



TEMA 7. LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN.

7.1. Introducción. 7.2. Teorías preevolucionistas. 7.3. Teorías evolucionistas anteriores a Darwin. 7.4. La evolución según Darwin y Wallace. 7.5. El neodarwinismo o la teoría sintética. 7.6. Aislamiento y especiación. 7.7. Nuevas ideas acerca de la evolución: la teoría Neutralista de Kimura y la teoría del Equilibrio Puntuado de Jay Gould. 7.8. Las pruebas de la evolución. 7.9. Las relaciones filogenéticas. 7.10. El fenómeno de la adaptación. 7.11. La evolución regresiva.

7.1. INTRODUCCIÓN.

La evolución biológica es el proceso de transformación de unas especies en otras mediante una serie de variaciones que se han ido sucediendo a lo largo de millones de años. Se pueden distinguir dos grados de evolución. La microevolución explica la aparición de nuevas especies. La macroevolución es el proceso de aparición de los diferentes órdenes, clases, incluso phila.

Básicamente hay dos grupos de teorías sobre el origen de las especies: las **teorías fijistas** y las **teorías evolucionistas**. Aunque desde la antigüedad muchos filósofos y pensadores han abordado el tema y han expuesto sus ideas, destacaremos entre las primeras el *catastrofismo* y entre las últimas, distinguimos el *lamarckismo*, el *darwinismo*, la *teoría sintética*, la *teoría neutralista* y la *teoría del equilibrio puntuado*.

Al proceso de formación de nuevas especies se le denomina especiación y será tratado en el apartado 7.6. Hemos de recordar que hay clasificadas unas 2 millones de especies de seres vivos y si añadimos las especies fósiles y las que todavía quedan por descubrir, se calcula que en total pueden ser más de 20 millones. Esta enorme **biodiversidad** nos muestra que la evolución no ha perdido el tiempo en estos 3.800 millones de años que lleva “trabajando”.

7.2. TEORÍAS PREEVOLUCIONISTAS.

El concepto de **especie** que perduró hasta bien entrado el siglo XVIII, consideraba que estos grupos, las especies, eran independientes unas de otras e invariables desde “la creación”. Entre los científicos que sostenían esta postura fijista destaca el naturalista sueco **Linneo** que fue el creador de la **nomenclatura binomial** o **nomenclatura científica** que asigna dos nombres en latín a cada especie. Georges Cuvier (s. XIX) fue otra de las figuras más relevantes del **fijismo**. Cuvier consideraba las especies como conjuntos de individuos que descienden unos de otros y que se parecen entre sí y a sus padres. Fue uno de los creadores de la **teoría de las creaciones sucesivas** o **teoría catastrofista**. Según esta teoría, periódicamente una catástrofe mundial destruía las especies existentes, y a continuación se producía una creación de nuevas especies. Para Cuvier, el último cataclismo fue el “diluvio universal” que aparece en la Biblia (recuerda la historia de Noé y su arca). Tanto las creaciones como las destrucciones eran obra de Dios. Hay que pensar hasta qué punto las ideas religiosas han influido en la sociedad que muchos científicos estaban influidos por ellas: Cuvier tiene que admitir la existencia de diluvios y creaciones sucesivas para poder explicar lo que ve al estudiar los estratos de rocas sedimentarias. En ellos aparecen restos de organismos (fósiles) que son diferentes según estén en los estratos superiores o en los inferiores. Además hay muchos fósiles de organismos que hoy día no existen (trilobites, ammonites, dinosaurios...). Como buen científico trata de encontrar una razón, pero debido a sus prejuicios religiosos la única explicación que encuentra es que periódicamente se producen catástrofes (enfados de Dios) y nuevas creaciones (cuando se le pasa el enfado). (Curioso: hoy en día se sigue diciendo que los dinosaurios son seres antediluvianos, es decir, seres anteriores al diluvio universal).

Busca información sobre la “teoría del diseño inteligente”

7.3. TEORÍAS EVOLUCIONISTAS ANTERIORES A DARWIN.

[En el siglo XVIII, el francés Buffon habló de “transformismo” tras conocer la flora y fauna americana y apreciar semejanzas con la europea, comentando que podrían proceder, ambas, de antepasados comunes que, al vivir en lugares diferentes, “habrían sufrido los efectos del clima y, al cabo de un periodo de tiempo, se habrían transformado...”].

El francés Jean-Baptiste de Monet, caballero de **Lamarck**, filósofo y naturalista, presentó en el año 1.809 una de las primeras teorías evolucionistas, según la cual, las especies cambian con el tiempo. Esta teoría se basaba en los siguientes puntos:

- El medio ambiente es cambiante.
- Los seres vivos se adaptan a estos cambios.
- Para ello, los seres vivos utilizan más unos órganos que otros (uso y desuso).
- Los órganos más utilizados se desarrollan y se robustecen, los que no se usan se atrofian.
- Los caracteres adquiridos o perdidos por los seres vivos a lo largo de su vida son transmitidos a sus descendientes (herencia de los caracteres adquiridos).

