

# UNIDAD 3

## EL ORIGEN Y LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA



### **1. EL ORIGEN DE LA VIDA**

- 1.1. Primeras teorías
- 1.2. La evolución prebiótica
- 1.3. La evolución protobiológica
- 1.4. La evolución biológica

### **2. LA EVOLUCIÓN**

- 2.1. Teorías fijistas
- 2.2. Teorías evolucionistas

### **3. PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN**

### **4. FORMACIÓN DE NUEVAS ESPECIES**

### **5. EXTINCIONES**

# 1. EL ORIGEN DE LA VIDA

## 1.1. PRIMERAS TEORÍAS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA

### a) Creacionismo

Según esta teoría el origen de la vida se atribuye a un Ser superior. Todas las religiones cuentan con relatos sobre el origen de los seres vivos. En realidad no son teorías científicas, ya que ni la existencia de este ser superior, ni su implicación en el origen de los seres vivos no puede ser demostrada científicamente.

### b) La Generación Espontánea

Desde la antigüedad este pensamiento se tenía como aceptable, sosteniendo que la vida podía surgir del lodo, del agua, del mar o de las combinaciones de los cuatro elementos fundamentales: aire, fuego, agua, y tierra.

**Aristóteles** propuso el origen espontáneo para gusanos, insectos, y peces a partir de sustancias como el rocío, el sudor y la humedad. Según él, este proceso era el resultado de interacción de la materia no viva, con fuerzas capaces de dar vida a lo que no tenía. A esta fuerza la llamo *entelequia*.

La idea de la generación espontánea de los seres vivos, perduro durante mucho tiempo. En 1667, **Johann B. van Helmont**, medico holandés, propuso una receta que permitía la generación espontánea de ratones:



*"las criaturas tales como los piojos, garrapatas, pulgas, y gusanos, son nuestros huéspedes y vecinos, pero nacen de nuestras entrañas y excrementos. Porque si colocamos ropa interior llena de sudor junto con trigo en un recipiente de boca ancha, al cabo de 21 días el olor cambia y penetra a través de las cáscaras del trigo, cambiando el trigo en ratones. Pero lo más notable es que estos ratones son de ambos sexos y se pueden cruzar con ratones que hayan surgido de manera normal..."*

Algunos científicos no estaban conformes con esas explicaciones y comenzaron a someter a la experimentación todas esas ideas y teorías.

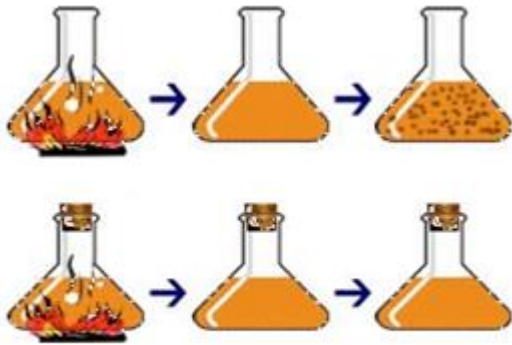
**Franchesco Redí**, médico italiano, hizo los primeros experimentos para demostrar la falsedad de la generación espontánea.

Consiguió demostrar que los gusanos que infestaban la carne eran larvas que provenían de huevecillos depositados por las moscas en la carne, simplemente coloco trozos de carne en tres recipientes iguales, al primero lo cerro herméticamente, el segundo lo cubrió con una gasa, el tercero lo dejo descubierto, observo que en el frasco tapado no había gusanos aunque la carne estaba podrida y mal oliente, en el segundo pudo observar que, sobre la tela, había huevecillos de las moscas que no pudieron atravesarla, la carne del tercer frasco tenia gran cantidad de larvas y moscas. Con dicho experimento se empezó a demostrar la falsedad de la "generación espontánea"

A finales del siglo XVII, **Antón van Leeuwenhoek**, gracias al perfeccionamiento del microscopio óptico, logró descubrir un mundo hasta entonces ignorado. Encontró en las gotas de agua sucia gran cantidad de microorganismos que parecían surgir súbitamente con gran facilidad. Este descubrimiento fortaleció los ánimos de los seguidores de la "generación espontánea"



A pesar de los experimentos de Redí, la teoría de la generación espontánea no había sido rechazada del todo, pues las investigaciones, de este científico demostraba el origen de las moscas, pero no el de otros organismos.



Experimento de Spallanzani (1765)

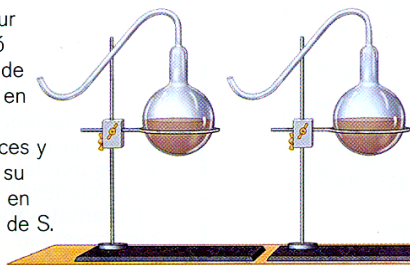
En esa misma época, otro científico, *John Needham*, sostenía que había una fuerza vital que originaba la vida. Sus suposiciones se basan en sus experimentos: hervía caldo de res en una botella, que tapaba con un corcho, la dejaba reposar varios días y al observar al microscopio muestras de la sustancia, encontraba organismos vivos. Needham suponía que el calor era suficiente para matar a cualquier organismo y que, la presencia de seres vivos era originada por la fuerza vital.

Sin embargo *Spallanzani* no se dejó convencer como muchos científicos de su época. Realizó los mismos experimentos de Needham, pero sellaba totalmente las botellas, las ponía a hervir, la dejaba reposar varios días. No encontraba organismos vivos, lo que lo llevó a concluir que los organismos encontrados por Needham procedían del aire que penetraba a través del corcho.

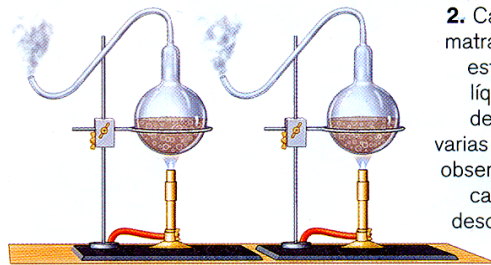
**c) La biogénesis**

En 1862, *Louis Pasteur*, médico francés, realizó una serie de experimentos encaminados a resolver el problema de la generación espontánea. Él pensaba que los causantes de la putrefacción de la materia orgánica eran los microorganismos que se encontraban en el aire. Para demostrar su hipótesis, diseñó unos matrazes cuello curvado, en los cuales colocó líquidos nutritivos que después hirvió hasta esterilizarlos. Posteriormente, observó que en el cuello de los matrazes quedaban retenidos los microorganismos del aire y aunque este entraba en contacto con la sustancia nutritiva, no había putrefacción de la misma. Para verificar sus observaciones, rompió el cuello de cisne de un matraz. Al entrar en contacto el líquido con el aire y los microorganismos que contenía, se producía una descomposición de la sustancia nutritiva.

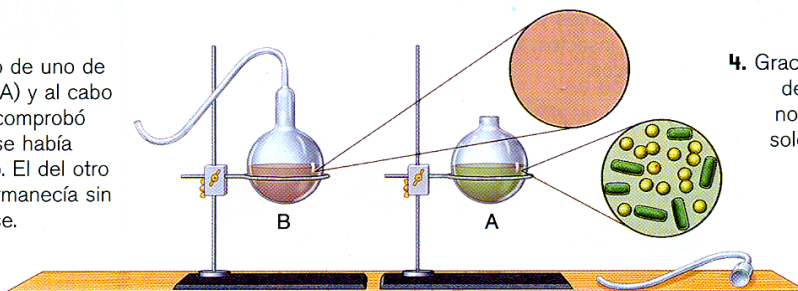
1. Pasteur colocó caldo de carne en dos matraces y dobló su cuello en forma de S.



2. Calentó los matraces para esterilizar el líquido. Aun después de varias semanas observó que el caldo no se descomponía.



3. Cortó el cuello de uno de los matraces (A) y al cabo de unos días comprobó que su caldo se había descompuesto. El del otro matraz (B) permanecía sin descomponerse.



4. Gracias al cuello en forma de S, el aire entra, pero no los microorganismos; solo cuando se rompe el cuello entran microorganismos produciendo la descomposición.

Experimento de Pasteur (1864)

De esta manera quedó comprobada la falsedad de la teoría de la generación espontánea y se aceptó de forma generalizada la hipótesis de la biogénesis: "Todo ser vivo procede de otro ser vivo".

De cualquier forma quedaba sin respuesta la pregunta original: **¿cómo se formó el primer ser vivo?**

## 1.2. LA EVOLUCIÓN PREBIÓTICA

Las hipótesis sobre el origen de la vida se pueden agrupar en dos grandes corrientes:

### - Origen exógeno

Arrhenius, en 1906, propuso que el origen de los compuestos orgánicos y los primeros seres vivos era extraterrestre. Llamó a su teoría **Panspermia**. Suponía que la esporas de estos se trasladaban por el espacio de planeta en planeta.

Se han encontrado moléculas orgánicas y los elementos químicos propios de la vida en meteoritos, aunque no seres vivos. Las condiciones del espacio exterior son demasiado duras para que organismos vivos puedan resistirlas.

### - Origen endógeno

Según esta hipótesis las moléculas orgánicas y los seres vivos surgieron en la Tierra primitiva.

Lo más probable es que la vida se originara a partir de materia orgánica que existía en la Tierra, cuyo origen, en parte, era extraterrestre.

