

TEMA 4: LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

1- LAS PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

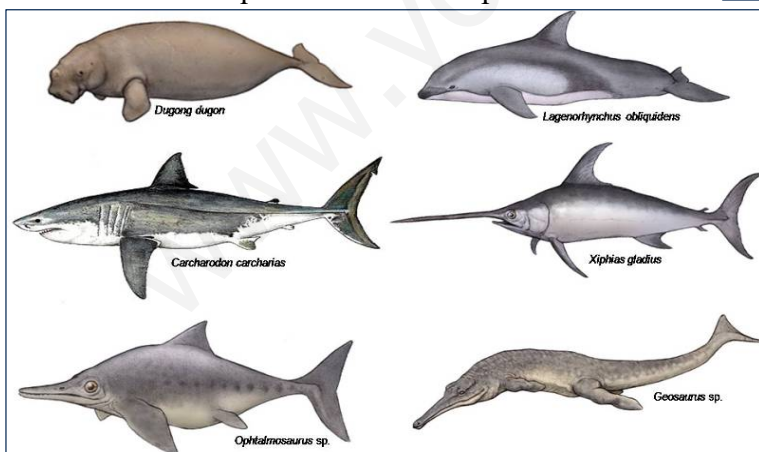
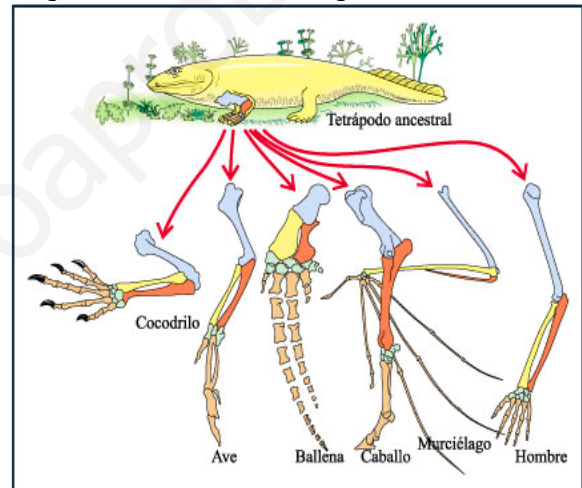
La comunidad científica considera la **evolución biológica** o proceso de transformación de los seres vivos a lo largo del tiempo, como un **hecho** comprobado, del cual hay que investigar y conocer sus mecanismos para poder explicar una serie de evidencias como las siguientes:

- Actualmente existe una elevada biodiversidad.
- Existen especies con semejanzas morfológicas y fisiológicas.
- Los seres vivos han ido apareciendo a lo largo de la historia geológica.
- Gracias al registro fósil, se conocen especies que no existen ahora y que tienen semejanzas con algunas especies actuales, entonces inexistentes.

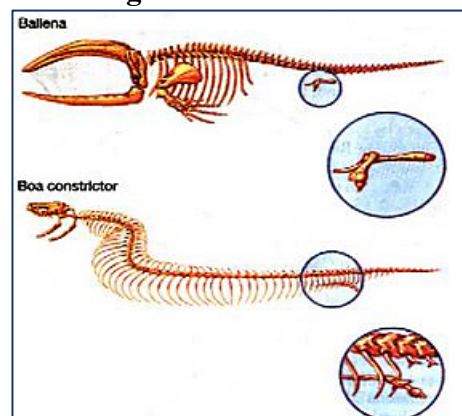
Pruebas que demuestran la existencia de la evolución biológica:

1. **Pruebas anatómicas**, consistentes en el estudio comparado de las estructuras corporales de los organismos para así establecer posibles relaciones de parentesco. Para ello nos fijamos en:

- Los **órganos homólogos**, que son aquellos que presentan la misma estructura interna (y por tanto el mismo origen) pero desempeñan distinta función. Proceden de estructuras de un ancestro común que han sido modificados al adaptarse a distintos medios en un proceso conocido como **divergencia evolutiva**. Un ejemplo de esto último serían las extremidades de tipo quiridio de los tetrápodos.



- Los **órganos análogos** en cambio tienen la misma función, pero distinto origen. Es decir, presentan una estructura interna distinta, aunque puedan tener un mismo aspecto externo como consecuencia de un proceso de **convergencia evolutiva**.