Esto quiere decir que si un individuo desarrolla un órgano, aunque sea un poco, a lo largo de su vida, sus hijos heredarán esa característica y éstos a su vez, si se esfuerzan lo desarrollarán aun más y a su vez lo heredará su descendencia. El resultado será la adaptación al medio por el cambio gradual a lo largo de generaciones. Por el mismo motivo, el poco uso de un órgano lo va atrofiando y con el paso de las generaciones esta atrofia llevará a la inutilidad e incluso desaparición de dicho órgano.

Según esta hipótesis, el largo cuello de las jirafas es el resultado del continuo esfuerzo por alcanzar las hojas más altas de los árboles. Esto provocaría en los individuos un crecimiento del cuello de algunos milímetros (el uso del cuello provoca su desarrollo), y este carácter sería adquirido por sus descendientes. Tras muchas generaciones, el cuello se fue haciendo cada vez más largo hasta llegar a la actual jirafa. Por el motivo opuesto, un órgano que no se usa se atrofia. Un ejemplo, según Lamarck sería el de los ojos de los topos, prácticamente inservibles para la visión (“han perdido sus ojos de no usarlos”). Ver otro ejemplo en las diapositivas.

En la actualidad, el lamarckismo está desechado, ya que no se entiende cómo un carácter adquirido puede heredarse; es decir, cómo una cualidad conseguida por un individuo a lo largo de su vida puede provocar una alteración en la secuencia de bases del ADN en los gametos que pasarán a la generación siguiente. [→ Lysenko].

7.4. LA EVOLUCIÓN SEGÚN DARWIN Y WALLACE.

Cuando tenía veintidós años, el inglés Charles Darwin formó parte como naturalista de la expedición científica a bordo del barco de investigación “Beagle”. Esta expedición dio la vuelta al mundo en cinco años (1831-1836), tiempo durante el cual Darwin tuvo ocasión de estudiar y recoger numerosos datos, a partir de los cuales, dedujo una nueva teoría de la evolución. Publicó esta teoría muchos años después, estimulado por la competencia de Alfred Russell **Wallace**, que había llegado a las mismas conclusiones que él. (Por este motivo, se habla de la teoría de la evolución de Darwin – Wallace).

En su obra “**El origen de las especies**” (1.859), Darwin explica que el proceso evolutivo se basa en dos factores: **la variabilidad de la descendencia y la selección natural que produce la lucha por la existencia**. Incluso los descendientes de una misma pareja son distintos entre sí y, ante un ambiente hostil, se plantea entre todos los individuos de una misma población una lucha por la supervivencia, en la cual son eliminados los menos aptos y persisten los mejor adaptados en un ambiente dado (es la llamada selección natural). Éstos últimos son los que se reproducen más y transmiten sus caracteres a más descendientes. El ejemplo de la jirafa (propuesto por Lamarck) se



explica, según esta nueva visión, diciendo que sólo sobrevivirían y se reproducirían aquellos individuos que por alguna causa nacían con el cuello un poco más largo, en un ambiente en el que la competencia por los alimentos vegetales fuera tal que se acabara con la vegetación próxima al suelo. Darwin murió sin conocer las causas de la variabilidad en la descendencia. Hoy se sabe que esas causas son la **mutación**, la **recombinación genética** y la **reproducción sexual**.

Se cree que el estudio de la fauna de las islas Galápagos, archipiélago volcánico situado en el océano Pacífico frente a las costas de Ecuador, fue la clave de las teorías evolucionistas de Darwin. Para demostrar el hecho de la evolución, Darwin aporta, entre otras, **pruebas biogeográficas**. Se basan en la distribución geográfica de las especies. Cuanto más alejadas o aisladas están dos zonas, más diferencias presentan su flora y su fauna. Como caso concreto, este naturalista se fijó en que los pinzones de las islas Galápagos proceden de una única especie que colonizó este archipiélago (en muchos aspectos son muy parecidos), y sus descendientes quedaron aislados en las diferentes islas. En primer lugar se diversificaron en arbóreos y terrestres; luego se diversificaron según su forma de alimentación. Cada zona aislada tiene, pues, especies propias, y este hecho se puede explicar si se piensa en un proceso de evolución a lo largo del tiempo.

Pero la mayor parte de los ejemplos propuestos por Darwin se basan en la observación de la **selección artificial**, llevada a cabo por los humanos desde el neolítico con el fin de obtener razas y variedades de animales y vegetales útiles a sus fines: se pueden encontrar miles de estos ejemplos y es fácil entender cómo se llevan a cabo estos procesos.... ¿Cómo “fabricarías” un cerdo a partir de un jabalí? ¿Y un perro de raza doberman a partir de un lobo?

