

TEMA 2: LA EVOLUCIÓN

1. Teorías sobre la evolución.
 - 1.1.- Teorías fijistas.
 - 1.2.- Teorías evolucionistas.
2. Pruebas de la evolución.
3. La población como unidad evolutiva.
4. Mecanismos de la evolución.
5. La especiación.
 - 5.1.- Especiación alopátrica.
 - 5.2.- Especiación simpátrica.
6. Microevolución y macroevolución.
7. Filogenia.

La evolución puede considerarse como el proceso de transformación de la materia desde el origen del Universo. Se pueden distinguir dos grandes etapas: el origen de la vida y la transformación de los primeros seres vivos en la diversidad actual.

1.- TEORÍAS SOBRE LA EVOLUCIÓN

1.1.- TEORÍAS FIJISTAS

Hasta bien entrado el siglo XVIII se concebían las especies como grupos independientes, invariables desde la Creación. Linneo y Cuvier fueron dos destacados defensores del **Fijismo**. Consideraban que cada especie procedía de un acto de creación (**Creacionismo**) y que las especies fósiles habían desaparecido en grandes cataclismos (**Catastrofismo**). Las ideas fijista, creacionista y catastrofista se hallan ligadas.

1.2.- TEORÍAS EVOLUCIONISTAS

Algunos filósofos de la Grecia Clásica (Jenófanes, Empédocles y Aristóteles) ya plantearon la posibilidad de que las especies pudieran cambiar a lo largo del tiempo. El naturalista francés Buffon (S.XVIII) destacó la influencia del ambiente sobre las modificaciones del aspecto animal. Sin embargo, la primera teoría completa de la evolución no apareció hasta el inicio del siglo XIX.

A) EL LAMARKISMO

El francés Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck, presentó en 1.809 una teoría, según la cual, las especies provenían unas de otras mediante sucesivos cambios. La teoría evolutiva de Lamarck partía de las siguientes consideraciones:

- Todos los organismos tienden instintivamente a su perfeccionamiento.
- Las alteraciones del entorno producen nuevas necesidades en los organismos, por ello, se ven obligados a utilizar determinados órganos con mayor o menor intensidad. Por un mayor uso el órgano se desarrolla, por un uso menor se atrofia ("*la función crea el órgano*").
- Las alteraciones producidas en los órganos son heredables ("*herencia de los caracteres adquiridos*").

EJEMPLO: Los antepasados de las jirafas tenían el cuello corto. Según el lamarkismo, el cuello largo de las jirafas es el resultado del continuo esfuerzo por alcanzar las hojas más altas de los árboles. Esto provocaría el estiramiento del cuello que sería transmitido a sus descendientes. Tras muchas generaciones, el cuello alcanzó el tamaño actual.

B) EL DARWINISMO

Los ingleses A.R. Wallace y Ch. Darwin elaboraron, independientemente, el concepto de **selección natural** para explicar el origen de los caracteres adaptativos. La teoría fue expuesta por Darwin en su libro "El origen de las especies" (1859) y se podría resumir en que:

- Los individuos de una misma especie presentan variaciones aleatorias de sus características. Algunas de estas características son heredables.
- Existe una sobreproducción de descendientes. Sin embargo, el número de individuos permanece constante a través de las generaciones. Por tanto, la mayor parte de los descendientes muere.
- Se produce una "*lucha por la existencia*" en la que *sobreviven los más aptos* (selección natural).
- Los más aptos transmiten a sus descendientes los caracteres heredables que han resultado más favorables.
- Tras muchas generaciones aparecen las nuevas especies.
- Es un proceso continuo, lento y gradual, siendo el individuo la unidad en la que se produce la evolución.

La selección natural consiste en que el ambiente selecciona los caracteres más favorables de los ya existentes (no de los adquiridos).

EJEMPLO: En el ejemplo de las jirafas, según el darwinismo, entre las poblaciones con cuello corto nacieron individuos con el cuello más largo. Estos tenían un mayor acceso a hojas de los árboles en tiempos de escasez, lograban sobrevivir y tenían más descendientes (con el cuello más largo). Tras muchas generaciones en las que la selección natural favoreció a los individuos con el cuello más largo se llegó a la situación actual.