### a) Origen físico-químico de la vida (Hipótesis de Oparin y Haldane)

A principios de siglo XX, el ruso *Aleksandr Oparin* propuso su hipótesis sobre el origen de las primeras moléculas orgánicas. Según este científico Las moléculas orgánicas se originaron en la Tierra a partir de los compuestos inorgánicos sencillos que estaban presentes en la atmósfera primitiva.

Los gases de esta atmósfera (metano, amoniaco, dióxido de carbono, etc), expuestos a la energía derivada de la radiación solar, las tormentas eléctricas y las erupciones volcánicas, continuas en aquella época, formarían estas pequeñas biomoléculas que se concentrarían y acumularían en los océanos primitivos, formando lo que él llamó "sopa caliente y diluida".

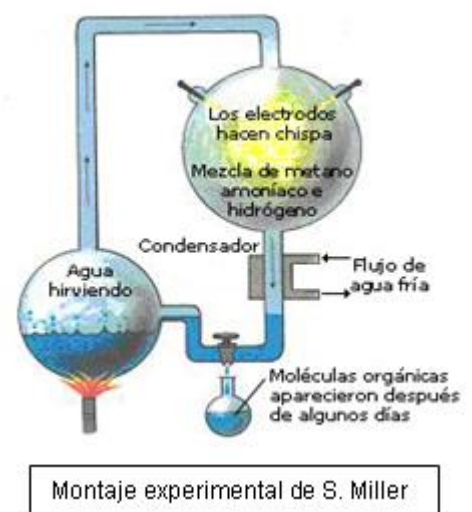
Es decir, la aparición de los primeros seres vivos estuvo precedida de una evolución química que él llamó **síntesis prebiótica**.

Algo más tarde, el británico *John Haldane* llegó a las mismas conclusiones que Oparin de forma independiente.

Esta hipótesis fue confirmada por los experimentos realizados por el estadounidense *Stanley Miller*, en colaboración con *Harold Urey*, en 1953. Este simuló las condiciones que se suponían a la atmósfera primitiva en el laboratorio, obteniendo al cabo de cierto tiempo moléculas orgánicas (aminoácidos, urea y ácidos grasos).

Repetidos experimentos variando la composición inicial de la mezcla de gases y distintas fuentes de energía (electricidad, radiación, temperatura, etc) permitieron obtener prácticamente todos los compuestos orgánicos sencillos en el laboratorio. La hipótesis quedaba así confirmada.

Hoy día se supone una composición diferente a la atmósfera primitiva, más reductora, sin embargo, la hipótesis resulta igualmente válida.





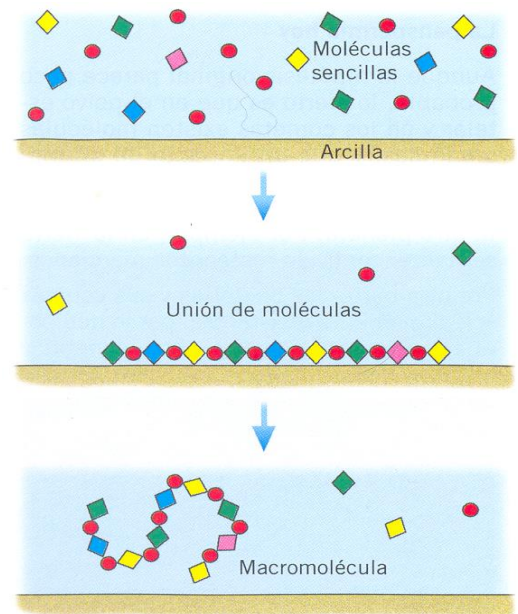
## b) Formación de macromoléculas

### ▪ Hipótesis de la arcilla

Una vez formadas las biomoléculas más pequeñas (aminoácidos y nucleótidos), comenzaron a reaccionar entre ellas y a formar moléculas más grandes por polimerización (proteínas y ácidos nucleicos)

Sin embargo, la pequeña concentración de estas moléculas sencillas que habría en la “sopa primordial” dificultaría mucho la formación de polímeros a partir de ellas.

*Cairns-Smith* propuso la participación de las **arcillas** en el proceso. Estas arcillas actuarían como catalizadores, atrayendo y concentrando en su superficie a las pequeñas moléculas orgánicas favoreciendo su unión en polímeros, para dar lugar a las primeras macromoléculas biológicas: ácidos nucleicos y proteínas.



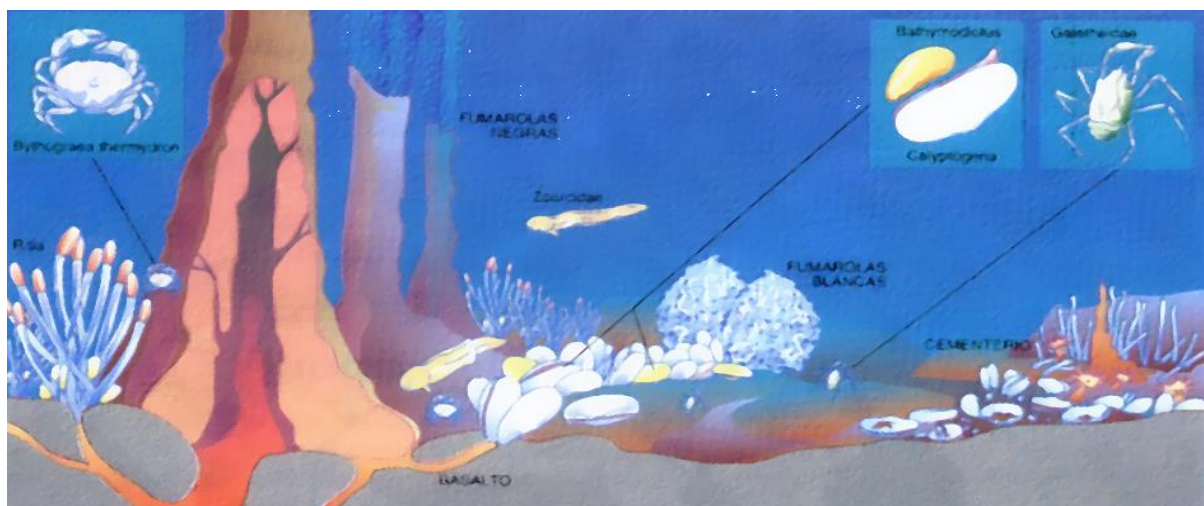
Recientemente se ha propuesto como alternativa a la arcilla, la **mica**, mineral compuesto por silicato de aluminio, magnesio o hierro que forma finas láminas superpuestas, o la **pirita**, mineral compuesto por sulfuro de hierro, que también habrían podido servir de anclaje a las primeras moléculas orgánicas complejas durante su formación.

### ▪ Hipótesis hidrotermal

En 1977, *Corliss* descubrió los ecosistemas de los humeros submarinos (manantiales cercanos a las dorsales que sustentan una gran variedad de fauna que no depende de la luz solar (fotosíntesis) para su mantenimiento, sino que obtiene la energía de elementos químicos que emanan de dichos manantiales (Bacterias quimiosintéticas)

*Russell*, en sus investigaciones sobre la forma de vida más simple. Ha propuesto que la vida pudo surgir en estos humeros, cuyas condiciones parecen mejores para ello que las de la atmósfera primitiva. La profundidad de los mares proporciona protección contra las condiciones adversas imperantes en la superficie en esa época:

- se evita la influencia nociva de la radiación ultravioleta asociada a la energía solar.
- permiten una gama más amplia de acidez-alcalinidad (pH).
- proporciona condiciones reductoras.
- presentan minerales de arcilla que facilitan la polimerización.
- dependen de la energía geotérmica y de una gran diversidad de reacciones químicas exotérmicas.



## 1.3. LA EVOLUCION PROTOBIOLÓGICA

Con el tiempo, algunas de estas grandes moléculas se asociaron, formando las primeras células. Este paso es el que más controversia genera hoy día y sobre el que menos se sabe.

Se supone que el proceso englobó varios sucesos que llevaron a la formación del primer **protobionte**. Los elementos mínimos para que se forme un protobionte son:

- Una **membrana** (envoltorio que incluya macromoléculas en su interior).
- **Metabolismo** (reacciones químicas llevadas a cabo por enzimas)
- **Autoreplicación** (reproducción y transmisión de la información hereditaria)

### a) Vesículas

#### - Coacervados

Oparín propuso que tras la formación de las grandes moléculas biológicas se formaron los primeros protobiontes (*coacervados*). Son pequeñas esferas huecas con una envoltura de macromoléculas y un medio interno con enzimas capaces de realizar reacciones químicas. Estos coacervados se formaban espontáneamente en la “sopa caliente”.

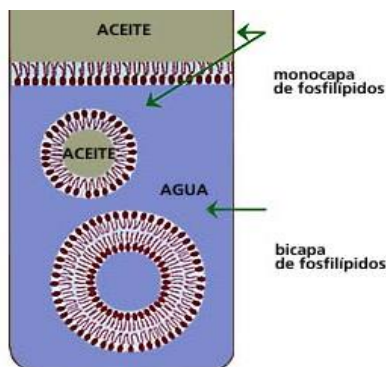
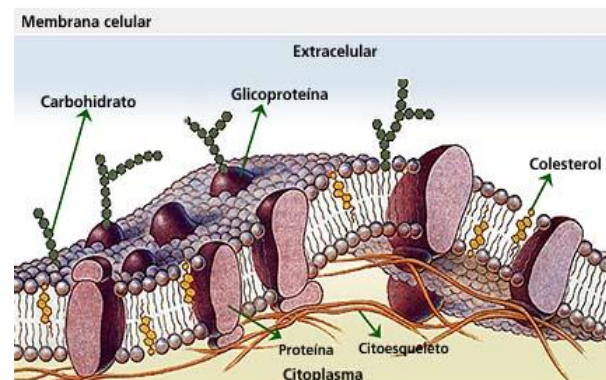


Diagrama de las 'bicapas' que se generan al mezclar fosfolípidos (o cualquier otro lípido polar) y agua.