[Las críticas al darwinismo que hicieron otros evolucionistas pueden considerarse englobadas en dos tipos de teorías: **las finalistas** y **las saltacionistas**. Las finalistas, como la de Theilard de Chardin, en los años cincuenta del siglo XX, son más bien teorías filosóficas. Admiten la evolución pero ven que ésta se mueve hacia un fin determinado: la aparición de seres cada vez más complejos hasta llegar al hombre (el hombre como ser supremo de la creación y por supuesto, la evolución funcionando siguiendo los planes de un dios creador). El filósofo antes mencionado era sacerdote Jesuita y ésta ha sido la única vez que la iglesia Católica ha tratado de hacer compatible la teoría de la evolución con sus propias doctrinas (actualmente, la iglesia evita a toda costa entrar en estos temas que, naturalmente, crearían polémica). Las teorías saltacionistas, por su parte, no admiten el carácter siempre gradual de la evolución sino que suponen la existencia de “saltos” provocados por grandes mutaciones que llevarían directamente a la aparición de especies nuevas].

[Si Wallace ha quedado relegado por la historia ha sido debido a dos hechos; el primero es el de no haber publicado su teoría antes que Darwin y el segundo, que estaba totalmente de acuerdo con las causas propuestas por Darwin para explicar la evolución de todas las especies menos de una: la especie humana. La mente humana le parecía tan perfecta y compleja que sólo había podido ser creada directamente por Dios y no por selección natural].

7.5. EL NEODARWINISMO O LA TEORÍA SINTÉTICA.

Entre los años treinta y cuarenta del siglo XX fue elaborada la llamada **teoría sintética** o **neodarwinista**. Esta teoría se basa en la variabilidad de los individuos de una especie y en la selección natural, aspectos proporcionados por la teoría darwinista, pero matizados con los conocimientos aportados por la genética (de poblaciones, molecular...), la bioquímica y nuevos descubrimientos de fósiles. Entre los nuevos descubrimientos, destacan por su importancia la **recombinación genética** y la **mutación**.

La teoría sintética de la evolución admite el proceso evolutivo basado en dos hechos:

- Existencia de una **variabilidad genética**, es decir, la presencia de una amplia gama de genotipos diferentes obtenidos al azar a partir del fondo genético común de una población. Esta variabilidad se obtiene en los individuos con reproducción asexual mediante las **mutaciones** y en los individuos con reproducción sexual mediante las **mutaciones** y, en mayor grado, mediante la **recombinación genética** que sucede durante la meiosis; la propia reproducción

sexual, al unir informaciones de dos individuos ya está originado una descendencia con caracteres mezclados y por lo tanto diferente a sus propios progenitores.

- Actuación de la **selección natural**, que tiende a eliminar los genes que inducen la aparición de caracteres con un valor adaptativo bajo, es decir, va a eliminar a aquellos individuos que no estén debidamente adaptados al medio, y por el contrario favorecerá a aquellos individuos que estén bien adaptados a las condiciones de ese medio. Por lo tanto, se favorecerán aquellos genes que otorguen ciertas características ventajosas a los individuos que las portan. El hecho de que estos seres mejor adaptados sobrevivan más que los otros implica que también se reproducirán más, con lo cual los genes “favorables” se mantendrán en las poblaciones. Hay que entender la selección natural como todo el conjunto de factores, bióticos y abióticos que existen en un determinado ecosistema donde vive la especie a la que nos estemos refiriendo y que, lógicamente, influyen en ella. Así, la cantidad de luz a la humedad o la temperatura, la presencia de depredadores o la misma competencia por el alimento debido a la superpoblación, todo ello puede ser determinante para la supervivencia de los individuos de una especie, de modo que aquel individuo que **desde su nacimiento** posea ciertas características que en ese medio concreto le beneficien, sobrevivirá y podrá reproducirse, produciendo una prole que a su vez y, si las condiciones de ese medio no varían, sobrevivirá igualmente.

Por lo tanto debemos entender que los individuos no se adaptan al medio en el que viven sino que nacen con unas características propias que les hacen estar mejor o peor adaptados y en función de eso, tendrán mejores posibilidades de supervivencia o peores. Las características con las que uno nace tienen que ver con la “lotería genética”.

Los humanos nos salimos desde hace tiempo de los esquemas de evolución biológica: es difícil que una cebra herede la sordera congénita de su padre: una cebra sorda de nacimiento no es probable que llegue a la edad adulta y se reproduzca. Ser sordo en la sabana africana es un grave inconveniente. Sin embargo los humanos, aun con graves defectos podemos vivir en sociedad y tener hijos.

La teoría sintética da un nuevo enfoque al concepto de especie. Antes, se consideraba que una especie estaba formada por un conjunto de individuos muy parecidos y con características fijas. Ahora se define de la siguiente manera:

La especie es un grupo de poblaciones que poseen un conjunto de genes comunes y son capaces de reproducirse entre sí, originando una descendencia fértil. Este último apartado se refiere al hecho de que ciertos organismos, muy próximos en cuanto a su información genética por tener un antepasado común muy cercano en el tiempo pueden llegar a reproducirse entre sí y dar descendencia. Pero si estos descendientes son estériles significará que hay ciertas diferencias que se pondrán de manifiesto sobretodo cuando fabriquen sus propios gametos. El caso más conocido entre los animales puede ser el que se da entre asnos y caballos, que origina híbridos como los mulos. En el mundo vegetal hay infinidad de casos de plantas híbridas fruto del cruce entre dos especies próximas pero diferentes, como por ejemplo, muchas especies de chopos o álamos. También se da el caso de seres aparentemente diferentes como el jabalí y el cerdo que cumplen la definición de especie.

