulos externos.

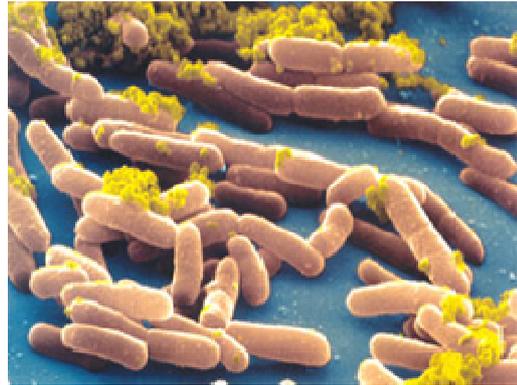
4-Almacenamiento de información hereditaria

5-Reproducción.

6-Evolución

7-Obtención de energía del exterior

Así pues, cualquier sistema que cumpla la totalidad de las características anteriores, debe ser considerado como vivo, independientemente (y esto es importante) de su composición química o de su aspecto. Durante mucho tiempo, el problema parecía centrado en explicar el origen de los compuestos de Carbono, pero como hemos visto, ni la vida es imprescindible para la química orgánica, ni probablemente, la química orgánica lo sea para la vida.



#### 4.3- ¿CUÁNDO APARECIÓ LA VIDA?. (Primeras etapas de la evolución de los seres vivos)

Vamos a realizar una cronología de la aparición de las primeras formas de vida, independientemente de cómo surgió la primera. Debemos tener en cuenta que las primeras oleadas de vida, supusieron un fuerte impacto para el medio, de manera que no sólo evolucionaron los seres vivos, sino también la atmósfera, la hidrosfera e incluso la litosfera. Los seres vivos y el medio se influyeron mutuamente.

Partimos de una Tierra joven, recién consolidada, sometida aún frecuentes impactos meteoríticos, vulcanismo mucho más activo que el actual, océanos más delgados y atmósfera más tenue. Pero la principal característica es que no había oxígeno libre ni en la atmósfera ni disuelto en las aguas, es decir, partimos de **condiciones reductoras.**



En una atmósfera sin oxígeno ( $O_2$ ), tampoco hay ozono ( $O_3$ ), por lo que penetran hasta la superficie de la Tierra todas las radiaciones solares. Las descargas ultravioletas inciden sobre los gases

atmosféricos (que también están disueltos en los océanos), y los combinan formando sustancias orgánicas, que, al no haber oxígeno libre, nada las destruye y pueden acumularse en los mares.

Hace unos 4000 millones de años aparecen en los océanos las primeras formas de vida. Se trata de seres unicelulares, procariontes (de organización celular sencilla), anaerobios (no toleran el O<sub>2</sub>), y heterótrofos (no son capaces de fabricarse su propia materia orgánica). Sobreviven fermentando sustancias orgánicas formadas por las descargas ultravioletas (similares a las actuales arqueobacterias)

Hace 3800 millones de años aparecen los primeros organismos autótrofos. Son similares en todo a los anteriores, pero añaden la capacidad de formarse su propia materia orgánica, aprovechando la energía que se libera en reacciones exotérmicas que suceden en el medio (similares a las actuales bacterias quimiosintéticas) Continúan siendo procariontes y anaerobios, pero constituyen los primeros productores. La vida se independiza y se expande rápidamente por los océanos.



Hace 3600 millones de años aparecen los primeros organismos fotosintéticos. No sólo pueden fabricarse su propio alimento, sino que su fuente de energía es la abundante e inagotable luz solar. Al principio se trata de una fotosíntesis en la que no se libera O<sub>2</sub> sino S, ya que la fuente de H<sup>+</sup> y de e<sup>-</sup> no es el H<sub>2</sub>O, sino el H<sub>2</sub>S (como sucede con las actuales sulfobacterias púrpuras). El ambiente general sigue siendo reductor, y ningún ser vivo necesita el oxígeno.