Modelo de la estructura de la membrana plasmática, sugerido por el comportamiento de los fosfolípidos en solución acuosa.

#### - Microesferas proteinoides

Hipótesis propuesta por Fox. En condiciones parecidas a las de la Tierra primitiva se producía la aparición de pequeñas esferas de proteína capaces de captar energía y que se podían dividir.

#### - Liposomas

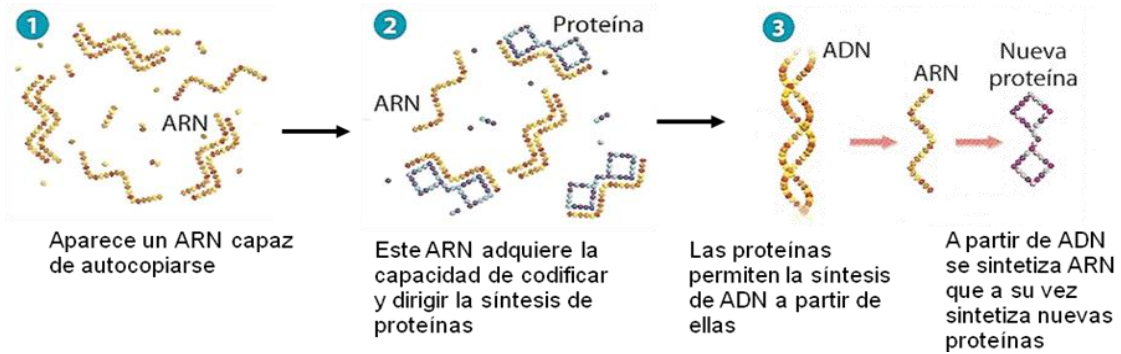
Son pequeñas esferas de fosfolípidos que se forman espontáneamente cuando se colocan en medio acuoso. Las células actuales tienen membranas formadas por fosfolípidos.

### b) Autoreplicación

#### - Aparición del gen (Mundo del ARN)

Propuesta por Condie y Sloan en 1998. Tras la aparición de las microsferas proteinoides de Fox, surgieron moléculas capaces de autopropagarse y que contenían información para controlar esta autorreplicación.

Probablemente, la primera molécula que contuvo información genética fue un ARN que además tenía capacidad catalítica (ribozimas). Posteriormente, la capacidad de contener la información genética fue cedida al ADN, más estable, y la catalítica a las proteínas.



## 1.4. LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

### a) Las primeras células

Éstas primeras células, eran **procariontas** muy sencillas, similares a las actuales cianobacterias filamentosas (que fabrican los actuales *estromatolitos*) que debían de tener una cadena de ácido nucleico, que almacenaría su información genética, y se alimentaban de materia orgánica suspendida en el mar (heterótrofas). Aparecieron hace 3.800 millones de años.

Las células primitivas dieron lugar a las primeras bacterias. Éstas se alimentaban mediante la fotosíntesis, como las plantas. Como consecuencia, las bacterias consumían dióxido de carbono y liberaban oxígeno (autótrofas fotosintéticas anaerobias).

Debido a la actividad de las bacterias primitivas, la atmósfera se fue cargando de oxígeno, lo que provocó un importante cambio en la misma. Sabemos que hace 2.500 millones de años la atmósfera era ya muy parecida a la actual (rica en oxígeno y con capa de ozono)

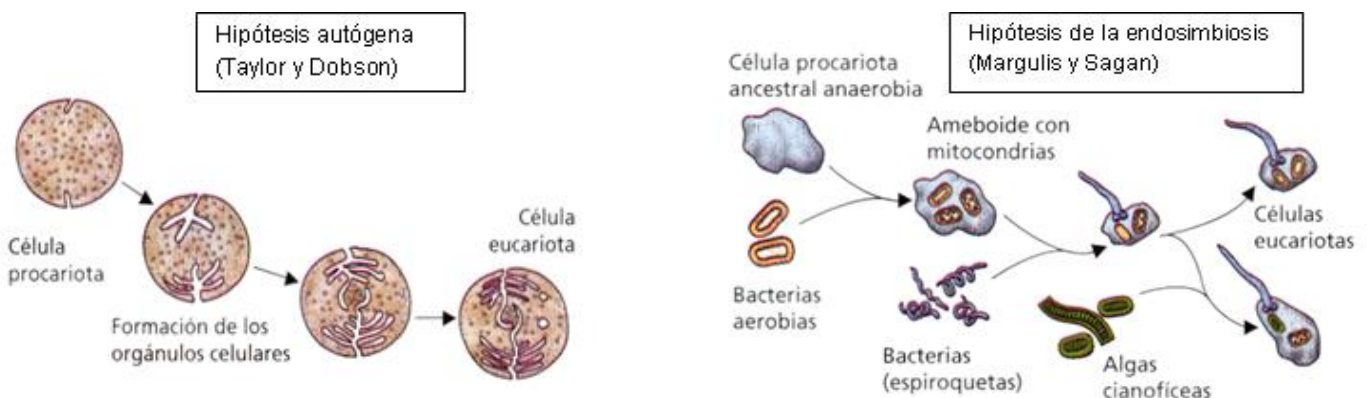
### b) La evolución celular

Los cambios en la atmósfera produjeron la extinción de muchos seres, que no soportaban el oxígeno (**anaerobios**), y la aparición de otras muchas especies. Entre las que aparecieron en aquella época están las bacterias **heterótrofas** (se alimentan de materia orgánica) y respiran oxígeno (**aerobias**).

Aún no se conocen bien los procesos de evolución de las primeras células. Pero se piensa que algunas células procariontas evolucionaron y dieron lugar a las primeras células eucariotas, hace unos 1.000 m.a.

Probablemente, tanto por procesos de replegamiento de la membrana (teoría autógena), como por el establecimiento de simbiosis con otras bacterias (teoría de la endosimbiosis), fueron apareciendo los distintos orgánulos celulares.

Se cree que aparecieron a la vez las células **eucariotas autótrofas** y las **heterótrofas**. Estas primeras células eucariotas debieron de ser muy parecidas a las algas unicelulares y a los protozoos que viven en la actualidad. Fueron los antepasados de todos los seres vivos eucariotas.





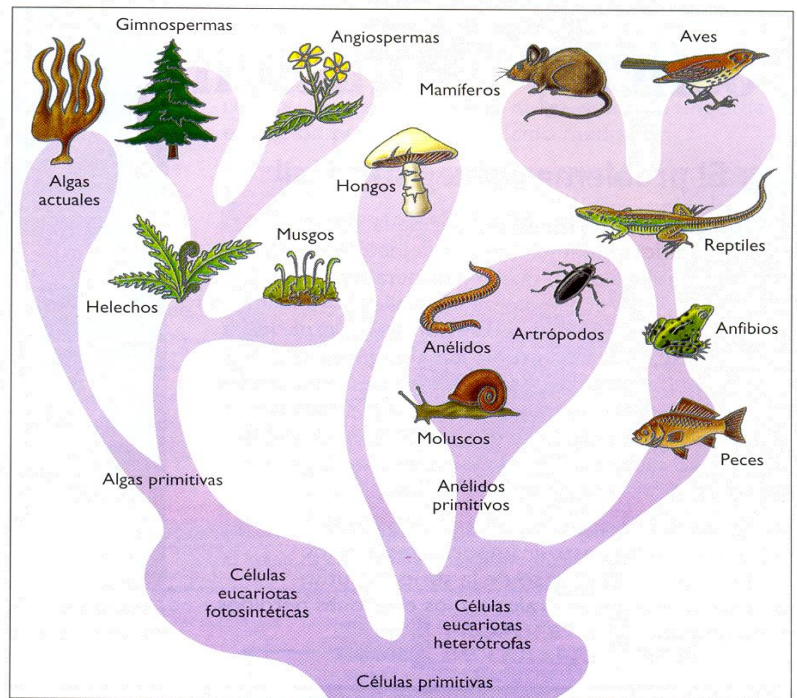
### c) De unicelular a pluricelular

Con el tiempo los seres unicelulares comenzaron a asociarse en grupos celulares.

Al principio solo eran **cenobios** (células iguales y autosuficientes y unidas solo por alguna sustancia mucilaginosa o una envuelta común) pero poco a poco estos grupos se hicieron más complejos y se transformaron en **colonias** (con cierta división del trabajo entre ellas).

Posteriormente células especializadas de estas colonias se mantuvieron juntas tras la división celular desarrollándose así los tejidos y los primeros **seres pluricelulares**.

La posterior evolución de los seres pluricelulares fue muy rápida (apenas 570 m.a.), observándose una complejidad y diversificación cada vez mayores.