7.6. AISLAMIENTO Y ESPECIACIÓN.

Se denomina especiación al mecanismo por el cual se forma una nueva especie. En la actualidad se distinguen tres formas básicas de especiación: a) **Especiación filética** o evolución en serie, que es el proceso de transformación de una especie en otra a través del tiempo (se comentará al estudiar los fósiles como indicadores de tiempo geológico en el tema 5). b) **Especiación primaria o verdadera**, que tiene lugar cuando una especie da lugar a dos o más especies. Esto puede suceder por un proceso de especiación simpátrida o por un proceso de especiación alopátrida.

Especiación simpátrida. (del griego sym: mismo, junto), Según este modelo, las nuevas especies se originan en el seno del área de distribución de una población. Habría individuos que



desde su nacimiento serían algo diferentes a sus congéneres estando adaptados a distintos nichos ecológicos (→ comentar nicho ecológico) y se irían apareando únicamente entre ellos. Esto les conduciría a divergir progresivamente, hasta no poder originar una descendencia fértil en sus cruzamientos con otros individuos de la población.

La **especiación alopátrida**. (Del griego allos: diferente, y del latín patria: hogar).

Si una población (individuos de la misma especie) se divide en dos o más poblaciones aisladas entre sí por una barrera geográfica -un gran río, una cadena montañosa, el mar, etc. habrá un momento en el que las divergencias acumuladas entre los dos grupos serán tan grandes que lleguen a ser dos especies diferentes. Piensa que las mutaciones que aparezcan en una población no tiene por qué ser las mismas que se produzcan en otra y que la selección natural también actuará de diferente manera según el lugar.

Resumiendo: la especiación simpátrida se da dentro de una misma población y la alopátrida implica el aislamiento de diferentes poblaciones de la misma especie.

7.7. NUEVAS IDEAS ACERCA DE LA EVOLUCIÓN: LA TEORÍA NEUTRALISTA DE KIMURA Y LA TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO DE JAY GOULD.

Una **mutación** es una alteración en el material genético, o lo que es lo mismo en la información. Como “fallo” que son, hay que destacar que en general las mutaciones son perjudiciales, afectando negativamente al individuo o al gameto que las porta, por lo que en muchos casos, uno u otro resultan inviables. En otros casos, las mutaciones pueden considerarse “neutras”, lo que significaría que los cambios en los genes no afectarían a la supervivencia de los individuos ni a favor ni en contra. Estos genes neutros, no obstante, producirían variabilidad que a la larga podría suponer la aparición de nuevas especies, esto es lo que postula la **teoría neutralista**. (Cada gen no está siendo continuamente puesto a prueba por la selección natural). La **teoría del equilibrio puntuado** propone que todos los cambios evolutivos no son graduales sino que en ocasiones se producen grandes mutaciones (grandes errores) que no obstante dan lugar a individuos capaces de sobrevivir y realmente diferentes de los que procedían y si éstos habitan en una pequeña población, los nuevos genes pueden mantenerse y originar en poco tiempo nuevas especies. Esta teoría se basa en el estudio de fósiles, y como la anterior, no contradice globalmente al darwinismo aunque afirma que no siempre es gradual. (El paso de un mono cuadrúmano a un mono bípedo, nuestro antepasado, no se debió a un simple error de un gen: entre uno y otro las diferencias en el esqueleto y la musculatura son enormes. Para los individuos “normales” de la población, aquel ejemplar que andaba a dos patas debió parecerles un ser deforme y hasta repugnante. Curiosamente, ese conjunto de mutaciones aparecidas al azar supuso una ventaja más que un inconveniente y nuestro mono bípedo sobrevivió y dejó descendientes, entre los cuales, algunos heredaron esa extraña característica: nosotros los humanos entre otros). Para Jay Gould, las especies pueden aparecer “casi de repente”, tal y como así parece al estudiar los fósiles y luego pueden permanecer con pequeñas variaciones a lo largo de grandes periodos de tiempo.

Uno de los grandes atractivos de la teoría de la evolución darvinista (o neodarvinista) es que explica la enorme **biodiversidad** existente en nuestro planeta (número de especies diferentes) que alcanza más de 2 millones de especies clasificadas y muchas más aún sin catalogar de una manera sencilla y elegante: la fuerza creadora no es otra que los defectos en las copias (mutaciones) y las condiciones ambientales (selección natural). También explica el hecho de por qué **absolutamente todos los seres vivos conocidos** estamos contruidos con las mismas biomoléculas y no sólo esto, sino que el código genético sea universal (es el mismo para un virus, una bacteria o un mamífero). En definitiva, todos los organismos terrestres somos parientes por poseer antepasados comunes.

7.8. LAS PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN.

A todos nos llama la atención la enorme diversidad de seres vivos que existen y además, que muchos de ellos muestren semejanzas muy notables. Desde hace unos pocos años, sabemos

también que la composición química es la misma e incluso que compartimos el mismo código genético. Tales semejanzas no pueden ser fruto de la coincidencia sino del hecho de que **todos los seres vivos estamos emparentados, es decir, tenemos antepasados comunes**. Estos hechos se pueden explicar **sólo** si se admite la evolución de los seres vivos. Estos hechos son las llamadas **pruebas de la evolución**. Se distinguen varios tipos de pruebas: taxonómicas, biogeográficas, paleontológicas, anatómicas, embriológicas, bioquímicas y serológicas.