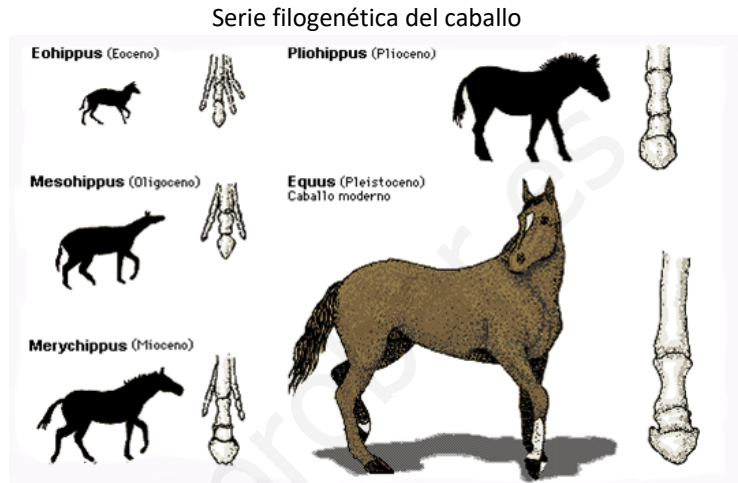
- Los **órganos vestigiales** son aquellos tuvieron una importancia relevante en las especies predecesoras desaparecidas, pero que se encuentran bastante reducidas en las especies actuales al encontrarse en desuso.

2. **Pruebas paleontológicas** basadas en el estudio de los fósiles (restos litificados de seres vivos del pasado). En el registro fósil (bastante incompleto, por cierto) destacan como fuente de información los siguientes casos:

- Las **formas intermedias** o de transición del registro fósil con características intermedias entre dos grupos.
- Las **series filogenéticas** son conjuntos de fósiles parecidos entre sí que permiten conocer la historia evolutiva de un grupo de organismos.

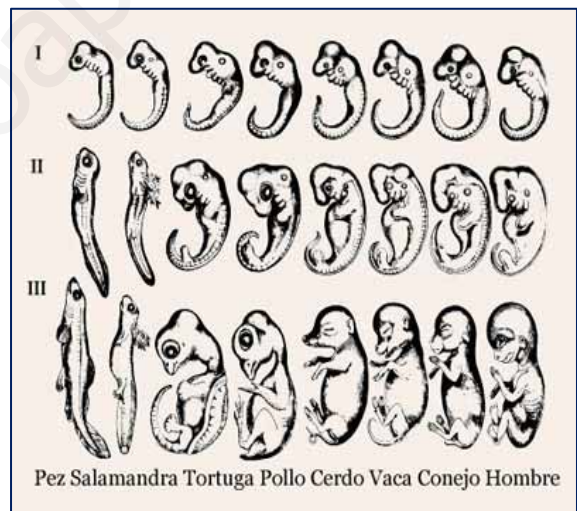


Archaeopteryx lithographica, forma intermedia entre reptiles (dientes, cola, garras en las alas) y aves (pico, alas, plumas)



3. **Pruebas embriológicas**, consistentes en el estudio comparado del desarrollo embrionario (ontogenia) de varias especies para así desentrañar su historia evolutiva (filogenia), aplicado la ley biogenética de Haeckel: *la ontogenia es una breve recapitulación de la filogenia*. Cuanto más tarde aparezcan las diferencias en el desarrollo embrionario, mayor es el parentesco evolutivo entre las especies que se consideran.

- I: todos con arcos branquiales
II: todos con cola
III: ya con notables diferencias



4. **Pruebas biogeográficas**, basadas en el estudio de la distribución geográfica de las especies (**biogeografía**). Los organismos que viven en la misma región evolucionan de forma similar pero, si alguna población queda aislada, evoluciona de forma independiente y genera organismos distintos, aunque similares. Por ejemplo, África y Suramérica tienen el mismo registro fósil hasta hace 150 millones de años, cuando se abrió el océano Atlántico entre los dos continentes. Actualmente las especies en los dos continentes son diferentes, pero presentan similitudes. Por otra parte, en las islas hay una alta presencia de endemismos (especies exclusivas de esa zona), lo que también denota una evolución independiente en cada una de ellas.
5. **Pruebas bioquímicas**: se comparan secuencias de bases de ADN o secuencias de aminoácidos de proteínas correspondientes a dos especies diferentes. Cuanto menores sean las diferencias, mayor es el parentesco evolutivo entre las especies que se comparan. Tanto el ADN como las proteínas se utilizan como **relojes moleculares**, de manera que se puede datar la presencia de ancestros comunes a dos especies y así construir los **árboles filogenéticos** que representan sus relaciones de parentesco evolutivo.