## 2. LA EVOLUCIÓN

### 2.1. TEORÍAS FIJISTAS

Aunque hoy día el fijismo está descartado como teoría científica, pervive como creencia religiosa.

En su origen nace como la necesidad de explicar la diversidad de los seres vivos de acuerdo con la concepción religiosa de la vida y la interpretación literal de la Biblia, vigente en aquella época.

Grandes científicos defendieron esta concepción, en parte por prejuicios religiosos (eran hombres de su tiempo) y en parte porque no se conocía ningún mecanismo que explicara la evolución.

#### a) Creacionismo

Supone que las especies no cambian, sino que se mantienen invariables a lo largo del tiempo desde que fueron creadas por Dios. En otras tradiciones culturales se atribuye la creación a otro ser o seres superiores, pero la esencia de la Teoría es la misma.

De esta forma los seres vivos son de distintas especies porque han sido creados así y no es posible que sufran ningún cambio, ni tienen relaciones de parentesco entre ellos.

Esta idea ha perdurado a lo largo de los siglos, debido sobretodo a que se apoya en la interpretación literal de la Biblia, incuestionable hasta hace poco. Incluso grandes naturalistas como *Kalt Linné* (Linneo) aceptaban sin dudar este modelo.

#### b) Catastrofismo

Esta teoría fue propuesta por el anatomista *Georges Cuvier* (1769-1832). Según esta hipótesis, en el pasado se habían producido sucesos geológicos catastróficos (el último de cuales fue el Diluvio bíblico) que provocaron la desaparición de algunas especies, tras las cuales se producían nuevas creaciones.

De esta forma se explicaba el problema que para el creacionismo suponía la existencia de los fósiles.



## 2.2. TEORÍAS EVOLUCIONISTAS

### 2.2.1. LAMARCKISMO

En 1809, Jean-Baptiste Monet, Caballero de Lamarck, publicó su obra *Filosofía zoológica* en la que exponía su teoría sobre la evolución de los seres vivos. Lamarck sostenía que las especies “evolucionan de manera gradual y continua a lo largo de su existencia”.

Incluía en su teoría a todos los seres vivos, desde los más sencillos a los más complejos, e incluso al hombre.

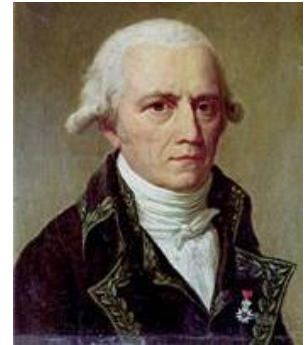
Según Lamarck la evolución se basa en:

- Tendencia de los organismos a la complejidad y la perfección (es un impulso interno dado por Dios)
- Aparición de cambios en los seres vivos (adaptaciones)
  - “La función crea el órgano” (la necesidad hace aparecer órganos nuevos o desarrollaba los ya existentes)
  - “El órgano que no se utiliza se atrofia” (cuando algo no es necesario se termina perdiendo)
- Herencia de los caracteres adquiridos: Los caracteres adquiridos durante la vida del individuo se conservan y transmiten a la descendencia

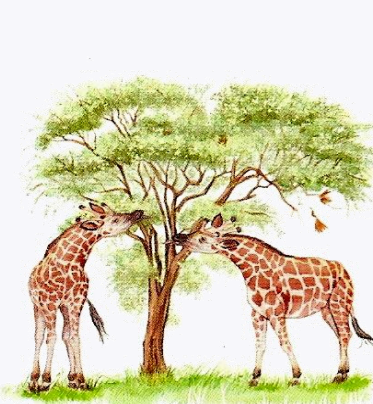
Hoy día no se acepta esta teoría, ya que:

- No existen pruebas de la existencia de ese “impulso a la complejidad y la perfección”. De hecho muchas veces se observan cambios en sentido contrario.
- Los conocimientos actuales sobre la herencia de los caracteres niega la posibilidad de que los caracteres adquiridos sean hereditarios. Sólo los caracteres que residen en los genes se transmiten a la descendencia.

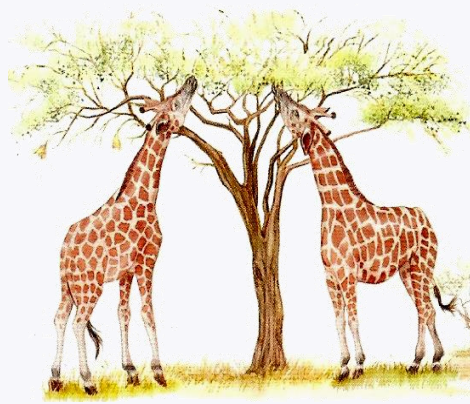
Su verdadero valor, sin embargo, reside en que es la primera teoría que se opone a la inmutabilidad de las especies (fijismo) y formula una explicación científica para explicar los cambios que sufren los seres vivos a lo largo del tiempo. Aunque sorprendió y creó gran controversia, las ideas de Lamarck sentaron las bases para que el pensamiento científico de la época se dirigiera hacia el problema de la evolución.



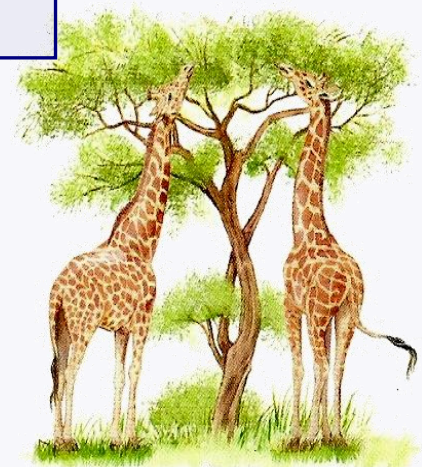
### Ejemplo de Lamarckismo



Las primitivas jirafas provenían de antílopes primitivos (cuello corto) que vivían en la sabana y se alimentaban de las hojas bajas de las acacias.



En épocas de sequía el alimento disminuía y las jirafas necesitaban estirar el cuello para alcanzar las hojas de la parte alta de los árboles. Debido al **uso** y a la **necesidad**, el órgano se fue alargando.



Los **caracteres adquiridos** (cuello y patas cada vez más largos) eran transmitidos a la descendencia de generación en generación.

### 2.2.2. DARWINISMO

En 1831, Charles Darwin se unió a una expedición científica alrededor del mundo a bordo del *Beagle*.

Durante los siguientes cinco años visitó Sudamérica, Australia y África, estudiando la vida natural y recolectando especímenes.



Sus observaciones le llevaron a elaborar una nueva teoría sobre la evolución de los seres vivos.

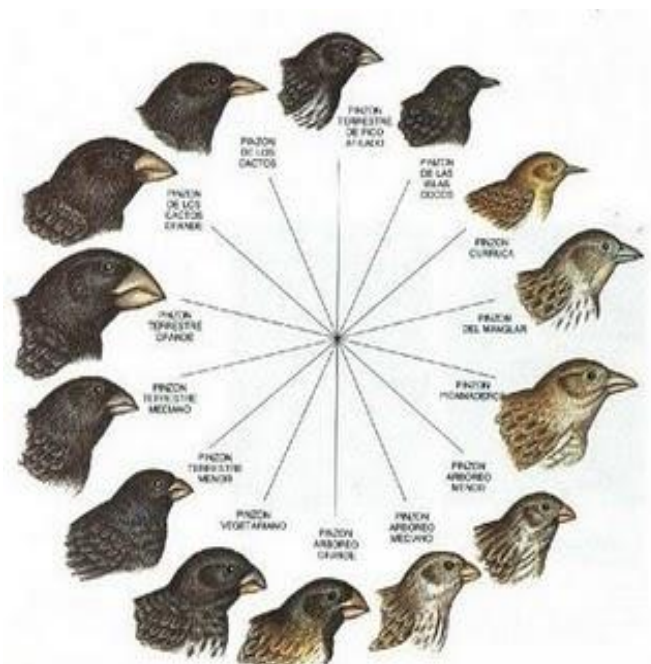
Sobre él tuvieron gran influencia los trabajos de:

- **Charles Lyell** (*Los principios de la Geología*, 1830-1833). Lyell propone la hipótesis de una *serie de cambios pequeños, graduales y continuos* para explicar la historia de la Tierra.
- **Thomas Robert Malthus** (*Un ensayo sobre el principio de la población*, 1798). Malthus presentaba la desproporción entre el aumento de la población humana y los recursos alimentarios disponibles. De la lucha por los recursos saldrían vencedores los que poseyeran algún tipo de ventaja sobre los demás.

En las islas Galápagos, Darwin encontró numerosas pruebas que fueron la clave para elaborar su teoría de la evolución. Estudiando diferentes especies de pinzones, se dio cuenta de que estos presentaban ligeras diferencias en el aspecto del pico. La forma del pico estaba relacionada con el tipo de alimentación de cada especie.

Darwin dedujo que las diferencias ambientales entre las islas habían provocado la selección de los pájaros con las características más adecuadas para cada una de ellas. Eso significaba que todos las especies de pinzones estaban emparentados y procedían de un antecesor común.

Darwin eligió el término **selección natural** por analogía con la actividad propia de los criadores dedicados a la mejora de animales y plantas, que seleccionaban los individuos con las características idóneas como progenitores para obtener descendientes con similares características. Este proceso recibe el nombre de **selección artificial**.





Pese a estar completamente convencido de que su teoría era correcta, Darwin no se atrevió a publicarla.