Poco después, aparece una nueva forma de fotosíntesis. Es en todo igual a la anterior, excepto en la fuente de H<sup>+</sup> y e<sup>-</sup>. Comienza a utilizarse la abundantísima H<sub>2</sub>O, con lo que se inicia una masiva liberación de O<sub>2</sub> en las capas superficiales de los océanos. Sin embargo, durante al menos 100 millones de años no se acumula oxígeno libre en la atmósfera, ya que el que se va produciendo es empleado en oxidar las rocas de la superficie, los abundantes gases reductores (metano, amoníaco, etc) y sobre todo, los cationes metálicos en disolución.

El hierro, hasta entonces disuelto como Fe<sup>2+</sup>, comienza a precipitar masivamente en forma de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematites), originando las rocas conocidas como "Formaciones Ferríferas Bandeadas"

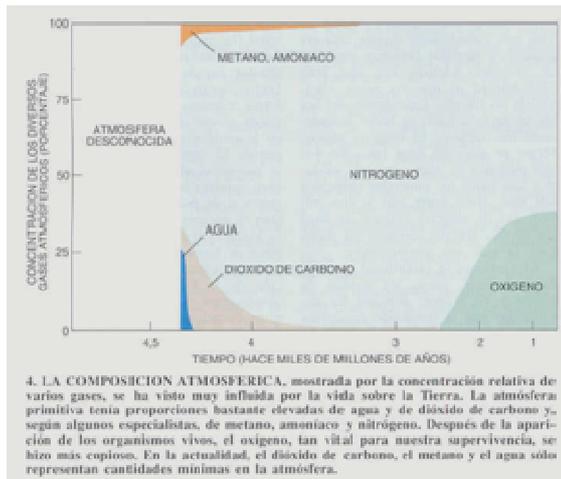
que constituyen la primera prueba indirecta de la existencia de vida, o al menos, de un cambio a una atmósfera e hidrosfera oxidantes.

Las bacterias responsables del último cambio, serían similares a las actuales cianobacterias, y también nos dejaron los primeros fósiles: los estromatolitos, o láminas de colonias de bacterias fotosintéticas, que se forman en medios intermareales.

La acumulación de oxígeno, provoca cambios dramáticos en la joven biosfera.

Todas las formas de vida anteriores quedan relegadas a ambientes locales anóxicos, y son sustituidas por la nueva estirpe de bacterias aerobias, que no sólo toleran el oxígeno, sino que comienzan a utilizarlo victoriosamente para obtener energía de una forma mucho más eficiente (respiraciones)

La acumulación de oxígeno, además, supone la formación de una incipiente capa de ozono en la atmósfera, con lo que la radiación ultravioleta deja de bombardear la superficie, y la síntesis fotoquímica de compuestos orgánicos, desaparece definitivamente.



Hace 1500 millones de años, aparecen los primeros organismos de organización eucariota, posiblemente a partir de colonias de procariontas. Con los organismos eucariotas, se inventa la reproducción sexual, lo que permite la mezcla continua de caracteres, y una variabilidad mucho mayor. La evolución se acelera considerablemente.

Hace 1300 millones de años aparecen los primeros seres pluricelulares, tras un primer estadio de colonias similares a las actuales volvox.

## 4.4- CÓMO APARECIÓ LA VIDA?

### a- La atmósfera primitiva

Como ya se ha dicho, en una atmósfera como la actual, no es posible la síntesis de compuestos orgánicos fuera de los seres vivos, y de formarse, se destruirían rápidamente por oxidación. Los compuestos orgánicos están limitados en la actualidad al interior de los seres vivos, o a los ambientes anóxicos. Sin embargo la atmósfera primigenia no contenía oxígeno libre, y estaba constituida mayoritariamente por  $N_2$ ,  $CO_2$ , y cantidades apreciables de amoníaco, metano e hidrógeno. Esta hipótesis se ve confirmada por varios hechos independientes:

-Ésa es la composición de los planetas vecinos al nuestro.