C) TEORÍA NEODARWINISTA O SINTÉTICA

Tras los descubrimientos en Genética se tuvo que modificar la teoría darwiniana. La teoría sintética surgió en los años 30-40 de este siglo por Huxley, Dobzhansky, Simpson y Mayr. En resumen, proponen:

- En las especies existe una variabilidad genética que se origina por las *mutaciones* (que produce nuevos genes) y la *recombinación genética* (que genera nuevas combinaciones de genes en los organismos con reproducción sexual).
- La población es la unidad en la que se produce la evolución. Una población es el conjunto de individuos de la misma especie que viven en el mismo espacio y tiempo y que pueden reproducirse apareándose entre sí dejando descendencia fértil. Una población queda definida por el conjunto de genes que poseen los individuos que la componen.
- La selección natural actúa sobre esas variedades permitiendo un mayor éxito reproductor de aquellos cuyos genes les aporten características mejor adaptadas al medio. Por tanto, en la población aumentará el número de genes estos genes y disminuirá el número de los genes que determinen caracteres desfavorables.
- Con el tiempo, cuando las modificaciones en las frecuencias génicas de una población es muy grande, ésta puede ser considerada como un grupo aislado genéticamente de otros individuos de la misma especie. Si continúa el proceso se producirá su transformación en una nueva especie.
- Es un proceso continuo, lento y gradual.

En la actualidad, la mayor parte de los científicos admiten que es un proceso realizado al azar, sin dirección ni finalidad alguna.

D) OTRAS TEORÍAS EVOLUTIVAS

La teoría sintética de la evolución no puede considerarse como la teoría evolutiva definitiva, todavía existen discusiones y otras propuestas.

- TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO: N. Eldredge y Stephen Jay-Gould propusieron esta teoría en 1972. Se basan, principalmente, en los datos paleontológicos. Según esta teoría el proceso evolutivo no tiene carácter gradual sino que presenta largos periodos de equilibrio, en los que las especies permanecen sin grandes cambios. Estos periodos son interrumpidos de forma abrupta y puntual por procesos de extinción de numerosas especies. Al quedar muchos nichos ecológicos libres, le sigue un proceso rápido de radiación adaptativa que supone la formación de nuevos grupos. Luego seguiría otro periodo de equilibrio.
- TEORÍA NEUTRALISTA: M. Kimura considera que la mayoría de las mutaciones originan genes neutros que no son eliminados ni favorecidos por la selección natural. Si se produce el aislamiento necesario producen variaciones en los individuos que pueden originar nuevas especies.
- TEORÍA DEL GEN EGOISTA: Propuesta por Richard Dawkins en su libro "El gen egoista" y defendida también por los sociobiólogos. Para ellos la unidad básica de evolución es el gen. Los genes que predominan son los que más eficazmente se han reproducido. Según esta teoría, los individuos son una estrategia de supervivencia y reproducción de los genes.

Sus defensores se apoyan en muchos comportamientos de los seres vivos (conductas altruistas, sexuales, maternas...) como sistemas de una mejor transmisión y conservación de los genes

2- PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN

La evolución es un hecho que se apoya en las siguientes pruebas:

A) PRUEBAS BASADAS EN LA MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA COMPARADA

Se basan en la comparación de órganos entre las diferentes especies. Así, existen:

- **ÓRGANOS HOMÓLOGOS:** son aquellos que han tenido un origen embriológico común, y por ello, la misma estructura interna, pero cuya forma y función puede ser diferente. Son el resultado de una **evolución divergente** de diferentes especies a partir de un precursor común como adaptación a diferentes ambientes. Por ejemplo: la aleta pectoral del delfín, la pata del caballo, el brazo humano y el ala del murciélago.
- **ÓRGANOS ANÁLOGOS:** son los que realizando la misma función y teniendo un aspecto parecido tienen diferente origen embriológico y distinta estructura interna. Son el resultado de una **evolución convergente** que ha producido formas semejantes como adaptación a similares condiciones. Por ejemplo: el ala de los insectos y el ala de las aves.
- **ÓRGANOS VESTIGIALES:** Son órganos superfluos y residuales que, probablemente, tuvieron importancia en organismos predecesores, pero que en los actuales se encuentran reducidos o en desuso. Por ejemplo: las muelas de juicio, el apéndice vermiforme y el largo intestino humano evidencian un pasado herbívoro.

