

# TEMA 4: LA EVOLUCIÓN

---

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Siglo XIX, **Charles Darwin** y **Alfred Wallace** descubren el mecanismo mediante el cual se produce la evolución: la **selección natural**. La **EVOLUCIÓN** describe el **cambio en la diversidad y adaptación** de las poblaciones de organismos o la **transformación de unas especies en otras**.

## 4.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Siglos XVI-XVII: dominaban las teorías del **Transformismo Radical** (generación espontánea de especies) y **Creacionismo** (Carl von Linné, concepción estática, las especies obedecen al diseño divino).

Descubrimiento de la naturaleza de los fósiles-> **Lamarck** dedujo que siempre hubo una continuidad de la vida en la Tierra. La evolución es **determinista** (objetivo: alcanzar la perfección). Se basó sobre 2 principios falsos:

1. **La función crea al órgano** o **Ley del uso y desuso**: adaptación-> hábitos-> órganos
2. **Herencia de los caracteres adquiridos**: cada organismo representa una línea evolutiva independiente: generación espontánea-> estado de perfección, que se alcanza mediante la adaptación al medio

## 4.3 TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Hay 2 elementos esenciales en la Teoría de la Evolución de Darwin:

- **Variabilidad**: diferencias entre individuos originadas por el azar y, también de forma errónea como Lamarck, al uso y desuso (modificaciones que ese órgano ha experimentado como consecuencia de su experiencia).
- **Herencia** de esa variabilidad

Dinámica del proceso de especiación: todas las **especies** tienen una relación de parentesco ya que unas han dado origen a otras.

## 4.4 TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN

1ª mitad s. XX: descubrimientos y aportaciones teóricas en el campo de la **Genética**, la **Sistemática** y la **Paleontología** que consolidan la teoría de la evolución por selección natural:

**Genética:**

- Las variaciones sobre las que actúa la selección natural tienen su origen en pequeños cambios producidos por mutación\* en el material hereditario-> aparición de nuevos alelos, heredados de forma independiente.

- El descubrimiento de la naturaleza de los genes permitió establecer la relación de parentesco entre todos los seres vivos (conexiones entre genes y fenotipo)

La **Sistemática** aporta el concepto biológico de especie: conjunto de variedades distribuidas geográficamente que reflejan las diferentes adaptaciones a los ambientes locales por los que se distribuye.

Desde la **Paleontología** se constata el hecho de la evolución y que ésta ocurre por la aparición de pequeñas variaciones que se extienden poco a poco en las poblaciones, provocando la aparición gradual de nuevas especies a partir de otras preexistentes.

\***Mutacionismo**: como explicación del origen de las especies. La evolución ocurriría a saltos, no sería gradual como proponía Darwin. Sucedería por cambios bruscos en los genes que conducirían a la aparición también brusca de nuevas especies.

## 4.5 LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN Y LA PSICOLOGÍA

**Principales aportaciones** que esta teoría hace al terreno del estudio del comportamiento:

- **Darwin** publica “*El origen del hombre y la selección en relación al sexo*”. Compara capacidades mentales hombre/ animales-> **diferencias sólo de grado** y no de clase.
- **Darwin** publica “*La expresión de las emociones en el hombre y los animales*”. Considera al **comportamiento** como una característica biológica más que también está **sujeta a la selección natural**.
- Define las **pautas de acción fija**, analiza el significado biológico de la **expresión involuntaria de las emociones** en el hombre y resalta el valor de las **emociones** para la **supervivencia**.
- Las **conductas** tienen una lógica y subsisten las que tienen mayor valor adaptativo.
- Darwin contribuyó a la aparición de nuevas disciplinas psicológicas: **Psicología Comparada, Etología, Sociobiología, Psicología Evolucionista** o **Ecología del Comportamiento**
- Francis Galton (primo de Darwin) sentó las bases de la Genética de la Conducta-> publica los primeros estudios sobre la **herencia** de la **capacidad mental** humana correlacionándola con la proximidad familiar.

## 4.6 MECANISMOS DE LA EVOLUCIÓN

Darwin descubrió que la **variabilidad**, la **herencia** y la **selección natural** son los pilares que sustentan el origen de la diversidad orgánica (de la evolución de los organismos).