1. **Pruebas taxonómicas.** La clasificación de los seres vivos se basa en criterios de semejanza. Cada taxón incluye seres con unas características comunes. Tenemos la enorme suerte de contar con algunos organismos vivos que son auténticos “puentes” entre los diferentes grupos taxonómicos, como los mamíferos monotremas (ornitorrinco), que poseen características intermedias entre los reptiles y los mamíferos (ponen huevos, regulan mal su temperatura corporal, poseen un hueso reptiliano en el tronco, pero a la vez tienen pelo y las crías toman leche; los peces pulmonados actuales son sin duda semejantes a los antepasados de los anfibios; los onicóforos se hallan entre los anélidos (lombrices y sanguijuelas) y los artrópodos (insectos, arañas, crustáceos, etc.); los protozoos (organismos unicelulares) se consideran animales, por ser heterótrofos, pero la euglena, si hay buenas condiciones de luz sintetiza clorofila y se hace autótrofa... un alga.
2. **Pruebas biogeográficas.** Se basan en la distribución geográfica de ciertas especies emparentadas. No puede ser casualidad que existan parientes del avestruz africano en Sudamérica (ñandú) y en Australia (emú y casuario); o el camello asiático, el dromedario africano o la llama sudamericana. [O los cocodrilos o los sirenios o los peces pulmonados...]. Darwin reconoció este hecho en las islas Galápagos (se comenta en el punto siguiente del temario).
3. **Pruebas paleontológicas.** Se basan en el estudio de los fósiles. En el registro fósil se aprecia un aumento en la diversidad (diversidad = biodiversidad = variedad de especies) a lo largo del tiempo así como, en general, un aumento de la complejidad. Las series de fósiles que han podido encontrarse indican una evolución que tiende, aparentemente mediante cambios graduales, a hacer más especializadas las diferentes estructuras conservadas. Por ejemplo, los antepasados del caballo contaban con patas cortas terminadas en cinco dedos, que posteriormente se reducen a tres y por último a uno solo, a la vez que los huesos de estos miembros se alargan. En este caso la evolución toma una dirección: la de conseguir una extremidad adaptada a la carrera. Al igual que con seres vivos actuales, también existen fósiles intermedios. Quizás el ejemplo más conocido sea el del *Archaeopteryx*, un reptil-ave (con plumas y pico de ave y a la vez dientes, garras así como una cola de tipo reptiliano); también se cuenta con un fósil de reptil-mamífero. [Curiosamente, existen fósiles de los antepasados de los caballos en América, que llegaron a extinguirse hace muchos miles de años, por lo que la especie actual no llegó a vivir allí, siendo llevada por los españoles hace 500 años].
4. **Pruebas anatómicas.** Se basan en la comparación de órganos entre diferentes especies. Los **órganos homólogos** son aquellos que tienen un mismo origen embriológico, y por ello una misma estructura interna, aunque su aspecto y función pueden ser diferentes. Se los considera prueba de que derivan de un antecesor común por un proceso de **evolución divergente**. Por ejemplo, la pata de un caballo, el brazo humano, el ala de un murciélago o la aleta de un delfín presentan el mismo diseño de huesos a pesar del aspecto externo tan diferente que poseen. Por el contrario, existen órganos que desempeñan funciones semejantes y que incluso tienen aspectos parecidos, pero cuyo parecido procede de una **evolución convergente** surgiendo como adaptación a unas mismas necesidades. Se trata de **órganos análogos**: los ojos de los insectos y los de los mamíferos son órganos de este tipo. (Otros ejemplos de órganos análogos son: las alas de los insectos y las alas de las aves; las aletas de los peces y las aletas de los cetáceos; el pulgar de los osos panda y el pulgar de los primates).

[Curiosidad: todos los vertebrados con patas tienen un número máximo de cinco dedos en sus extremidades. Por evolución, muchos descendientes hemos mantenido ese número y otros los han reducido. Sin duda procedemos de un antepasado que poseyó cinco dedos en sus patas. ¿Fue más ventajoso tener 5 que contar con 6 ó 7 ó tal vez 4? No lo sabemos, pero esto es lo que ha resultado. Hace muy pocos años se han encontrado dos especies de reptiles fósiles, uno que tenía



6 dedos y el otro 7 en cada pata. Hubo pues otros modos de hacer las cosas y, puesto que no han llegado hasta nuestros días, ¿habrá que concluir que fue más ventajoso tener 5 dedos que cualquier otra cantidad? ¿Sólo fue eso o quizás la mutación que llevó a ese número de dedos iba acompañada de otras mutaciones que fueron las que realmente ofrecieron ventajas a sus portadores? El caso es que nuestra numeración está diseñada en base 10 porque tenemos 10 dedos entre las dos manos. Si tuviéramos sólo dos, como los caballos, posiblemente habríamos inventado la numeración en código binario, como el que emplea la tecnología digital].