2- LAS TEORÍAS EVOLUTIVAS

El **evolucionismo** postula el cambio de unas especies en otras a lo largo del tiempo, mientras que el **fijismo**, imperante hasta el siglo XIX, defendía la inmutabilidad de las especies. Entre estas últimas teorías estarían las siguientes:

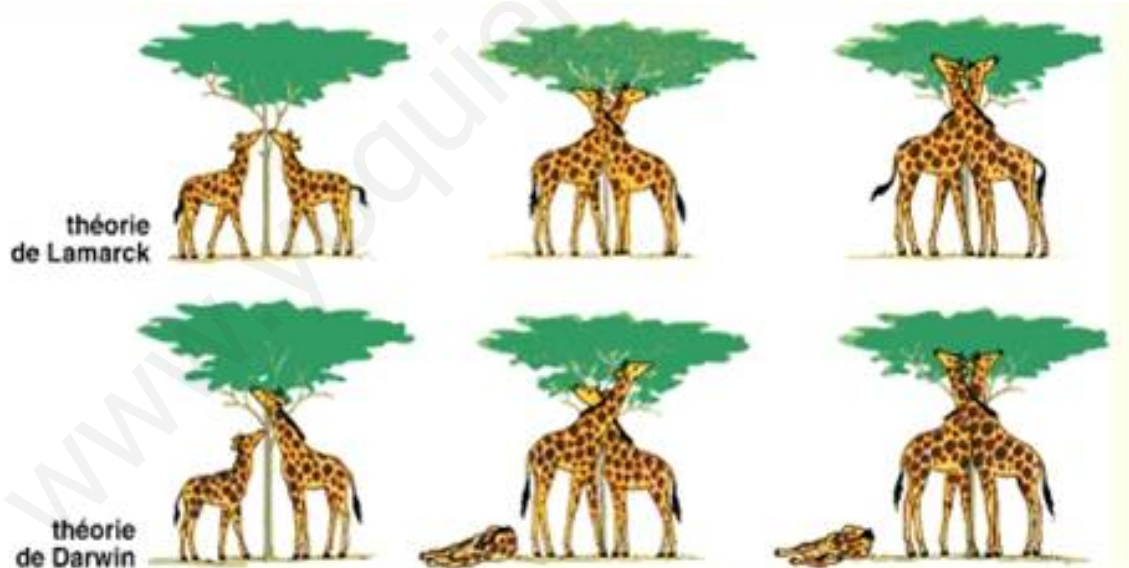
- El **creacionismo**, en que las distintas especies fueron originadas por un Creador y no han cambiado desde entonces.
- El **catastrofismo** propuesto por el paleontólogo **Georges Cuvier** a fines del siglo XVIII trataba de explicar la existencia de fósiles de especies ya inexistentes, además de la aparición de nuevos fósiles en distintos periodos geológicos. A lo largo de la historia de la Tierra se iban sucediendo creaciones y extinciones (por catástrofes naturales), manteniéndose fijas las especies entre esos acontecimientos.

2.1 EL LAMARCKISMO

El naturalista francés **Jean B. de Lamarck** fue el primer científico que propuso la transformación de las especies a lo largo del tiempo. Las ideas fundamentales del Lamarckismo son las siguientes:

- **La función crea el órgano** y su desuso produce degeneración. Por tanto los caracteres adquiridos de un organismo dependen del uso.
- **Los caracteres adquiridos se heredan** y se transmiten a la descendencia.
- Los organismos cambian a lo largo del tiempo y tienden a la **complejidad**.

Con el desarrollo posterior de la genética, la idea de la herencia de los caracteres adquiridos no se puede sostener en la actualidad.



2.2 EL DARWINISMO

El conocido científico inglés **Charles Darwin** llevaba décadas desarrollando su teoría evolutiva por selección natural, basándose en las observaciones y los datos recogidos en su viaje alrededor del mundo a bordo del *Beagle*, cuando decidió publicar el célebre libro “el origen de las especies”, en el año 1859 impulsado por el hecho de que **Alfred. R. Wallace**, investigador en el SE de Asia, llegase a las mismas conclusiones. El mecanismo que se propone en el darwinismo fue el siguiente:

- Los individuos de una población presentan **variabilidad**, es decir, no son exactamente iguales.

- Entre los organismos se establece una **lucha por la supervivencia**, dado que los recursos del medio son limitados (aporte de Thomas *Malthus*, un economista ilustrado). Esto hace que también se limite la capacidad reproductiva de los organismos.
- El medio selecciona a los individuos más adaptados (la **selección natural**), dado que presentan alguna característica ventajosa que permite su supervivencia.
- Los individuos seleccionados se reproducen más y así un mayor número de descendientes tendrá esas variaciones ventajosas. A lo largo de muchas generaciones, la especie cambia de forma **continua y gradual** (aporte del geólogo *Charles Lyell*, que postulaba también un gradualismo en los procesos geológicos).