En 1858, el naturalista Alfred Russel Wallace le envió uno de sus trabajos (*Sobre la tendencia de las variedades a apartarse indefinidamente del tipo original*) en el que exponía básicamente la misma teoría de la evolución. Este hecho fue el que le sirvió como estímulo a Darwin para publicar su obra.

Ambos científicos compartieron sus descubrimientos y los expusieron de forma conjunta en la Sociedad Linneana de Londres.

Poco después se publicó el libro "El origen de la especie" de Charles Darwin (1859) en el que se sentaban las bases de la teoría de la evolución por selección natural.

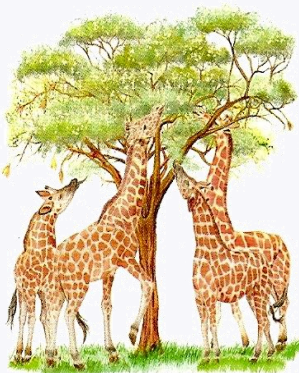
Las bases de la teoría de Darwin-Wallace son:

- Elevada capacidad reproductiva de los seres vivos.  
Las especies suelen tener más descendencia de la que sobrevivirá y después llega a adulta. La causa de que una especie no aumente su número de forma infinita es que los recursos alimenticios son limitados
- Variabilidad de la descendencia  
Los descendientes de una pareja de individuos con reproducción sexual no son idénticos entre sí. Siempre hay ligeras diferencias que los hacen distintos.
- La selección natural  
Entre los miembros de una especie se establece una *lucha por la supervivencia*, sobretudo si los recursos son escasos. Sólo los mejor adaptados consiguen sobrevivir y reproducirse y transmiten, por tanto, sus caracteres a la descendencia. El medio, pues selecciona a los individuos.
- Las especies cambian de forma continua y gradual  
Si las condiciones ambientales se mantienen estables las variaciones favorables irán siendo más abundantes cada generación y las desfavorables irán desapareciendo.

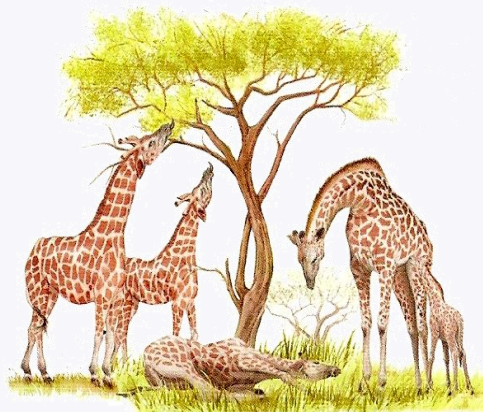
Según esta teoría la unidad de evolución es el **individuo**.

En su día esta teoría provocó mucha polémica y no fue del todo aceptada ya que no podía explicar el origen de la variabilidad de la descendencia.

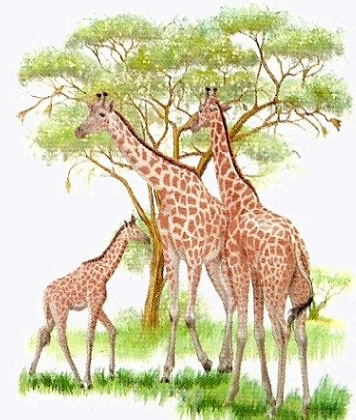
### Ejemplo de Darwinismo



En una población de jirafas, los individuos son diferentes entre si de tal forma que hay individuos de cuello largo e individuos de cuellos corto (**variabilidad en la población**).



En las épocas de sequía, las jirafas de cuello y patas más largas alcanzarán las hojas más altas de los árboles. Por eso, tendrán más posibilidades de sobrevivir y reproducirse, mientras que las de cuello y patas cortas morirán (**selección natural**).



Generación tras generación, de forma **continua** y **gradual** en la población de jirafas habrá cada vez más individuos de cuello y patas largas.



### 2.2.3. NEODARWINISMO O TEORIA SINTÉTICA

Durante las primeras décadas del siglo XX se realizaron importantes descubrimientos en el campo de la genética, la bioquímica y la ecología. Se redescubrieron las leyes de Mendel y se comprobó que los factores hereditarios, los genes, residían en los cromosomas. Se encontró la explicación a la diversidad que existe dentro de las poblaciones, al descubrir la mutación y cómo esta diversidad se incrementaba notablemente con la reproducción sexual.

Todo ello, llevó a una nueva forma de abordar el problema de la evolución. En 1937, Theodosius Dobzhansky publicó su obra *Genética y origen de las especies*, en la que reinterpretaba las ideas de Darwin a la luz de los conocimientos nuevos (teoría sintética)

Según esta teoría la evolución se produce por:

- **Variabilidad genética:**

Dentro de una población existe gran número de genotipos diferentes. Esta variedad se produce al azar, mediante **recombinación** y **mutación**.

Por **adaptación** se entiende la posesión de cualquier característica que mejore la capacidad del organismo para utilizar los recursos del medio lo que aumentará sus probabilidades de sobrevivir y reproducirse.

Los genotipos mejor adaptados tendrán mayor **eficacia biológica**, es decir, mayor capacidad para dejar descendencia. Esto se traducirá en un mayor número de descendientes de este individuo en la siguiente generación y, por tanto, en la mayor propagación de sus genes en la población en generaciones sucesivas.

- **Selección natural:**

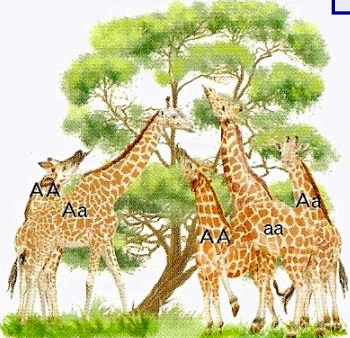
Las combinaciones genéticas peor adaptadas al medio son eliminadas, mientras que las mejor adaptadas serán cada vez más abundantes, ya que sus poseedores sobrevivirán más tiempo y se reproducirán más. De esta forma la proporción de estos genes en la población irá en aumento.

De todas formas hay que tener en cuenta que el medio es cambiante y es el que determina qué carácter es el mejor adaptado en cada momento.

Por tanto, la selección natural hace que varíen las proporciones de los genes en las poblaciones y es por tanto la población la que cambia. La unidad de evolución es la **población**.

Los cambios se producen lentamente y de forma continua y sus efectos sólo son visibles a largo plazo.

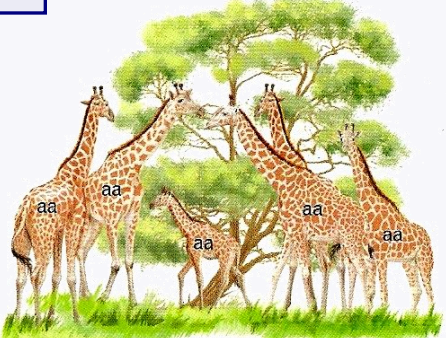
**Ejemplo de Neodarwinismo**



Entre los antecesores de las jirafas, animales de cuello y patas cortas, las **mutaciones** originadas al azar producirán individuos de patas y cuellos más largos



Cuando las condiciones del medio cambian (ej: sequía) el alimento escasea. La mutación se muestra entonces como una ventaja para el individuo que la posee. Este tendrá más probabilidades de sobrevivir y reproducirse, dejando sus genes para la siguiente generación.



La selección natural favorecerá la supervivencia de los individuos con **ventajas adaptativas** (cuello y patas largas), de tal forma que con el tiempo, la mutación aumentará su frecuencia en la población. Es decir, cada vez habrá más individuos de cuello y patas largas y cada vez menos de cuello y patas cortos.

## 2.2.4. NUEVAS TEORÍAS EVOLUTIVAS

### a) **Neutralismo** (Motoo Kimura, 1968)

La mayoría de las mutaciones que sufre el ADN se neutras, no dan ventaja ni producen perjuicio al individuo que las sufre. La selección natural no actúa ni favoreciéndolas ni eliminándolas, por lo que se acumulan en la población, provocando el cambio paulatino de ésta en el tiempo. Según esta hipótesis no es la selección natural, sino el puro *azar* el que hace que varíen las poblaciones.

### b) **Equilibrio puntuado** (Stephen Jay Gould y Niels Eldredge, 1972)

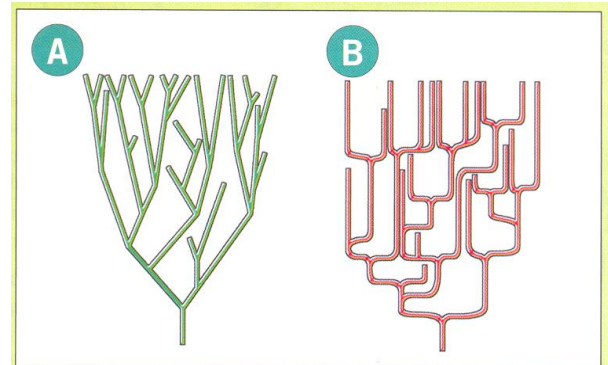
Según esta hipótesis, las especies pasan por dos fases:

#### - Periodo de estasis:

Periodo de estabilidad que abarca la mayor parte de la existencia de la especie. No existen cambios evolutivos, o bien, estos son poco importantes.