5. Pruebas embriológicas. Se basan en el estudio comparado del desarrollo embrionario de los animales. Los embriones, a lo largo de su desarrollo, presentan estructuras que luego pueden perderse, pero que dan pistas sobre el origen de un grupo y además, el estudio de diferentes embriones puede servir para comparar especies que, una vez nacidas no tienen el mismo aspecto. Por ejemplo, los embriones de las ballenas tienen pelo (lanugo), dientes (los adultos tienen "barbas" para filtrar el plancton) e incluso esbozos de miembros posteriores. En definitiva, los embriones de las ballenas son, en algunos estadios, típicamente de mamífero. (Organismos aparentemente tan diferentes en aspecto como estrellas de mar, erizos de mar y holoturias son estructuralmente muy parecidos, sus estructuras son homólogas, pero además, las fases larvianas, auténticos embriones, que habitan en el plancton son muy semejantes. Lo mismo puede apreciarse en el grupo de los moluscos, donde los embriones de almejas, caracoles o calamares son casi indistinguibles unos de otros).
6. Pruebas bioquímicas. Se basan en el estudio comparado de las moléculas similares en grupos de seres vivos diferentes. De entre todas las moléculas, el ADN y las proteínas son las interesantes y la comparación de las mismas se emplea para averiguar el parentesco entre especies e incluso sirve para dar la fecha concreta en la que las dos especies comparadas tenían un antepasado común. (Las actuales "pruebas de ADN" están aportando una nueva visión de la taxonomía de los seres vivos: ciertas especies de vegetales clasificadas como muy diferentes han resultado ser parientes muy próximos y viceversa).
7. [Pruebas serológicas. Se basan en el estudio comparado de las reacciones antígeno-anticuerpo en organismos distintos. Al introducir sustancias antigénicas de un ser en otro, se producirán respuestas inmunológicas cuya intensidad será diferente según el grado de parentesco de los individuos (cuanto más parientes menor reacción). Recuerda el problema de "rechazo" que se da al trasplantar un órgano a un enfermo y cómo puede reducirse si se estudia previamente la compatibilidad entre donante y receptor].

7.9. LAS RELACIONES FILOGENÉTICAS.

Se define la **filogenia** o **filogénesis** como la historia evolutiva de una especie o grupo. (*Filo*= hilo: filogenia es seguir el hilo de la evolución)

Desde sus inicios, la teoría de la evolución ha tratado de descubrir los orígenes de los grupos y de las especies, y ha basado sus investigaciones en la comparación de los individuos vivos con los restos fósiles, que son los que aportan los datos sobre el curso del **desarrollo filogenético**. Como resultado final de estos estudios comparativos se elaboran **árboles genealógicos** o **evolutivos**, en los que quedan representadas las relaciones naturales de parentesco entre grupos y especies.

A partir de ellos se pueden elaborar clasificaciones naturales de los organismos; de aquí que los conocimientos filogenéticos sean la base para los trabajos de **sistemática** o **taxonomía**.

Las relaciones filogenéticas se pueden deducir a partir de las diversas pruebas de la evolución. Así, el registro fósil, la anatomía comparada, la embriología, el estudio comparativo de las proteínas y de los ácidos nucleicos de distintos organismos vivos, etc., se utilizan para buscar las relaciones de parentesco existentes entre las especies o los grupos.

Sin embargo, el registro fósil -la principal prueba para establecer estas relaciones filogenéticas- es muy incompleto; de hecho, prácticamente no se dispone de restos fósiles pertenecientes a la filogenia de muchos grandes grupos de seres vivos, como, por ejemplo, de

aquellos que fosilizan con mayor dificultad, esto es, organismos unicelulares, animales de cuerpo blando, hongos, algas y musgos.

Los animales que han dejado los fósiles mejor conservados son los vertebrados, y los vegetales que han dejado huellas más claras de sus relaciones filogenéticas son las plantas vasculares (plantas con tejidos conductores).

Cuando faltan fósiles en una serie evolutiva se habla de **eslabones perdidos**.

Hoy día, el estudio comparado de los ADNs de distintos organismos está sirviendo para establecer el tiempo que hace que dos especies tenían un antepasado común. Para ello ha de suponerse que los ácidos nucleicos sufren una serie de cambios o mutaciones a una velocidad constante. Contando las diferencias que presentan puede establecerse el tiempo en años (por ejemplo, se cree que los chimpancés y los humanos tuvimos un antepasado común hace 8 millones de años). Este método se conoce con el nombre de reloj biológico.

7.10. EL FENÓMENO DE LA ADAPTACIÓN.

Se define **adaptación** como los cambios heredables de los caracteres que permiten la supervivencia de los individuos y de las poblaciones al adecuarlos a las condiciones ambientales. La acumulación de cambios adaptativos lleva a la **especiación**. Esto ha permitido definir la evolución como la suma de las adaptaciones.

Se observan tres procesos fundamentales en el fenómeno de la adaptación: la **radiación adaptativa**, la **convergencia evolutiva**, y la **evolución regresiva**.