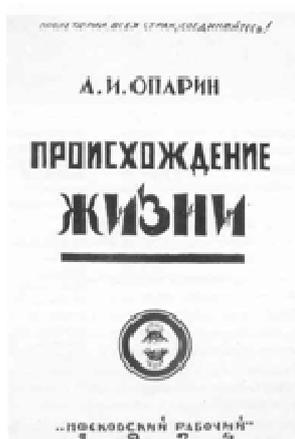
-Ésos son los gases que se desprenden mayoritariamente en las erupciones volcánicas.

-Ésa sería la composición de la atmósfera si desapareciese la fotosíntesis.

-Las rocas más antiguas del Precámbrico demuestran siempre que se sedimentaron en ambientes reductores.

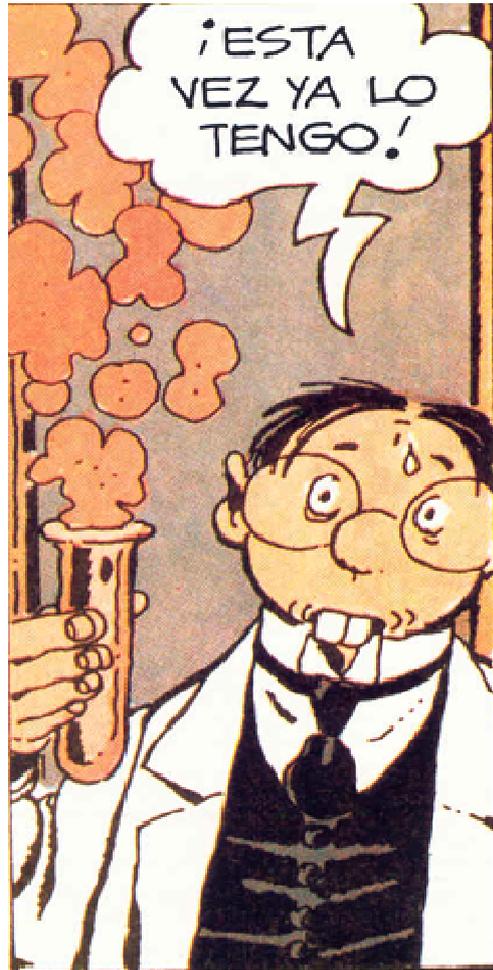
En una atmósfera reductora los compuestos orgánicos son estables, pero ¿cómo pudieron formarse sin seres vivos?

### b- La "Química prebiótica".

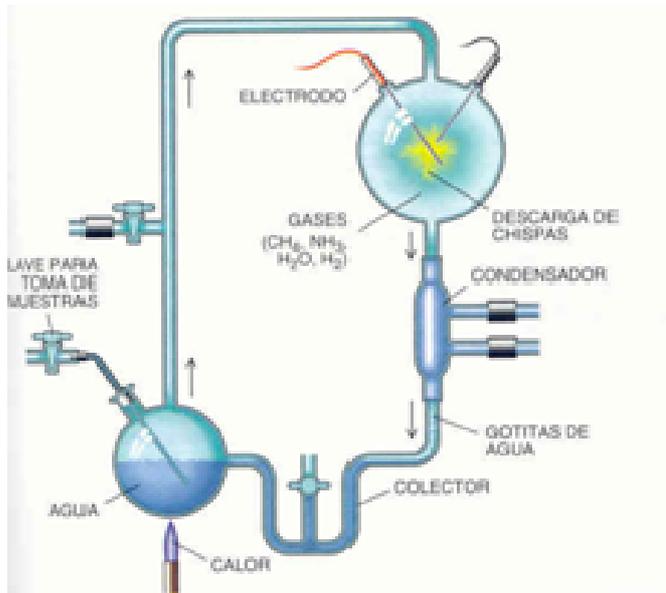


Oparin expuso de forma esquemática, en este libro escrito, publicado en 1936, la primera teoría de la evolución química. Más adelante fue perfeccionada. De hecho, en su libro publicado en la antigua Unión Soviética en 1936, y que sería traducida al inglés dos años después, donde se encuentra la primera exposición detallada de sus ideas.