#### - Periodo de especiación

En intervalos geológicos muy breves se produce una acumulación de cambios evolutivos que provocan la formación de especies nuevas a partir de la preexistente. Estas especies nuevas entran en competencia y sólo algunas sobreviven.



Ejemplo de un árbol evolutivo según el neodarwinismo (A) y el equilibrio puntuado (B). El neodarwinismo propone una evolución gradual y lenta. La teoría del equilibrio puntuado afirma que existen épocas sin cambios (tramos verticales del árbol) y momentos en los que se forman muchas especies.

Eldredge y Gould afirman que la ausencia de *formas de transición* en el registro fósil no se debe a que este sea incompleto (tal y como defiende el gradualismo), sino a que a veces, la evolución avanza rápidamente, “a saltos”. No se discute, sin embargo, el carácter gradual del cambio evolutivo, sino que se niega la uniformidad de su ritmo.

Según esta teoría la unidad de evolución no es el individuo sino la **especie**.

### c) **Gen egoísta** (Richard Dawkins, 1976)

Los **genes** son las unidades de evolución según esta teoría. Los cuerpos de los seres vivos actúan como “máquinas” de las que dichos genes se sirven para transmitirse de generación en generación. La finalidad de los genes es asegurar su propia existencia y conseguir perpetuarse a lo largo del tiempo.

Según esta teoría la selección natural actúa sobre los genes concretos. Sólo consiguen “sobrevivir” aquellos que consiguen mantenerse en los seres vivos.

### d) **Teoría de la endosimbiosis** (Lynn Margulis, 1972)

De acuerdo con esta teoría las relaciones simbióticas entre organismos son un mecanismo clave de la evolución. La evolución de las células eucariotas por endosimbiosis está hoy ampliamente aceptada. Este mismo mecanismo pudo ser el origen de muchas especies por la adición de sus genomas.

## 3. PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN

### 3.1. PRUEBAS PALEONTOLÓGICAS

La *Paleontología* es la ciencia que estudia la vida prehistórica mediante el análisis de restos fósiles.

Un *fósil* es el resto mineralizado de un organismo. El término *fósil* se refiere no solamente a las partes del cuerpo que pueden preservarse, sino también a cualquier impresión o huella.

El estudio de estos fósiles permite a los científicos determinar la historia de la evolución de organismos extintos. El estudio de los restos fósiles no sólo ofrece argumentos a favor del cambio y modificación (evolución) sufrida por antecesores de las especies actuales, sino que indica también que el proceso ha sido muy lento.

En el registro fósil se observa una tendencia en los distintos grupos de organismos a:

- aumento de la complejidad
- aumento de la diversidad (número de especies diferentes)

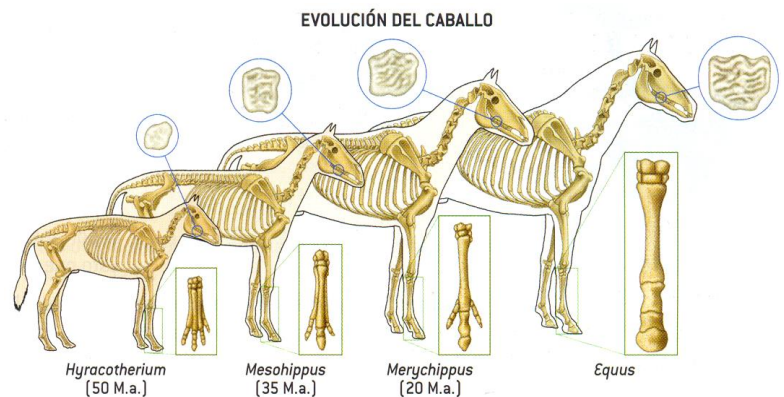
Se observa que las formas de vida más primitivas y sencillas se encuentran en las rocas más antiguas, mientras que las más complejas se encuentran en rocas más modernas. Determinados grupos aparecen en un periodo de forma escasa y alcanzan en otro posterior una gran expansión, para más tarde decaer y extinguirse.

El estudio del registro fósil nos permite:

- Deducir el momento de la *aparición* y *extinción* de una especie.
- Reconstruir la *historia evolutiva* de una especie (serie filogenética)
- Establecer *relaciones de parentesco* entre especies (árboles filogenéticos)

Una serie filogenética es el conjunto de los restos fósiles, que ordenados de mayor a menor antigüedad, nos permite conocer la historia evolutiva de un grupo de organismos. En muchos casos se ha reconstruido el registro fósil completo de algún animal. Es el caso del caballo.

El registro conocido comienza con *Hyracotherium*, del tamaño de un perro, con varios dedos en cada pata y dentición para ramonear, que aparece hace 50 millones de años, y finaliza con *Equus*, el caballo actual, mucho más grande, con sólo un dedo por pata y con dentadura apropiada para pastar. Se conservan muchas formas intermedias, así como otras formas que evolucionaron hacia otras ramas que no han dejado descendientes actuales.



Las *formas intermedias* son las que nos permiten ver o analizar la transición de una especie a la otra.

Un ejemplo es el *Archaeopteryx*. Es un ave primitiva con plumas, pero con dientes en el pico y garras de reptil, lo cual indica que ambos grupos están emparentados.

Un árbol filogenético es la representación gráfica de estas relaciones de parentesco entre especies.



### 3.2. PRUEBAS ANATÓMICAS Y MORFOLÓGICAS

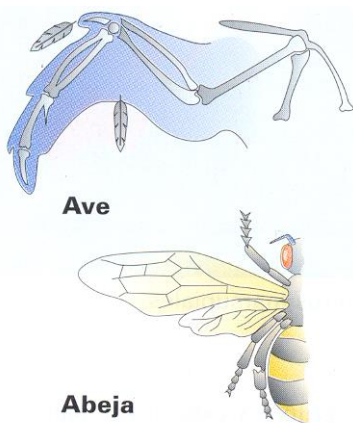
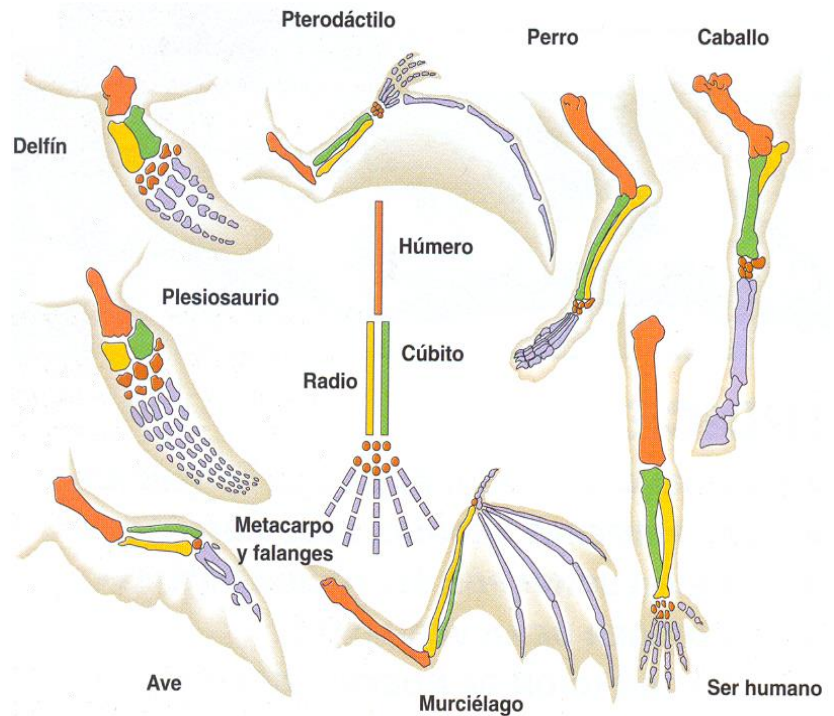
Se basan en la Anatomía comparada. Esta rama de la ciencia nos permite deducir cambios evolutivos y relaciones de parentesco entre especies al comparar el mismo órgano en distintas especies. Las similitudes observadas pueden ser de dos tipos, las analogías y las homología anatómicas.

#### a) Homologías

Los órganos homólogos tienen el mismo origen embrionario y por tanto la misma estructura interna. Sin embargo su función y forma pueden ser muy diferentes, debido a la adaptación a medios distintos.

Son el resultado de una *evolución divergente* a partir de un ancestro común e indican relación de parentesco entre las especies estudiadas.

Un ejemplo es la extremidad de los tetrápodos. El ala de un ave, la aleta de una ballena, la pata de un caballo y el brazo de un hombre, a pesar de tener funciones distintas como volar, nadar, correr, o agarrar, comparten un mismo patrón estructural: todas estos miembros están formados por los mismos tipos de huesos.



#### b) Analogías

Los órganos análogos tienen diferente origen embrionario y distinta estructura interna. Se parecen en cambio en su forma externa y su función ya que responden a la adaptación a un ambiente similar.

Son el resultado de una *evolución convergente* a partir de ancestros diferentes. No indican relación de parentesco.