2.3 LA TEORÍA SINTÉTICA

Durante la primera mitad del siglo XX, los nuevos conocimientos adquiridos en campos como la genética, la bioquímica, la paleontología y la ecología, forzaron a científicos como *T. Dobzhansky* y *E. Mayr* a reinterpretar el darwinismo con estos nuevos aportes. Por ello apareció la teoría sintética o neodarwinismo, resumido en los siguientes puntos:

- El origen de la variabilidad genética de la población está en la **mutación** y en la **recombinación** genética asociada a la reproducción sexual (meiosis y fecundación).
- La **selección natural** actúa sobre alelos resultantes de mutaciones positivas, por lo que su frecuencia aumenta en la población.
- La unidad evolutiva es la **población** (conjunto de individuos de la misma especie que viven en una misma área) y no el individuo. Una población evoluciona cuando cambian las frecuencias de los distintos alelos de cada uno de los genes de la especie.
- El proceso evolutivo es **gradual** al cambiar la estructura genética de las poblaciones.

2.4 EL NEUTRALISMO

El científico japonés *M. Kimura* es el autor principal de la teoría neutralista de la evolución, que limita la importancia de la selección natural:

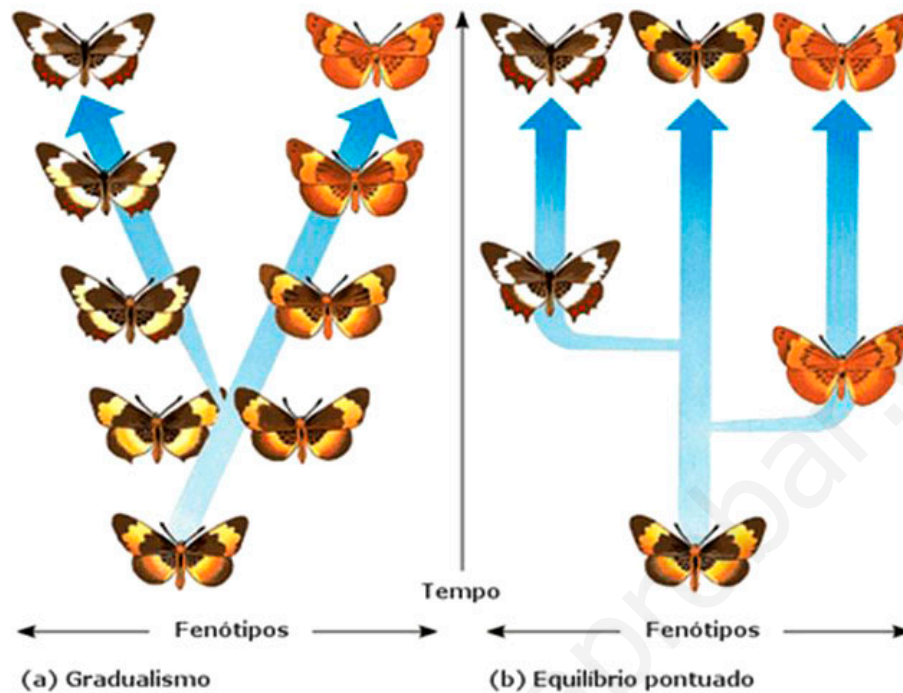
- La mayoría de las mutaciones son **neutras**, es decir, no suponen ni ventajas ni inconvenientes, por lo que la selección natural no actúa sobre ellas.
- Es el azar (la **deriva genética**) la que selecciona los alelos, especialmente en poblaciones reducidas. Esto explicaría la gran cantidad de endemismos presentes en las islas, dado que la evolución a partir de una misma especie puede ocurrir de manera muy distinta en cada caso.

2.5 EL EQUILIBRIO PUNTUADO

Los paleontólogos *N. Eldredge* y *S.J. Gould* plantearon en 1972 un mecanismo saltacionista en vez de gradualista. Consiste en lo siguiente:

- El registro fósil presenta pocas formas intermedias, es decir, existen saltos bruscos con desaparición súbita de unas especies y aparición repentina de otras. Según esta teoría, esto no se debe a que éste registro esté incompleto (como afirma el neodarwinismo), sino a que refleja lo que sucede realmente.
- A lo largo de la historia geológica se alternan largos periodos de estabilidad (**estasis**), en que las especies apenas cambian, con periodos relativamente cortos (apenas miles de años) de grandes cambios con aparición de numerosas nuevas especies (**especiación**) y extinción de las anteriores de las que derivan. Esto permitiría explicar la ausencia de especies intermedias en el registro fósil, pues los

periodos de especiación son demasiado cortos para generar una cantidad significativa de estos restos.



2.6 BIOLOGÍA EVOLUTIVA DEL DESARROLLO (*evo-devo*)

El debate en torno a los mecanismos de la evolución continúa en el siglo XXI. La tendencia marcada por la biología del desarrollo es a considerar que existe una jerarquía en los genes, por lo que la evolución se explica más por cambios en la regulación génica que en cambios en la información genética (mutaciones).