En la década de los años 30, el bioquímico soviético Alexei Oparin, publicó el primer intento serio y plausible de explicar el origen de la vida, partiendo de una Tierra primitiva. En esencia su teoría proponía que las descargas ultravioletas, habrían servido de fuente de energía para unir constituyentes atmosféricos simples, formándose sustancias orgánicas sencillas. Éstas, se habrían ido disolviendo y acumulando en los mares, formando una "sopa o



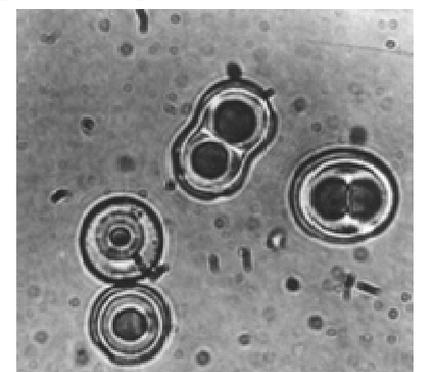
caldo primitivo". En dicha "sopa", las moléculas orgánicas sencillas se habrían unido por azar, formando los primeros polímeros o macromoléculas de interés biológico, las cuales, al cabo de millones de años habrían formado sistemas autorreproductores, iniciándose la vida. Los experimentos que se fueron realizando en los siguientes 40 años intentaron seguir la senda trazada por Oparin, consiguiéndose sorprendentes éxitos, y también callejones sin salida.



AMINOACIDO	METEORITO DE MURCHISON	EXPERIMENTO DE DESCARGA
GLICINA	• • • •	• • • •
ALANINA	• • • •	• • • •
ACIDO α-AMINO-N-BUTIRICO	• • •	• • • •
ACIDO α-AMINOISOBUTIRICO	• • • •	• •
VALINA	• • •	• •
NORVALINA	• •	• • • •
ISOVALINA	• •	• •
PROLINA	• • •	•
ACIDO PIPECOLICO	•	•
ACIDO ASPARTICO	• • •	• • • •
ACIDO GLUTAMICO	• • •	• •
β-ALANINA	• •	• •
ACIDO β-AMINO-N-BUTIRICO	•	•
ACIDO β-AMINOISOBUTIRICO	•	•
ACIDO γ-AMINO BUTIRICO	•	• •
SARCOSINA	• •	• • • •
N-ETILGLICINA	• •	• • • •
N-METILALANINA	• •	• •

En 1953, el bioquímico estadounidense Stanley Miller, obtuvo el primer éxito experimental importante. Preparó una mezcla gaseosa que simulaba la composición original de la atmósfera, y la sometió a descargas eléctricas. Al cabo de varios días fueron apareciendo sustancias como el cianuro de hidrógeno (HCN), el formaldehído (CH<sub>2</sub>O), la urea, el ácido acético y numerosos aminoácidos. Por supuesto, todos éstos compuestos se obtenían ya de forma rutinaria en laboratorios de todo el mundo, pero Miller demostró que se formaban espontáneamente, sin catalizadores y sin sucesión precisa de pasos intermedios. Bastaba un ambiente reductor y un aporte energético.

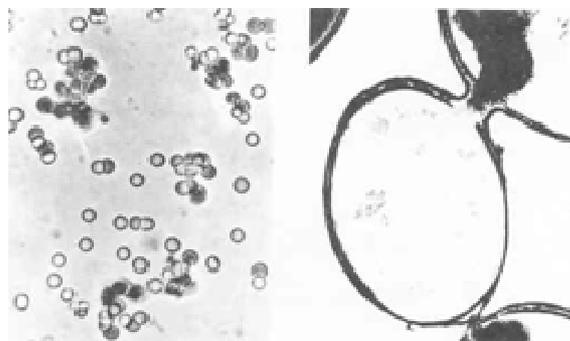
En los años que siguieron a los resultados de Miller, se desató una carrera por simular la formación de biomoléculas en condiciones similares a las de la Tierra primitiva. Se probaron con distintas mezclas y distintas fuentes de energía, y el fruto fueron nuevas biomoléculas, como bases nitrogenadas, azúcares y grasas (aunque estos dos últimos en mucha menor cantidad). Los monómeros orgánicos obtenidos reaccionaban fácilmente entre sí para dar polímeros (como los llamados proteinoides).