### 4.6.1 La Herencia a través de las Poblaciones

La **Genética de Poblaciones** estudia las modificaciones en las frecuencias genotípicas y alélicas. Tiene como **objetivo** analizar los cambios que ocurren en la variabilidad génica (en el acervo génico) de las poblaciones y cuáles son los factores que los desencadenan, causando con ellos la paulatina transformación de unas especies en otras.

**Población:** Conjunto de individuos que se reproducen entre sí y viven en el mismo espacio y tiempo.

**Acervo Génico** (pool génico) de una población es el conjunto de todos los alelos de la totalidad de los genes de los individuos que componen esa población.

### Frecuencias Genotípicas

La **Frecuencia Genotípica** es la frecuencia relativa que tiene cada uno de los genotipos posibles de una población. Si en una población N existen d Genotipos A1A1, h genotipos de A1A2 y r genotipos de A2A2 sería:  $N = d+r+h \rightarrow D=d/N$  para A1A1,  $H=h/N$  para A1A2 y  $R=r/N$  para A2A2

### Frecuencias Génicas o Alélicas

La **Frecuencia Génica o Alélica** es la representación que tiene un alelo con respecto al conjunto de variantes de un determinado locus. Partiendo de que la población es diploide (dos copias alélicas, iguales o diferentes para cada locus):

$$p = (2D+H)/(2D+2H+2R) = 2D+H/2(D+H+R) = D+H/2 \text{ ,, } q = H/2+R$$

### Ley del Equilibrio de Hardy-Weinberg

La **Ley del Equilibrio Génico** establece que las frecuencias génicas y genotípicas de una población se mantendrán constantes generación tras generación siempre y cuando:

- El tamaño de la población sea lo suficientemente grande como para evitar variación de las frecuencias génicas debidas al muestreo
- Los apareamientos sean al azar, no existe preferencia por el apareamiento con individuos que sean semejantes o distintos respecto a los alelos en cuestión.
- No se produzcan movimientos de inmigración (hacia esa población) ni de emigración (hacia fuera de ella) de individuos.
- No haya diferencias en la capacidad reproductora de los genotipos
- No se produzca mutación de un estado alélico a otro: que no aparezcan nuevos alelos a partir de los existentes, ni éstos se transformen unos en otros.

Las frecuencias genotípicas de los distintos cigotos serán:

$$D=p^2: \text{ Homocigotos A1A1 // } H=2pq: \text{ Heterocigotos A1A2 // } R=q^2: \text{ Homocigotos A2A2}$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$p+q=1$$

Las frecuencias alélicas de la nueva generación serán:

$$p_1 = D+H/2 = p^2 + (2pq)/2 = p \text{ ,, } q_1 = H/2+R = (2pq)/2 + q^2 = q$$

Sólo en el caso de que la población esté en equilibrio podremos calcular las frecuencias genotípicas a partir de las frecuencias alélicas.

### 4.6.2 Variabilidad Genética

**Variabilidad:** Es la existencia de más de un alelo por locus en la población -> materia prima sobre la que actúa la selección natural. Su origen está en el **azar**. Está presente en las

poblaciones permanentemente, cosa que tiene 2 explicaciones (se ha demostrado que las dos actúan):

- **Seleccionistas:** defienden que la selección natural mantiene la variabilidad porque su presencia confiere alguna ventaja reproductiva a los individuos que la portan
- **Neutralistas:** gran parte de la variabilidad existente en las poblaciones, es neutra desde el punto de vista evolutivo. Ejemplo: **mutaciones silenciosas**- la selección natural no las puede detectar por no tener efectos sobre el fenotipo

En ocasiones la variabilidad se mantiene aún a pesar de que la selección natural actúa contra ella, caso de los **alelos recesivos**: la **enfermedad de la fenilcetonuria**. Los individuos heterocigotos siempre aportarán en un 50% de sus gametos el alelo recesivo.

### Origen de la Variabilidad

El grado de variabilidad está claramente relacionado con la tasa de evolución. En las especies que se reproducen sexualmente el genoma es una combinación única.