La presencia de los **genes homeóticos**, que determinan la especialización celular (activando y desactivando genes de forma diferencial) durante el proceso de desarrollo embrionario en los animales, lleva a pensar que las mutaciones en los mismos puedan provocar profundos cambios que lleven al origen de nuevos grupos taxonómicos (**macroevolución**). Estos procesos serían compatibles y simultáneos con la **microevolución** gradual y acumulativa que proponen los mecanismos neodarwinistas de mutación y selección, ya más relacionadas con los procesos de adaptación de los organismos a su ambiente y a la especiación.

3- EL MECANISMO DE LA EVOLUCIÓN

Describimos ahora el mecanismo mediante el cual evolucionan las especies según la propuesta de la teoría sintética, teniendo en cuenta que las demás teorías evolutivas proponen matices más o menos significativos dentro de este proceso general.

La **variabilidad genética** de una población se puede considerar la *materia prima* de la evolución, en el sentido de que para escoger los mejores organismos hace falta una variedad inicial. Esta variabilidad tiene un doble origen:

1. La **mutación** (alteraciones al azar de los genes) genera nuevos alelos para un determinado gen. Si además afectan a la línea germinal, estas mutaciones se transmiten a las siguientes generaciones. La mayoría de las mutaciones son **perjudiciales** y tienden a desaparecer debido a que los individuos que los portan ven reducida su supervivencia. Las escasas mutaciones **beneficiosas**, como suponen una ventaja a los individuos que los portan, aumentan su frecuencia a lo largo de las

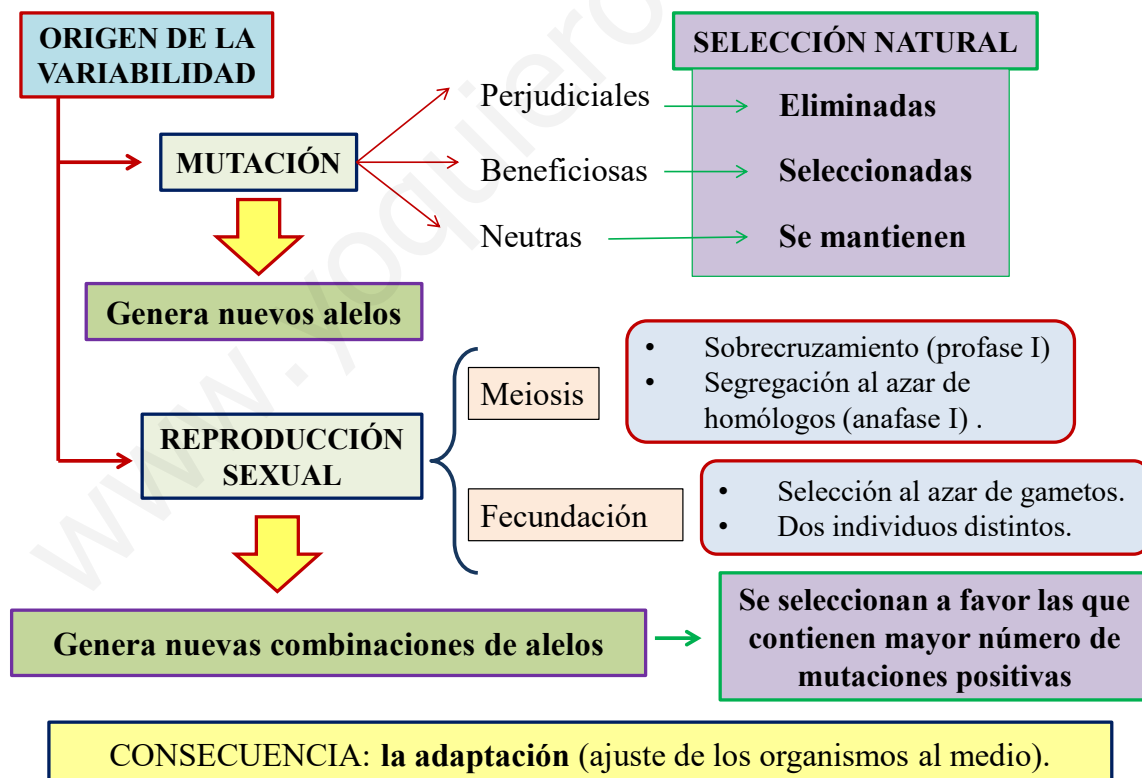
generaciones dado que son seleccionados a favor. Por último, existe una cierta cantidad de mutaciones que son **neutras**, es decir, no suponen ni una ventaja ni un inconveniente y que no son seleccionadas ni a favor ni en contra, hasta que el medio cambie y estas mutaciones pasen a ser beneficiosas o perjudiciales.