### **c-De las macromoléculas a la organización celular.**

La resolución del misterio del origen de la vida, requería obtener auténticas estructuras celulares, a partir de grandes biomoléculas. En 1971, el británico Sidney Fox obtuvo en laboratorio unas estructuras a las que llamó microsferas, de un tamaño entre 1 y 80 micras.

Cada microsfera estaba aislada del exterior por una doble capa de lípidos y proteínas (similar a cualquier membrana celular). Las microsferas, son capaces de colocar nuevos lípidos y proteínas en su superficie, constituyendo una forma simple de crecimiento. Son capaces de absorber glúcidos, aminoácidos y enzimas, haciéndolos fermentar en su interior y extrayendo así energía del medio circundante. Son también capaces de enquistarse cuando las condiciones externas son adversas. El camino trazado por Oparin parecía estar casi concluido. A finales de los años 70, parecía que sólo restaba por crear en laboratorio estructuras capaces de reproducirse, pero nunca se consiguió.



#### **d- La Panspermia.**

En la década de los cincuenta del siglo XX, el británico Fred Hoyle recuperó la vieja hipótesis de que la vida unicelular pudo haber llegado desde el espacio... concretamente a bordo de cometas. Su teoría no tuvo ningún respaldo, pero años después comenzó la búsqueda de compuestos orgánicos en meteoritos y cometas y los resultados fueron sorprendentes.



En 1986, la sonda Giotto descubrió en la estela del cometa Halley sustancias como el cianuro de hidrógeno, formol y 14 glúcidos. En el meteorito de Murchisson se hallaron 14 aminoácidos, 250 hidrocarburos distintos y las cinco bases nitrogenadas propias de la vida (adenina, guanina, citosina, timina y uracilo) Más tarde se

ha demostrado que incluso el polvo cósmico contiene compuestos que se creían exclusivos de la vida. Estos hallazgos han sido plenamente corroborados por las sondas Rosetta y Hayabusha.

Así pues, la química orgánica es un suceso más abundante en el universo de lo que se creía. La teoría de la Panspermia plantea que los cometas (millones en el sistema

solar) habrían ido sembrando de macromoléculas los planetas y satélites, y la vida habría florecido sólo en los sitios “fértiles”.

La Panspermia no resuelve el problema del origen de la vida, sino que lo traslada a otro lugar del sistema solar.

### **e- Los primeros replicadores. El papel de las arcillas.**

Todos los intentos de producir en laboratorio una vida basada en el C han fracasado en el mismo punto: La reproducción. Hoy por hoy no hay reproducción sin ácidos nucleicos, y éstos no pueden aparecer espontáneamente. Los bioquímicos necesitan 14 pasos muy precisos para fabricar un solo nucleótido (dos o tres casualidades encadenadas, son posibles, 14 casualidades seguidas son absolutamente improbables). Para cada paso, precisan de una enzima u otro tipo de catalizadores. El ser vivo más simple que podamos imaginar, necesitaría al un mínimo de 50 genes activos, lo que supondría decenas de miles de nucleótidos colocados en orden correcto. Ciertamente, la Tierra dispuso de varios cientos de millones de años para "jugar a los dados" con las biomoléculas, pero ni con todo ese tiempo se puede esperar que se forme un gen "por azar". Se ha sugerido que las primeras moléculas autorreplicadoras, pudieron ser de ARN o algo aún más simple, pero el problema de la improbabilidad de su síntesis espontánea sigue siendo insalvable.