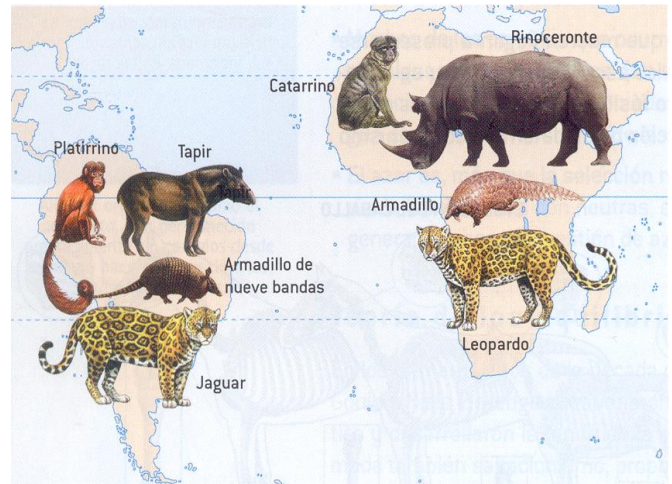
Un ejemplo de órgano análogo es el ala. Organismos tan distintos como un ave y un insecto vuelan. Pero el origen del ala en cada uno es distinto: en los insectos es una membrana sostenida por venas quitinosas y en las aves son las plumas junto con la estructura ósea.

Existe un tercer tipo de órgano, los **órganos vestigiales** o **rudimentarios**. Son órganos que no tienen utilidad o función en la actualidad, aunque sí la tuvieron en el pasado. Tal es el caso de la ballena, que presenta huesos homólogos a los huesos de la cadera de otros vertebrados. En el ser humano son órganos rudimentarios el apéndice (vestigio de un órgano presente en herbívoros que se ocupa de almacenar celulosa para digerirla con bacterias y evidencia de que nuestros antepasados eran herbívoros), las "muelas del juicio" y la "piel de gallina".

### 3.3. PRUEBAS BIOGEOGRÁFICAS

El estudio de la distribución geográfica de las especies también aporta datos sobre su evolución.

- Continentes que estuvieron unidos en el pasado (ej: Sudamérica y África) poseen un registro fósil similar. En la actualidad poseen especies diferentes aunque parecidas entre sí, lo cual es señal de la existencia de ancestros comunes. El aislamiento provoca una evolución diferente en cada grupo.
- Los archipiélagos oceánicos aislados poseen fauna y flora muy diferente de las continentales. Los pocos organismos colonizadores de estas islas quedan aislados y tienen a su disposición gran cantidad de nichos ecológicos y ningún depredador, lo cual favorece su diversificación. El aislamiento también explica la ausencia de grupos completos de organismos (ej: En Hawaii no hay anfibios, ya que no lograron colonizarlo)



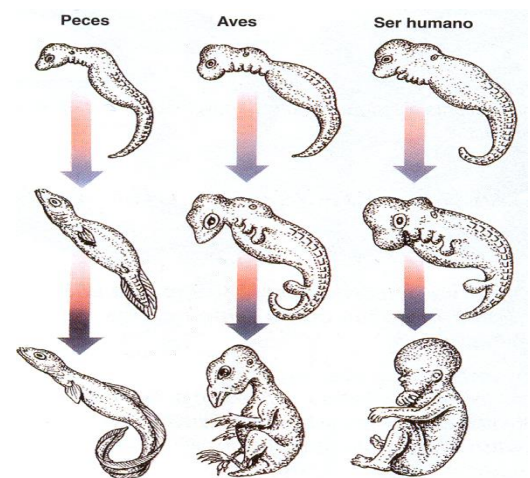
### 3.4. PRUEBAS EMBRIOLÓGICAS

Se basan en el estudio comparado del desarrollo embrionario de los animales (ontogenia). Durante dicho desarrollo, aparecen en los embriones características primitivas que después desaparecen. Es decir, parece repetirse la historia evolutiva del organismo (filogenia).

Por ejemplo, en los embriones de todos los vertebrados aparecen hendiduras branquiales que persisten en los peces y anfibios, pero que desaparecen en los demás grupos conforme avanza el desarrollo. Esto llevó a Ernest Haeckel, en 1866, a enunciar la ley biogenética "*la ontogenia recapitula la filogenia*".

Sabemos hoy día que esto es falso, sin embargo si es más fácil reconocer homologías en los embriones que entre organismos adultos. La presencia de estructuras similares apunta a un ancestro común.

Los embriones de especies diferentes se parecen entre sí tanto más cuanto más temprana es la fase del desarrollo estudiada. Conforme el desarrollo avanza se van observando diferencias entre ellos. Estas diferencias son más evidentes entre especies más alejadas evolutivamente.



### 3.5. PRUEBAS BIOQUÍMICAS

La Biología molecular aporta los argumentos más convincentes a favor de la evolución biológica. La existencia de los mismos compuestos químicos en todos los seres vivos (ej: un código de cuatro nucleótidos y veinte aminoácidos en todos) nos indica su origen común.

La secuenciación del ADN y las proteínas de distintas especies y su posterior comparación permite establecer relaciones de parentesco entre especies. Cuanto más parecidas sean dos cadenas de nucleótidos o aminoácidos mayor será la cercanía evolutiva de las dos especies estudiadas.

Por ejemplo, la hemoglobina humana y la del chimpancé tienen idéntica secuencia, y la del gorila se diferencia en cuatro aminoácidos. Esto quiere decir que el parentesco entre el ser humano y el chimpancé es mayor que el de ambos con el gorila.

## 4. FORMACIÓN DE NUEVAS ESPECIES

Se puede definir **especie** desde distintas perspectivas:

- Desde un punto de vista *biológico*, una especie es un “grupo de poblaciones naturales cuyos miembros pueden cruzarse entre sí y producir descendencia fértil”.

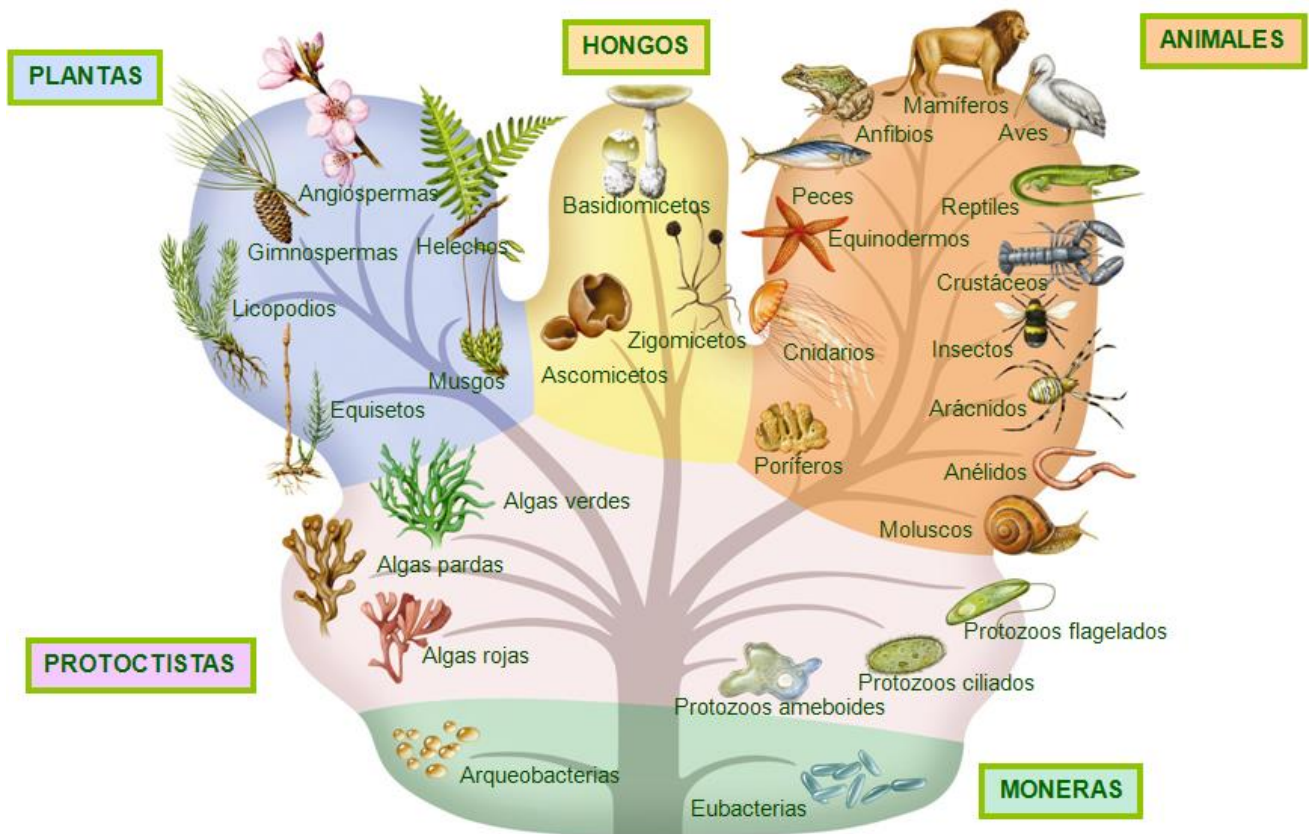
Cualquiera que sea el parecido entre un grupo de individuos, si los apareamientos entre ellos no producen descendientes o sólo producen descendientes estériles podemos afirmar que pertenecen a especies diferentes.

- Desde una perspectiva *evolutiva*, una especie es un “grupo homogéneo de organismos que conviven en un tiempo y espacio dados, pero que sufren transformaciones con el paso del tiempo”.

Como consecuencia de estos cambios, las especies sufren modificaciones y pueden transformarse en otras especies.