2. La **reproducción sexual**, a través de los procesos de recombinación genética que acontecen en la meiosis (sobrecruzamiento y segregación al azar de homólogos) y la fecundación (selección al azar de gametos y unión de genomas de dos individuos distintos), genera nuevas combinaciones de los alelos, de tal modo que se seleccionarán a favor las que contienen mayor número de mutaciones positivas.

El medio en que viven los organismos ejerce sobre ellos una presión de selección que dificulta su supervivencia. Si esta presión se mantiene durante un periodo más o menos largo, se produce la **selección natural**. Ésta interactúa con la variabilidad genética, escogiendo aquellos individuos que posean las combinaciones de alelos que les permita sobrevivir mejor y, por ende, reproducirse más. De esta manera, estos alelos (resultado de mutaciones positivas) van incrementando su frecuencia en la población y un mayor número de individuos presentan estas características, produciendo ese cambio gradual que llamamos evolución.

El resultado final de este proceso (después de muchas generaciones) es que los individuos de una población tienen su organismo ajustado al medio en que viven, es decir que han sufrido un proceso de **adaptación**.

EL MECANISMO DE LA EVOLUCIÓN



Mención especial merece la **selección sexual**, un tipo de selección natural consistente en el desarrollo de características morfológicas o conductuales (generalmente en los machos) no necesariamente adaptativos, pero que favorecen la reproducción de los individuos que los portan y la transmisión de estos caracteres a los descendientes. Es el caso, por ejemplo, de las cornamentas de los mamíferos o de los complejos cortejos en aves.

4- LA EVOLUCIÓN DEL GÉNERO HUMANO

El género humano (*Homo*) se encuadra dentro del orden primates, cuyas características generales son las siguientes:

- Extremidades con cinco dedos en manos y pies. Dedos prensiles y pulgar oponible que permite coger y agarrar.
- Preponderancia de la visión: mayor agudeza visual, visión estereoscópica y de los colores. Corteza cerebral grande.
- Posición erguida al desplazarse, consecuencia de un modo de vida arborícola.
- Nutrición variada: frugívoros, folívoros (que se alimentan de hojas y brotes), insectívoros y omnívoros. Tienen una dentición poco especializada.
- Maduración lenta de las crías e intenso cuidado de la prole. Esto origina una compleja conducta social.

4.1 LA HOMINIZACIÓN

El proceso evolutivo que dio origen a las distintas especies de homínidos (la familia que incluye las distintas especies de seres humanos, incluyendo la nuestra) se denomina **hominización**. En este proceso se fueron adquiriendo una serie de diferencias con el resto de grandes simios semejantes a nosotros (chimpancés, gorilas, orangutanes y gibones), entre las que destaca el bipedismo, la dieta omnívora y el gran tamaño del cerebro.

Bipedismo:

La postura erguida y la consecuente **locomoción bípeda** surge como adaptación a un hábitat de sabana, dado que comporta una serie de ventajas como:

- Ampliar el campo visual para permitir observar el horizonte en búsqueda de alimentos o posibles depredadores
- Manos liberadas para el transporte de alimentos, objetos o crías
- Reduce la cantidad de radiación solar que incide sobre el organismo.

El bipedismo comportó cambios en el esqueleto como una columna vertebral en S, el acortamiento y ensanchamiento de la pelvis, el alargamiento de las extremidades inferiores con respecto a las superiores y la presencia de un dedo gordo del pie no oponible. El canal del parto se estrecha y cambia su dirección, lo que hace que aparezcan complicaciones en el parto (en combinación con el aumento de la capacidad craneal).

La **mano**, por otra parte, presenta un pulgar oponible más largo que agarra fuertemente y con precisión, algo que permite manejar las herramientas. Esta característica, en combinación con el aumento del tamaño del cerebro, permite la aparición de la tecnología.

Dieta omnívora y aumento del tamaño del cerebro:

En un contexto de sabana, la **dieta omnívora** permite una mayor disponibilidad de alimentos y un incremento en el aporte proteico. El cambio de dieta hace que la mandíbula sea menos robusta y se reduzca el tamaño de los dientes y del aparato digestivo. El ahorro energético que supone mantener un aparato digestivo más corto permite asumir el gasto energético de un cerebro de gran tamaño. Esta sería la hipótesis más aceptada que explica el gran incremento del **grado de encefalización** (relación entre el tamaño del encéfalo y el tamaño corporal) experimentado durante la hominización y que queda reflejado en una mayor capacidad craneal.