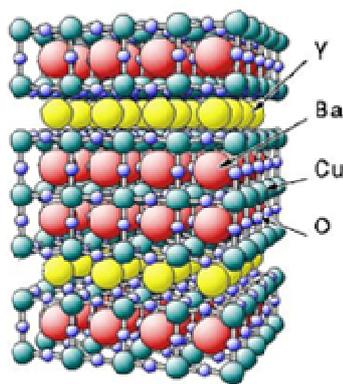
Dado que la vida que conocemos es de alta tecnología. Dado que la actual maquinaria biológica es en definitiva, demasiado compleja para aparecer espontáneamente, precisamos algún paso intermedio. Unos pasos de los que pueden no quedar rastros, como un andamiaje que ayuda a construir un edificio, pero que es retirado tras su conclusión. Faltan los catalizadores no biológicos, que condujeron a la síntesis de ADN y ARN.

La idea de que algunos minerales hayan podido desempeñar un papel importante en la aparición de la vida, no es algo nuevo. Numerosos autores han utilizado (con éxito) minerales para la síntesis de macromoléculas orgánicas. La idea más aceptada es que diversos silicatos, especialmente las arcillas pudieron haber actuado como catalizadores, consiguiendo en algún momento la síntesis de un ácido nucleico.



cristalinas crecen de acuerdo con el patrón que existe en la "semilla", de modo que los "errores" originales son repetidos indefinidamente mientras dure la cristalización. Los nuevos minerales pueden pasar a formar parte de rocas sedimentarias, o pueden ser erosionados. Cada mineral, se rompe entonces en fragmentos diminutos, que se dispersan portando los errores (la información del cristal "padre"). Algunos fragmentos, tendrán la posibilidad de caer en mares o lagos, donde volverá a repetirse el proceso; pero también se encontrarán con "semillas" rivales capaces de realizar su propio ciclo de crecimiento-rotura-dispersión. Quien de ellas realice su "ciclo vital" con más éxito depende en buena medida del tipo particular de imperfecciones cristalográficas que posea. Por puro azar, además, irán apareciendo nuevos errores (mutaciones).

(Las arcillas poseen pues, las bases para protagonizar una evolución Darwiniana basada en la variación y la selección natural. Para llegar hasta este escenario no ha sido necesario plantear ningún ambiente extraño, ni atmósferas de condiciones improbables, ni casualidades encadenadas, sino vulgares procesos geológicos como erosión, viento, disolución, cristalización, etc, fácilmente reproducibles en laboratorio.)



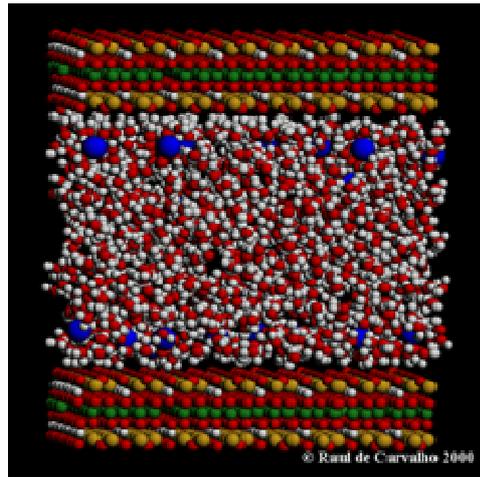
De sobra es conocido el "gusto" que muestran las arcillas por formar complejos de adsorción, es decir, capas ordenadas de iones, ajenos al cristal pero pegados a él con enlaces débiles, originando capas concéntricas. A menudo este proceso sirve de mecanismo de unión de unas sustancias con otras. Es decir, las arcillas no sólo se copian, sino

que son catalizadores activos. Cuando en el agua abundan las sustancias orgánicas, las arcillas las atrapan, y se rodean de ellas formando los lodos bituminosos. Hasta aquí es donde puede progresar hoy día esta particular evolución, porque donde hay arcillas con biomoléculas, existen bacterias, hongos y animales comedores de limo que abortan cualquier "intento evolutivo". A comienzos del Precámbrico, sin embargo, no existían las bacterias ni por supuesto los animales. Además, como hemos visto, las aguas almacenaban gran cantidad de materia orgánica. El relato de la primera vida, la "vida de baja tecnología", puede comenzar.