- La **radiación adaptativa** es el proceso por el cual una población se expande, ocupa diversos hábitats y la selección natural favorece a aquellas estructuras adaptadas a ellos. Estas estructuras modificadas son **órganos homólogos**, puesto que han surgido como una adaptación funcional de un modelo original común. Un ejemplo lo constituyen las extremidades anteriores de muchos mamíferos, que “se han ido adaptando” (es muy difícil expresarse de forma Darwinista y casi siempre observaremos en los textos un lenguaje Lamarkista) para cumplir distintas funciones: natatorias, en los cetáceos; voladoras, en los murciélagos; andadoras, en el caballo; braquiadoras, en los primates... por un proceso de radiación adaptativa.

- La **convergencia evolutiva** es el proceso mediante el cual especies de grupos de seres vivos distintos, en respuesta a las demandas de un mismo medio, dan lugar a estructuras parecidas, con una función similar; es decir, originan órganos análogos. Por ejemplo, para conquistar el medio aéreo, tanto las aves como los insectos y los murciélagos han desarrollado alas a lo largo de la evolución. Otro ejemplo puede ser el aspecto tan parecido que presentan un delfín, un pez y un pingüino, con un cuerpo fusiforme y aletas natatorias. Para captar luz e imágenes el diseño de una esfera recubierta de células sensitivas en el interior de una parte de la misma y la presencia de un sistema de lentes móviles que permitan dirigir la luz a las células es uno de las mejores soluciones, y es increíble el grado de parecido entre el ojo de los vertebrados y el de los moluscos cefalópodos (sepias, calamares y pulpos). Se trata de otro caso de órganos análogos. Otros organismos han empleado otro diseño también eficaz para tamaños pequeños, se trata del ojo compuesto de muchos artrópodos, tales como insectos y crustáceos.

Existen tres clases básicas de adaptaciones: las estructurales, las fisiológicas y las cromáticas:

Las **adaptaciones estructurales** son adecuaciones morfológicas o una cierta forma de vida. Por ejemplo, el panda ha modificado la forma de un hueso de su muñeca (el sesamoideo radial), que ha pasado a constituir un dedo que utiliza para arrancar con gran facilidad las hojas de bambú con las que se alimenta. Este animal cuenta con cinco dedos en cada “mano” como tienen todos los osos y además cuenta con esa especie de dedo pulgar oponible que en todo caso es un órgano análogo de nuestro pulgar. Sus cinco dedos “normales” sí son homólogos de los nuestros. El ojo de los vertebrados y el de los pulpos es asombrosamente semejante, ¿es coincidencia o más bien se ha llegado a la misma solución para el mismo problema?



Las **adaptaciones cromáticas** hacen referencia a la coloración del organismo. Muchos animales poseen una coloración protectora o de ocultación que les permite pasar inadvertidos ante sus depredadores (mariposas nocturnas que tienen el color de la corteza de los árboles), o una coloración de advertencia, de colores brillantes, propia de animales venenosos que avisan así de su peligro a potenciales depredadores (las avispas, las ranas venenosas). Dentro de estas adaptaciones se incluye también el mimetismo o semejanza de un organismo con otro como, por ejemplo, el caso de animales inofensivos que imitan las tonalidades de organismos que son venenosos (en nuestros campos hay una mosca y una mariposa que se confunden con una avispa; una de nuestras serpientes inofensivas es denominada culebra viperina porque imita a la víbora). Algunos animales adquieren el color de su entorno como, por ejemplo, el camaleón, el lenguado y el pulpo.

Las **adaptaciones fisiológicas** son modificaciones del funcionamiento interno del organismo. Por ejemplo, algunos animales que viven en el desierto, desde los escorpiones a muchos rumiantes producen excrementos secos y orina muy concentrada para reducir las pérdidas de agua, tan escasa en este medio. Los osos y otros mamíferos hibernan, reduciendo su metabolismo en invierno para sobrevivir en una época de falta de alimentos. Las plantas que viven en marismas o incluso bajo el mar presentan adaptaciones para sobrevivir en un medio salino. [→ Músculo generador de calor en los túnidos (atunes, peces espada)].

Por otra parte, podemos decir que la evolución y por tanto la adaptación es una “gran chapucera” puesto que casi siempre se producen los cambios a partir de lo que ya hay: la evolución reinventa, modifica e incluso da nuevas funciones a estructuras que antes tenían otras utilidades: Se cree que las plumas de las aves no fueron “inventadas” para volar sino que eran escamas reptilianas, muy ligeras y con una clara función termorreguladora. Sólo mucho más tarde resultaron ser unos elementos fantásticos para permitir el vuelo; de hecho, las escamas y las plumas están compuestas por queratina. Nuestros huesecillos del oído medio son homólogos de ciertos huesos de la mandíbula de los reptiles, adaptados a una nueva función y por cierto, el oído no es más que una readaptación de una porción del órgano del equilibrio que ya poseían nuestros antepasados reptiles (que eran sordos como tapias). Los pulmones de los vertebrados terrestres son una mejora de dos evaginaciones del esófago de ciertos peces (peces pulmonados que compensaban la falta de oxígeno del agua de sus charcas tomándolo del aire e introduciéndolo en esas cavidades). El propio pulgar del oso panda es una especie de dedo aparte de los otros cinco ¿Por qué no se empleó uno de los cinco dedos normales para convertirlo en un pulgar oponible como el nuestro, en vez de aprovechar un hueso de la muñeca?