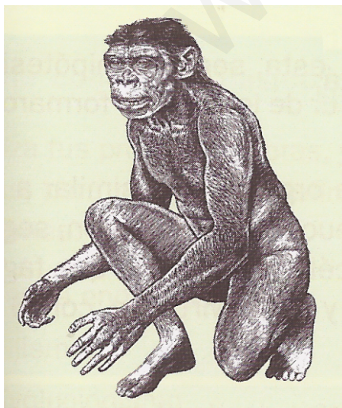
El aumento del tamaño del cerebro permite la aparición de las capacidades propias de la inteligencia, el desarrollo de las actividades sociales para obtener conjuntamente el alimento y el inicio de la evolución cultural.

Otras características:

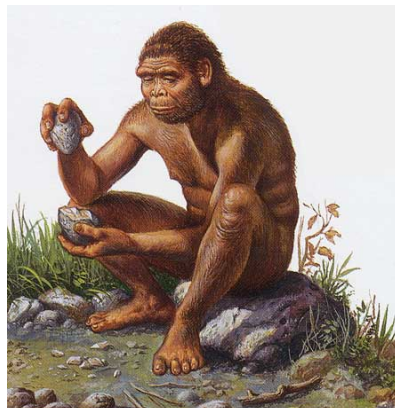
- **Pérdida relativa de pelaje** para evitar el sobrecalentamiento en el ambiente original de sabana, aunque obliga al uso de vestidos en momentos y lugares fríos.
- **Características sexuales secundarias exageradas**, dado que los seres humanos pueden reproducirse en cualquier momento del año (independientemente de que sea una época favorable o no, gracias a la tecnología)
- **Crías poco desarrolladas al nacer**, dado que el cerebro debe crecer después del nacimiento para que los bebés puedan salir por el canal del parto (se prolonga entonces la infancia).

4.2 LA EVOLUCIÓN DE LOS HOMÍNIDOS

ESPECIE	CRONOLOGÍA	ANATOMÍA	MODOS DE VIDA	LUGAR
<i>Australopithecus</i> (4 especies)	3,7 – 1 m.a.	Talla: 1,1 – 1,4 m. Capacidad craneal: 450 cm ³ Prognatismo importante.	Locomoción bípeda no erguida. Se alimentan de frutos, vegetales e insectos.	África (oriental y austral)
<i>Homo habilis</i>	2 – 1,3 m.a	Talla: 1,2 – 1,5 m. Capacidad craneal: 750 cm ³ Prognatismo importante.	Omnívoro carroñero; herramientas simples; organizan el espacio habitado.	África
<i>Homo ergaster</i> (<i>H. erectus</i> en Asia, <i>H. antecessor</i> en Europa)	1,8 m.a. – 100.000	Talla: 1,70 m. Capacidad craneal: 1000 cm ³ Prognatismo leve, complexión robusta; cráneo sin frente y con arcos superciliares.	Omnívoro cazador; talla herramientas (bifaces); dominio del fuego; pueden vivir en cuevas.	África Asia Europa
<i>Homo neandertalensis</i>	300.000 – 30.000	Talla: 1,65 m. Capacidad craneal: 1500 cm ³ Prognatismo leve, cuerpo musculoso, cráneo alargado y arcos superciliares salientes.	Omnívoro cazador; herramientas elaboradas (cuchillos, lanzas); Vestidos para el frío y ritos funerarios.	Europa Oriente próximo Asia central
<i>Homo sapiens</i>	200.000 - actualidad	Talla: 1,70 m. Capacidad craneal: 1.400 cm ³ Sin prognatismo. Cráneo más corto con frente.	Omnívoro cazador; herramientas muy sofisticadas; lenguaje simbólico y articulado; manifestaciones artísticas.	Todo el planeta