Se conoce como **especiación** al proceso mediante el cuál se forman nuevas especies a partir de otras preexistentes.

El proceso de especiación, a lo largo de los últimos 3.800 millones de años, ha dado origen a una enorme diversidad de organismos, millones de especies de todos los reinos, que han poblado y pueblan la Tierra casi desde el momento en que se formaron los primeros mares.



Una población de una determinada especie puede dar lugar a otra u otras poblaciones por la aparición de una barrera que impide que sus miembros se reproduzcan entre sí. Tras el aislamiento reproductivo, se irán acumulando otras diferencias genéticas que harán a las especies cada vez más distintas.

Según el tipo de barrera, la especiación puede darse según dos modelos: alopátrido y simpátrido.



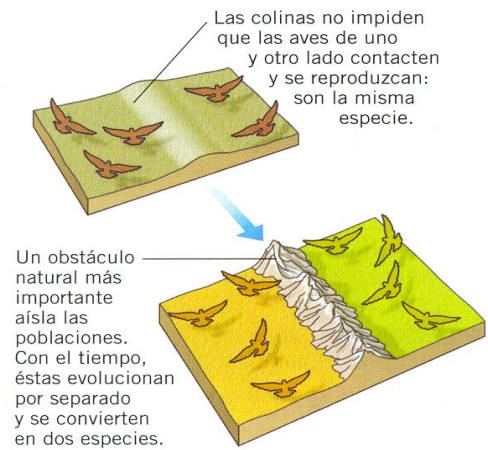
**a) Especiación alopátrida (o geográfica).**

Se produce por aislamiento geográfico.

Como resultado de la existencia de barreras geográficas se produce la separación espacial de dos poblaciones de una especie durante un largo periodo de tiempo.

Esto da lugar a la aparición de novedades evolutivas en una o en las dos poblaciones debido a que el medio ambiente en diferentes zonas geográficas, también es diferente y a que no hay intercambio genético entre poblaciones.

Si la separación continúa durante algún tiempo, aparecerán mecanismos de aislamiento reproductivo que pueden provocar que las dos poblaciones evolucionen hasta convertirse en especies diferentes.



**Especiación alopátrida (por aislamiento geográfico).**

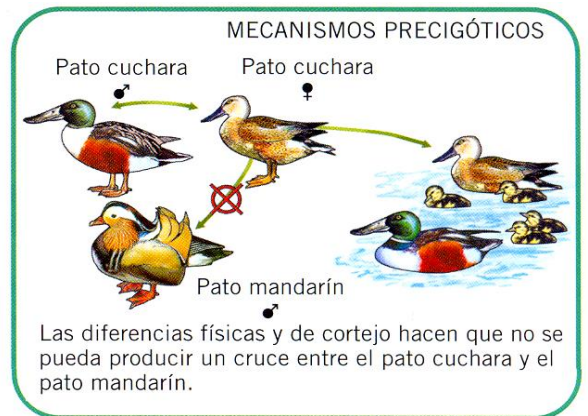
**b) Especiación simpátrida.**

Se produce cuando aparecen barreras biológicas que impiden el apareamiento entre distintas poblaciones de una misma especie, que ocupan un mismo territorio. Tienen el mismo efecto que las barreras geográficas.

Los **mecanismos de aislamiento reproductivo** se pueden clasificar en dos grupos:

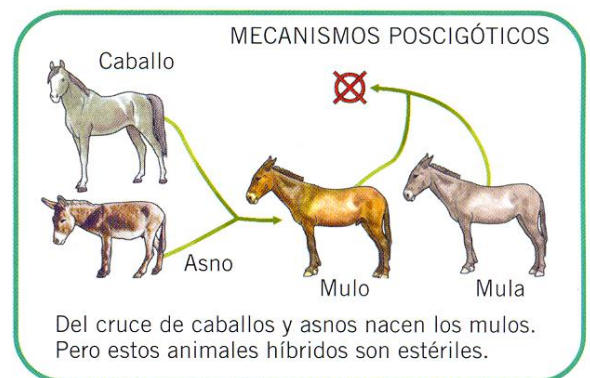
- **Precigóticos:** son aquellos que impiden la fecundación del óvulo, y que pueden ser:

- **Aislamiento ecológico.** Dentro del mismo ecosistema hay hábitats diferentes (temperatura, humedad, etc)
- **Aislamiento estacional.** La madurez sexual se da en diferentes estaciones u horas del día.
- **Aislamiento conductual o etológico.** Diferencias durante el cortejo y el apareamiento como señales de atracción o apaciguamiento que si fallan provocan la huida o el ataque.
- **Aislamiento anatómico.** La cópula es a veces imposible entre individuos de diferentes especies, ya sea por el tamaño o estructura incompatible de los órganos reproductores.
- **Aislamiento gamético.** Los gametos son incompatibles.
- **Aislamiento genético:** Aparición de cambios cromosómicos que producen esterilidad o falta de viabilidad de los híbridos.



- **Postcigóticos:** Se dan tras la fecundación. Impiden que el individuo pueda dejar descendencia, pese a haberse apareado. Estos mecanismos pueden provocar:

- **Inviabilidad del embrión híbrido** (Ej: los embriones de borrego y vaca mueren)
- **Esterilidad del adulto híbrido** (Ej: El mulo, híbrido entre asno y caballo, aunque viable es estéril)

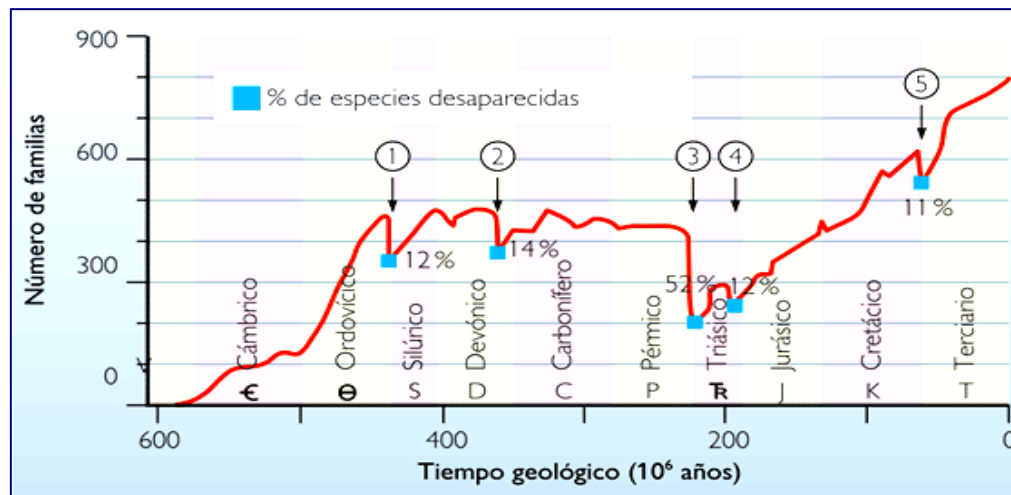


## 5. EXTINCIONES

Al menos el 99.9 % de todas las especies que han existido a lo largo de la historia de la Tierra están hoy extintas. La extinción de las especies es un fenómeno normal, al igual que su aparición. La vida media de una especie se calcula en aproximadamente un millón de años. Diversas causas pueden conducir a la desaparición de una especie:

- Acumulación de características neutras que transforman a la especie en otra al cabo de cierto tiempo.
- Desadaptación al ambiente (debido a cambios climáticos que alteran las condiciones ambientales o el entorno, extinción de otras especies que sirven de alimento, etc.)
- Excesiva especialización (la hace poco adaptable a cambios aunque sean mínimos) y escasa distribución (la hace más vulnerable).

Este tipo de extinción es constante y se denomina **extinción de fondo**. Sin embargo hay otro tipo denominada **extinción masiva**, que se caracteriza por afectar a un enorme número de especies en periodos de tiempo muy cortos. Están asociadas a grandes catástrofes naturales (impactos de meteoritos, épocas de intensa actividad geológica, cambios climáticos, etc). A lo largo de la historia de la Tierra hay pruebas de cinco grandes extinciones:



- **Primera extinción.** Hace 435 millones de años (paleozoico-era primaria). Una larga glaciación casi acaba con la vida marina, algunos peces sobreviven y los invertebrados pagan un duro tributo.
- **Segunda extinción.** Hace 367 millones de años (devónico). Desaparecen un gran número de especies de peces y el 70 % de los invertebrados marinos.
- **Tercera extinción.** Hace 245 millones de años (en la frontera de la era primaria y secundaria). Es la más dramática de todas ya que perecieron el 90 % de todas las especies. Desaparecen los trilobites.
- **Cuarta extinción.** Hace 210 millones de años (triásico). Desaparecen el 75 % de los invertebrados marinos. Y se extinguen los reptiles mamíferoides, dando paso a los dinosaurios.
- **Quinta extinción.** Hace 65 millones de años (cretácico). Desaparecen entre otros, los dinosaurios y los ammonites. Comienza la era de los mamíferos y las aves.

En la actualidad, muchos científicos advierten sobre la inminencia de la **sexta extinción masiva**. A diferencia de las anteriores, es un fenómeno causado por los seres humanos. Existe una destrucción sistemática y constante de las especies en el mundo moderno a causa de actividades como la alteración y degradación de los ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos naturales, la superpoblación humana, el cambio climático, etc. De seguir al ritmo actual la sexta extinción será un hecho en breve.