En un primer estadio, los replicadores cristalinos, carentes de cualquier competencia, se extienden por las aguas. Según Cairns-Smith, al principio vivirían en ambientes protegidos, en rocas porosas o fondos marinos, y más adelante se extendieron a lugares más expuestos, más cambiantes, más próximos a la superficie. Algunas variedades, portarían mejoras, haciendo que las condiciones fuesen más duras para sus rivales. Podrían haber aparecido "depredadoras" capaces de destruir a otros

replicadores, e incorporar los fragmentos de sus víctimas como materia prima. (Es importante recordar que no se sugiere ningún proyecto deliberado, sencillamente el mundo tiende a llenarse de aquellas variedades de arcilla que poseen propiedades que las hacen crecer y diseminarse con más éxito). Los genes minerales no poseen el exacto control molecular que poseen nuestros enzimas, pero con su información, podrían haberse construido poros, membranas, conductos y otros trucos destinados a un crecimiento y un uso del agua saturada, verdaderamente eficaces.

Algunas familias de cristales, pudieron catalizar la síntesis de nuevas sustancias que les ayudasen en sus procesos de replicación-dispersión. Estas sustancias secundarias serían en un principio meras herramientas de los genes de arcilla (¿su fenotipo?) (Las moléculas orgánicas son usadas con frecuencia en la industria petrolera para alterar las propiedades de lodos bajo presión de fluidos. Ej: los cristales de montmorillonita, tienden a fragmentarse en presencia de determinados compuestos orgánicos, los taninos alteran la dureza de illitas y caolinitas, otras, disminuyen la solubilidad de los minerales, etc) La "edad de oro" de la vida de baja tecnología, sería un mundo poblado por seres orgánicos, controlados por genes de cristal, que continúan poseyendo la información hereditaria, y aún son los únicos replicadores. (En laboratorio se han obtenido variedades de arcillas que se rodean de membranas lipídicas cuando han agotado sus posibilidades de crecimiento, y que incluso pueden realizar una auténtica fotosíntesis)



Con el tiempo, se inventarían las proteínas. No sólo como soportes estructurales, sino con funciones catalizadoras. Su función de control químico, resultaría mucho mejor que las rudimentarias superficies de la arcilla. Un gen cristalino, trabajando con enzimas, sería capaz de llevar a cabo su ciclo vital de un modo mucho más rápido y preciso. La selección natural trabajaría a su favor. Poco después, se inventaría el ARN como elemento estructural. Durante bastante tiempo, sin embargo, ninguno de los cada vez más complejos "cuerpos" orgánicos tenía la capacidad de replicarse.

En un momento dado, el ARN, o algo similar, comenzó a duplicarse por sí mismo. Proteínas y ARN tomaron las riendas, y se mostraron no sólo como mejores catalizadores, sino como ejemplares y rápidos replicadores. En este momento, el primer ser vivo, enteramente orgánico vio la luz. Se produjo el primer **relevo genético**. Las nuevas formas de vida (¿bacterias?), demostraron realizar todas y cada una de sus funciones de autocopiado de un modo infinitamente más efectivo que los

viejos replicadores minerales, que pronto pasarían a la historia. Había comenzado la vida de alta tecnología: nuestra vida.