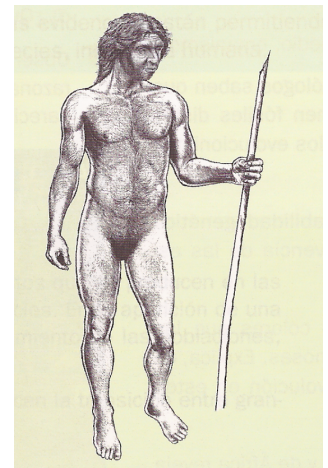
Australopithecus afarensis



Homo habilis



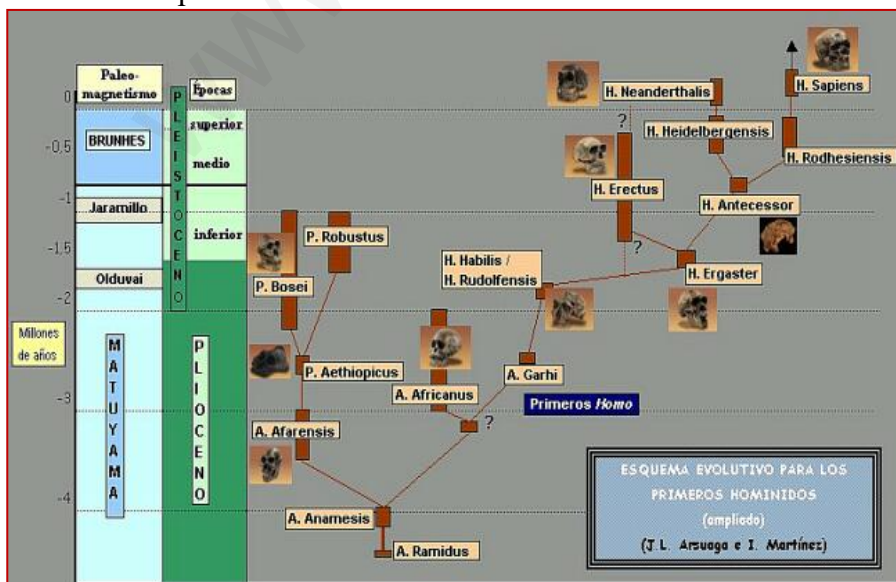
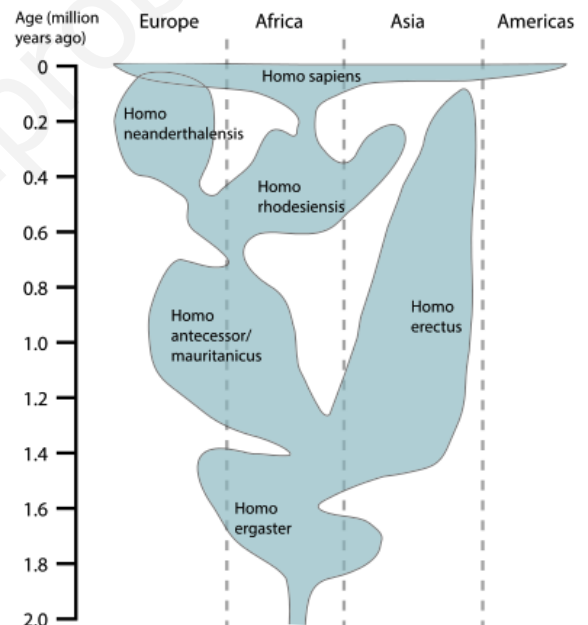
Homo antecessor



Homo neandertalensis

4.3 LOS HITOS DE LA HOMINIZACIÓN

- Hace 4 millones de años (*Ardipitecus* y *Australopitecus*) se inició la adquisición del **bipedismo** como consecuencia del cambio climático acontecido en África oriental y el paso de un bioma de selva a uno de sabana. La razón de este cambio climático es la apertura del valle del Rift africano (lo que se ha denominado *The east side story*).
- A partir de hace 3 millones de años, este cambio climático se agudiza y se cambia de un bioma de sabana a otro de estepa. Esto separó los australopitecinos en dos linajes:
 - *Parantropus*: dieta basada en vegetales duros y abrasivos. Actualmente extinto.
 - *Homo*: dieta omnívora, al incluir el consumo de carne (lo que permite un mayor aporte de proteína). Primero fueron carroñeros y después cazadores. Aparecen las **primeras herramientas** (*Homo habilis*), lo que permite la caza y el descuartizamiento de la carne.
- El cambio de dieta propició un **aumento de la capacidad craneal** (y, por tanto, del cerebro). Un mayor tamaño del cerebro permite el desarrollo de la tecnología, en conjunción con unas manos libres.
- Varias **salidas de África**:
 - Hace 1,8 M.A.: *Homo ergaster* hacia Asia (*H. erectus*)
 - Entre 2 y 1 M.A: *Homo antecessor* hacia Europa (*H. heidelbergensis*).
 - Hace 100.000 años: *Homo sapiens* hacia todos los continentes.
- Hace aproximadamente 400.000 años, se produce el **control del fuego** (*Homo erectus*), primero a partir de incendios naturales y después generándola. Esto permite ampliar la dieta y habitar nuevos territorios.
- De hace 300.000 años (*Homo heidelbergensis*) son los **primeros enterramientos**, lo que denota la aparición de la autoconciencia y el pensamiento sobre la muerte.



- Hace unos 35.000 años se produce la **aparición del simbolismo** y del arte. El lenguaje se hace articulado (al bajar la posición de la laringe) y también simbólico. Las manifestaciones artísticas indican la existencia de sociedades complejas y organizadas. Posteriormente aparecerán la escritura, la domesticación de animales y plantas, y la sedentarización (primeras ciudades).