B) PRUEBAS EMBRIOLÓGICAS

Se basan en el estudio comparado del desarrollo embrionario. Se ha observado, sobre todo en vertebrados, que a lo largo del desarrollo embrionario se producen estadios con notables semejanzas morfológicas entre grupos de animales distintos, semejanzas que no se mantienen en los adultos. Ernst Haeckel propuso la **Ley de la recapitulación o Ley biogenética**: "*La ontogenia (desarrollo individual) recapitula la filogenia (desarrollo evolutivo)*". Creía Haeckel que durante el desarrollo embrionario de un individuo se pasaba por las etapas adultas de sus antecesores. Esto no es cierto, pero sí podemos afirmar que las fases embrionarias de una especie se parecen a los estadios embrionarios de sus ancestros: Por tanto, las especies con parentesco más próximo comparten un desarrollo embrionario con más estadios semejantes.

C) PRUEBAS PALEONTOLÓGICAS

El estudio de los fósiles ha permitido, en algunos casos, elaborar un registro continuo en el que pueden observarse los cambios anatómicos graduales que ha sufrido un determinado grupo a lo largo del tiempo. Este registro nos ha permitido establecer la **serie filogenética** de una especie. Es decir, podemos obtener la línea que refleja los cambios producidos a lo largo de la historia evolutiva de una especie o grupo. Por ejemplo, conocemos bastante bien la filogenia del caballo actual.

En algunos casos se han podido encontrar organismos intermedios entre grandes grupos, tal es el caso del *Archaeopteryx* auténtico "eslabón intermedio" entre Reptiles y Aves.

Por otro lado, en la actualidad existen organismos muy parecidos a fósiles antiguos. Estas especies no se han modificado en millones de años, son auténticos "fósiles vivientes". Es el caso de las auracarias, del celacanto.

D) PRUEBAS BIOGEOGRÁFICAS

Se basan en la distribución geográfica de las especies. A mayor distancia o aislamiento geográfico entre dos regiones, aparecen mayores diferencias en la flora y fauna respectivas.

Un ejemplo es el caso de los pinzones de las Islas Galápagos expuesto por Darwin. Todos los pinzones de estas islas proceden de un ancestro común que se repartió por las diferentes islas. En cada isla se diversificaron por su alimentación. Por tanto, cada zona aislada tiene especies propias. También sería el caso de Australia, donde existen plantas y animales muy distintos de los que hay en los continentes más cercanos (lo que indica una separación muy antigua). Aparecen gran variedad de mamíferos marsupiales que, en el resto de los continentes, han desaparecido o están confinados en hábitats muy determinados.

E) PRUEBAS PARASITOLÓGICAS

Los parásitos son organismos que han sufrido modificaciones en su cuerpo para poder vivir a costa de un hospedador determinado. En muchos casos estas modificaciones sólo les permiten parasitar a una única especie.

Además, especies semejantes de hospedadores comparten los mismos parásitos o parásitos muy parecidos. Es el caso del piojo humano y del chimpancé.

Es indudable que los parásitos fueron organismos que tuvieron vida libre pero que han ido adquiriendo adaptaciones para la vida parásita. También se puede observar como en los hospedadores surgen adaptaciones que les permiten defenderse del parásito o dificultar su acción. Es un caso claro de coevolución o evolución conjunta.

F) PRUEBAS SEROLÓGICAS

Se basan en la realización de análisis inmunológicos en los que se estudian las reacciones de aglutinación (debidas a la respuesta inmune frente a un antígeno) en diferentes organismos. La introducción de un antígeno en una serie de individuos pertenecientes a diferentes especies desencadena una respuesta inmunológica. Cuanto más semejante sea la respuesta, más próximas están dichas especies.

G) PRUEBAS BIOQUÍMICAS

Se basan en el estudio comparado de las moléculas de diferentes organismos. Se estudian fundamentalmente:

- La secuencia de proteínas comunes: Dos especies próximas tienen proteínas con pocas variaciones en sus secuencias de aminoácidos. Por ejemplo, al estudiar el número de aminoácidos diferentes en la molécula de hemoglobina de diferentes especies:

	Hombre	Gorila	Cerdo	Conejo
Hombre	0	1	19	26
Gorila		0	20	27
Cerdo			0	27

Según Luca Cavalli-Sforza "Quiénes somos" Edit crítica, pág 51

Según estos datos el hombre y el gorila son parientes muy próximos, luego lo serían del cerdo y más alejados del conejo.

- La secuencia de fragmentos de ADN, por técnicas de hibridación. Los ADNs hibridan (se unen) en los lugares en que sus secuencias son complementarias. En especies próximas hibridan cadenas largas de ADN (más genes tienen en común).