### **Epílogo.**

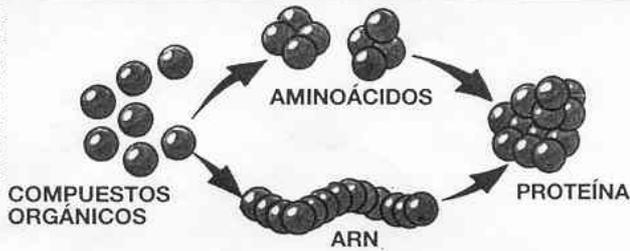
La selección natural creó los genes replicadores (con las arcillas, o por cualquier otro camino) Los genes se agruparon y se rodearon de estructuras que llamamos células y cuerpos, auténticas máquinas de supervivencia destinadas a su mejor y más rápida transmisión. La evolución también consiguió equipar a algunos cuerpos con computadoras de abordo que llamamos cerebros. Recientemente, los cerebros han comenzado a construir estructuras replicadoras, completamente ajenas a los genes orgánicos.

Cairns-Smith, Dawkins y otros, proponen que en la actualidad se está produciendo un nuevo relevo genético. La nueva oleada de vida no está basada en el carbono. Su información son bits, y sus cuerpos están hechos de circuitos semiconductores de silicio. Aunque todavía está en su niñez y aún depende por entero de nosotros, su velocidad replicadora es superior a la nuestra en varios órdenes de magnitud. El día que existan máquinas u ordenadores capaces de crear copias de sí mismos, el segundo relevo genético se habrá consumado. ¿Habrá en un futuro remoto organismos electrónicos dotados de consciencia e inteligencia que se pregunten "quiénes son y de dónde vienen"? ¿Existirán biólogos de metal y silicona que consideren imposible la aparición por azar de sus primeros antepasados, los ordenadores? ¿Podrá imaginarse uno de estos seres, que fueron creados por una vida anterior, basada en el carbono? Evidentemente, todo esto no es más que ciencia ficción, pero sería irónico que la vida basada en el silicio, recuperara el control de la evolución, después de un interludio (que duró tres eones) de vida de Carbono.

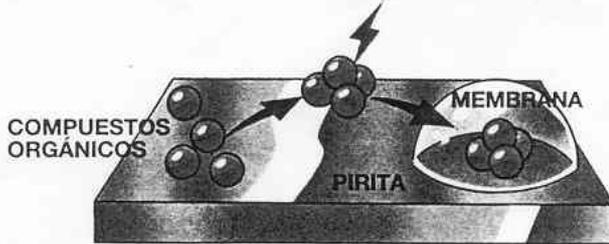


# TRES TEORIAS: ASI COBRO VIDA LA MATERIA INERTE

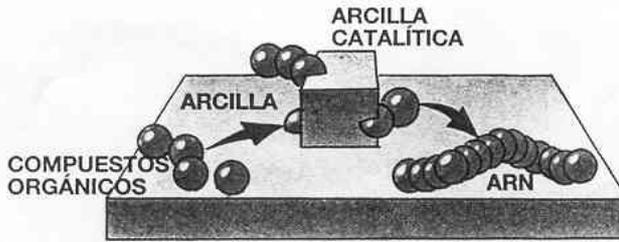
ILUSTRACION: ANTONIO MEDINA



**SOPA PRIMORDIAL.** En 1953, Stanley Miller obtuvo en el laboratorio un cóctel de aminoácidos –los constituyentes de las proteínas– a partir de una mezcla de sustancias que se pensaba que formaba parte de la atmósfera primitiva. Los científicos sospechan que las moléculas genéticas, tal vez el ARN, precedieron a las proteicas.



**PIRITA.** Muchas moléculas orgánicas tienen la propiedad de adherirse a superficies minerales de pirita. Estas sustancias pudieron agruparse en colonias capaces de llevar a cabo reacciones energéticas de tipo fotosintético. Las colonias acabarían aislándose en membranas y sintetizando los precursores del ARN y ADN.



**ARCILLA.** Alternativamente, los cristales de arcilla, que además de ser capaces de crecer y replicarse, no son perfectos, podrían haberse asociado a moléculas simples de ARN y otras sustancias orgánicas muy simples.