7.11. LA EVOLUCIÓN REGRESIVA.

La idea general que tenemos es que la vida con el tiempo ha ido complicándose: empezó con células semejantes a bacterias, continuaron los organismos unicelulares eucariotas, más tarde surgieron las algas pluricelulares y luego los animales. Los vertebrados surgieron mucho después y entre ellos, los mamíferos son “muy modernos”. De entre los mamíferos, los homínidos parecen ser un grupo de los últimos en aparecer y por supuesto nuestra especie, con unos 100.000 años es casi recién nacida.....

Desde nuestro punto de vista, antropocéntrico, nos seguimos creyendo los reyes de la “creación” y que nosotros somos los más complejos y perfectos ¿no? Es algo natural creérselo y además casi todas las culturas y religiones nos lo enseñan desde pequeños. Pero esto no es así y hay que asumirlo:

Debe quedar claro que cualquier ser vivo que actualmente habite la Tierra es tan perfecto como nosotros en cuanto a que sobrevive, desarrollándose y reproduciéndose y por lo tanto tiene el mismo éxito que nosotros, a pesar de que pueda ser más sencillo en sus estructuras. Desde este punto de vista, una bacteria, un hongo o una hormiga no tienen nada que envidiarnos.

Por otra parte, es difícil en muchos casos decidir qué significa lo de la complejidad: ¿un cangrejo es menos complejo en sus estructuras internas o en su funcionamiento que una lagartija? ¿En qué es más complejo o perfecto un humano que un chimpancé? En este último caso la

diferencia está en un cerebro más grande (las conductas derivadas de este cerebro más grande sí podemos calificarlas de mucho más complejas pero no la fisiología del cerebro) .

Pero volvamos al tema en cuestión, esto es, la evolución regresiva. En ocasiones, encontramos organismos que estructuralmente son muy simples y que por lo tanto podríamos presuponer que son primitivos. Sin embargo, un estudio detallado nos hará ver que pertenecen a grupos de organismos más complejos y que a lo largo del tiempo la evolución ha seleccionado a individuos más simples que sus antepasados. Al igual que tener unos ojos perfectos no era un aspecto importante para un topo y al cabo del tiempo la selección natural ha elegido por el contrario a individuos con el sentido del tacto desarrollado, otras especies han podido "ir perdiendo" algunos de sus órganos y estructuras, ya que esta simplificación o regresión (marcha atrás) les era ventajosa en un nuevo medio ambiente. Siempre debemos pensar como lo haría Darwin: los individuos no son idénticos desde el nacimiento y el medio ambiente selecciona a los más aptos en unas condiciones determinadas.

Veamos ejemplos: la tenia o solitaria es un gusano parásito del intestino humano. Puede alcanzar más de 5 metros de longitud y no tiene ojos ni boca ni aparato digestivo. Es muy simple pero, para empezar, hay que pensar en que es más moderno que la especie humana, puesto que antes de que ésta existiera, no habría podido sobrevivir este gusano. Sin embargo, es muy probable que sus antepasados hayan tenido esos órganos, necesarios para sobrevivir en otros medios.

Otro ejemplo muy sencillo de recordar son los virus. Como sabemos, los virus no llegan a ser células, son los organismos más simples que se conocen, sólo son un ácido nucleico envuelto en una cápsula de proteína. Todos los virus son parásitos celulares, esto es, viven a costa de otros organismos más complicados de manera obligada: ¿Cómo puede ser esto?, sin duda los virus son más modernos que los organismos a los que parasitan y por lo tanto deben proceder por evolución de aquellos. Si son tan simples es porque muy posiblemente han sufrido una evolución regresiva que "los ha simplificado".

El que las serpientes no tengan patas, los avestruces sean incapaces de volar o que nosotros mismos tengamos el apéndice vermiforme en nuestro intestino son pruebas de evolución regresiva que por otra parte demuestran que procedemos de antepasados que sí poseían ciertas características bien desarrolladas.

La pata de un caballo, con un solo dedo desarrollado y restos de otros dedos fusionados al primero es un caso de evolución regresiva: ¿eres capaz de alcanzar a un caballo corriendo detrás de él? Los antepasados de los insectos poseían decenas de pares de patas (como los ciempiés actuales) y por evolución regresiva tienen tres pares: habiendo en la actualidad un millón de especies de insectos, ¿podemos decir que esta evolución regresiva no ha supuesto un éxito? ¿La evolución siempre tiende a la complejidad?.

Resumiendo: la evolución regresiva puede entenderse como un conjunto de cambios a lo largo del tiempo que sufren ciertas especies y que las llevan a una simplificación de sus estructuras y aparatos produciéndose siempre estos procesos por los mecanismos darwinianos estudiados (no se pierden los órganos "por no usarlos" como decía Lamarck).