3.- LA POBLACIÓN COMO UNIDAD EVOLUTIVA

Una población es un conjunto de individuos de la misma especie, coetáneos, y que habitan en un mismo ambiente. Los individuos de una población presentan un amplio grado de características diferentes debido a la existencia de una amplia gama de genotipos (y fenotipos). La variabilidad de una población se construye a partir del conjunto de alelos presentes en toda la población.

A) LEY DE HARDY-WEINBERG

Ley de Hardy-Weinberg: *“En poblaciones en las que todos los individuos pueden reproducirse al azar entre sí, y estén equilibrio (el número de individuos es constante generación tras generación, en ausencia de mutación, migración, o selección), las proporciones en que aparecen cada alelo (frecuencia génica) y cada genotipo (frecuencia genotípica) se mantienen constantes”.*

Si por cualquier causa se pierde el equilibrio y luego se recupera, en una generación de cruzamiento al azar, se restablecen las frecuencias. Es decir, en las condiciones antes citadas, una población no cambia, no evoluciona.

B) ORIGEN DE LAS VARIACIONES

Las condiciones establecidas en dicha ley no se presentan en la mayor parte de las poblaciones ya que se producen cambios en dichas frecuencias por:

- Mutaciones: suponen la aparición de nuevos alelos en una población.
- Recombinación genética: se produce en la reproducción sexual y da lugar a nuevas combinaciones de alelos al separarse genes ligados.
- Migración: En las poblaciones puede darse:
 - . la *inmigración*: es la llegada a una población de individuos (y genes) de otras poblaciones
 - . la *emigración*: pérdida de individuos (y genes) propios.

Pero si se establece un intercambio fluido de individuos y de genes entre diferentes poblaciones (**flujo genético**), el efecto es contrario se tiende a igualar las frecuencias génicas de diferentes poblaciones.

- Deriva genética: en poblaciones pequeñas y aisladas pueden influir, en mayor medida, cualquier mutación cambiando las proporciones genéticas y génicas. Aparecerán rasgos característicos de esa población.

- **Valor adaptativo:** también se denomina *fitness darwiniana* o *eficacia biológica*. No todos los individuos de una población contribuyen en igual forma en la siguiente generación. Existen diferencias de fertilidad, supervivencia, viabilidad embrionaria..., es decir, diferente eficacia biológica o valor adaptativo de los individuos. Los genotipos con mayor valor adaptativo, se seleccionarán tendiendo más descendientes y aumentando su frecuencia dentro de la población.

En resumen, la variación en las frecuencias génicas y genéticas de una población, necesarias para que se produzca la evolución, van a ser el resultado de dos tendencias:

- una que favorece dicha variabilidad: mutaciones, deriva genética, valor adaptativo, selección..., y
- otra que tiende a reducirla: condiciones de equilibrio según la ley de Hardy-Weinberg, el flujo genético... .

4.- MECANISMOS DE LA EVOLUCIÓN

En el estudio de los mecanismos básicos de la evolución se expresa el resumen del concepto moderno de evolución.

Los mecanismos utilizados por la evolución en la formación de las especies (proceso de especiación) son: variabilidad genética, aislamiento reproductor, selección natural.

A) VARIABILIDAD GENÉTICA

Los individuos de cada especie comparten un acervo genético común en el que se presenta una variabilidad genética como consecuencia de:

- Cambios aleatorios en el material genético por mutaciones.
- La recombinación genética que aumenta considerablemente las posibles combinaciones entre las diferentes mutaciones.
- La deriva genética.

B) AISLAMIENTO REPRODUCTOR

El aislamiento reproductivo aumenta los efectos de los mecanismos de producción de variabilidad genética. Dicho aislamiento puede deberse a:

Mecanismos precigóticos que impiden la fecundación como el:

- Aislamiento geográfico: Dos poblaciones quedan separadas por una barrera (agua en especies terrestres, tierra, en especies marinas, montañas en especies de llanura, etc...) y no pueden cruzarse entre sí.
- Aislamiento etológico: Diferente comportamiento que impida el cruce (poblaciones diurnas y nocturnas, distintos rituales de apareamiento...).
- Aislamiento ecológico: En especies que viven en el mismo territorio pero ocupan hábitats o nichos ecológicos diferentes.
- Aislamiento gamético: Cuando es imposible la fecundación, por ejemplo entre especies de plantas que polinizan en diferente época del año.
- Incompatibilidad anatómica entre los individuos de diferente sexo de las poblaciones.

Mecanismos postcigóticos que impiden el desarrollo de la descendencia:

- Inviabilidad ed los híbridos: Cuando los híbridos no llegan a nacer o no alcanzan la madurez sexual.
- Esterilidad de los híbridos: En este caso los híbridos alcanzan la madurez secual pero son estériles. Es el caso de las mulas híbridos de caballos y burras.

Si no existiese este aislamiento reproductor se reestablecerían las proporciones genéticas y génicas por el flujo genético y por la Ley de Hardy-Weinberg.

C) SELECCIÓN NATURAL

La variabilidad genética se manifiesta bajo la forma de variaciones en los fenotipos de los individuos de dicha especie. Si dicha variabilidad fenotípica se asocia a diferencias en la eficacia biológica ante nuevas condiciones ambientales, los individuos que posean dichas mejoras se verán favorecidos por el cambio ambiental y tendrán más posibilidades de sobrevivir y reproducirse con éxito que los que no las presenten. Por tanto resultan seleccionados. Como resultado de dicha selección se produce un cambio genético que a lo largo del tiempo y generaciones puede originar la aparición de nuevas especies. Es decir, habrá tenido lugar un proceso de especiación.

5.- LA ESPECIACIÓN

La **especiación** es un proceso evolutivo por el que diversas poblaciones de una especie divergen dando lugar a especies diferentes. Para que se produzca es necesario que se establezcan barreras al flujo genético como consecuencia del desarrollo de mecanismos de aislamiento reproductor. Según los mecanismos de aislamiento podemos distinguir dos tipos de especiación: alopátrica y simpátrica.

5.1.- ESPECIACIÓN ALOPÁTRICA

Se daría en aquellas especies que a lo largo de su historia se han dividido en poblaciones aisladas geográficamente que, sometidas a las peculiaridades ambientales del sector geográfico ocupado, han evolucionado independientemente hasta generar nuevas especies.

EJEMPLOS: . Los pinzones de Darwin. En este caso existe una barrera, el mar que separa cada isla.

. La Capra pirenaica es una cabra que necesita sustrato rocoso y quedaron poblaciones aisladas en las cadenas montañosas (Pirineos, Macizo Galaico, Sierra de Cazorla, Gredos, Sierra Nevada) separadas por grandes llanuras (las mesetas). Fueron diferenciándose genéticamente y surgieron cuatro subespecies:

- . Pirineos C. p. pirenaica (parda, patas y lomo negros, cuernos delgados)
- . Gredos C. p. victoriae (rojiza y poco negro, cuernos anchos)
- . Galicia C. p. lusitanica (extinguida)
- . En el resto C. p. hispanica (rojiza sin negro, cuernos anchos y abiertos).

5.2.- ESPECIACIÓN SIMPÁTRICA

Es la que se produce en el mismo área geográfica de la especie ancestral. Para que se evite la homogeneización genética debida a la Ley de Hardy-Weinberg tienen que producirse unos mecanismos que impidan el cruce:

- Aislamiento ecológico, al ocupar diferentes habitats pueden quedar aislados.
- Aislamiento etológico: cambios en el comportamiento reproductor, en el ritmo biológico...
- Aislamiento sexual: incompatibilidad anatómica.
- Aislamiento genético: esterilidad de los híbridos o inviabilidad de los mismos.
- Por poliploidía al obtenerse, en una generación, descendientes con un número mayor de cromosomas que los padres. Es relativamente frecuente en plantas. Es una especiación saltacional.

Es improbable y no es el proceso habitual.

6.- MICROEVOLUCIÓN Y MACROEVOLUCIÓN

La **microevolución** designa la aparición constante de pequeñas modificaciones, por cambios en las frecuencias génicas, en las poblaciones. Es el proceso que hemos estudiado con anterioridad en los procesos de especiación.

La **macroevolución** son los cambios de mayor amplitud observados al recorrer los árboles genealógicos de las especies y, concierne a la aparición de los grandes grupos taxonómicos.

- Según el modelo gradualista (neodarwiniano) la macroevolución es el resultado de la acumulación de procesos de microevolución.
- Según el modelo del equilibrio puntuado (Eldredge y Gould-1.972) el proceso evolutivo no tiene carácter gradual sino que presenta (según el registro fósil) largos períodos de equilibrio que son sucedidos de forma abrupta y puntual por procesos de desaparición y formación de grupos nuevos.

7.- FILOGENIA

El registro fósil nos permite, en ocasiones, establecer la **filogenia** de una especie. Es decir, podemos obtener la línea que refleja los cambios producidos a lo largo de la historia evolutiva de una especie.

Uno de los casos mejor conocidos es el de la filogenia del caballo actual (género Equus).