### MUTACIONES GÉNICAS

Se crea un nuevo alelo: modifican un solo gen (afectan a pocos nucleótidos). Son debidas a errores en la replicación (duplicación) del ADN, accidentes o sucesos aleatorios que conducen a que la información de las células hijas sea distinta a la de la célula parental. Los efectos serán previsiblemente más perjudiciales que beneficiosos.

Generan **variabilidad** y son **heredables**. Serán transmitidas a la siguiente generación sólo cuando afecten a la línea germinal.

**Tasa de mutación:** *número de mutaciones nuevas por gen y por gameto.*

Dependen de la frecuencia de duplicación del ADN. En las mujeres el óvulo se ve menos afectado por estas mutaciones (menos divisiones).

**Carácter Preadaptativo de la Mutación:** El carácter pos-adaptativo (Lamarck) es erróneo. La mutación ocurre al azar, de forma aleatoria y sin un carácter funcional, por lo que es pre-adaptativo (ocurre antes de una posible adaptación).

**Efecto de la Mutación sobre las Frecuencias Génicas y Genotípicas:** La mutación es un proceso de cambio lento en las poblaciones de organismos complejos. No produce cambios espectaculares en las frecuencias alélicas por sí sola. En 100.000 años de historia evolutiva de nuestra especie, un alelo originado en los albores de la humanidad tendría en la actualidad una representación aproximada del 4% ( $=4.000 \text{ generaciones} \times 10^{-5} / \text{gen} - \text{tasa de mutación}$ ).

### MUTACIONES GENÓMICAS Y CROMOSÓMICAS

Relacionadas con la variación de la cantidad de ADN. Parece existir una clara relación entre la cantidad de ADN por célula y la complejidad de un organismo: virus-> procariontas -> eucariotas

La mayor parte del **ADN** no forma parte de genes, sino que constituye segmentos cuya función es desconocida. En el hombre (organismo con más genes) el ADN está compuesto por **25.000 genes y 3 millones de pares de bases**. La célula secuenciada más simple, *Mycoplasma Genitalium*, tiene 517 genes y 580.000 pb.

**Mutaciones cromosómicas:** cambios estructurales en los cromosomas: deleciones, duplicaciones, inversiones y translocaciones

**Mutaciones genómicas:** cambia el número de cromosomas: haploidía, poliploidía y aneuploidía). Es muy probable que en ellas esté el origen del aumento de la cantidad de ADN.

Cuando se da un incremento en el material genético al ser multiplicado produce que existan segmentos de ADN con más de 2 copias: una hará la función original y la copia duplicada podrá divergir libremente pudiendo adquirir por mutación una función distinta o nueva. Ej.: origen del gen que codifica la **hemoglobina**.

### RECOMBINACIÓN GÉNICA

Se crea una nueva combinación de alelos y es el origen de la gran diversidad: ocurre durante la meiosis y conduce a una combinación aleatoria de los alelos presentes en los cromosomas homólogos. Rara vez genera una nueva variabilidad alélica.

### MIGRACIÓN Y DERIVA GENÉTICA

La **Migración** de individuos de una población consiste en un flujo de genes hacia dentro o hacia fuera de esa población. La población receptora experimentará cambio en sus frecuencias génicas si las de la inmigrante son diferentes. Puede introducir nuevos alelos en la población aumentando su variabilidad genética.

La **Deriva Genética** ocurre cuando las frecuencias génicas cambian por razones meramente aleatorias. Se da en poblaciones pequeñas (muerte accidental de un grupo de individuos que porta un determinado alelo).

**Efecto fundador:** se establece una población a partir de muy pocos individuos.

El **Efecto de cuello de botella** se produce cuando las poblaciones ven mermados drásticamente sus efectivos. Este efecto puede llevar a la extinción de la especie o favorecer, por esa reducción del número de individuos, un proceso de deriva genética.

### 4.6.3 Selección Natural

La **Selección Natural** se define como el *proceso que conduce a la supervivencia y reproducción diferencial de los individuos de una población, modificando paulatinamente las frecuencias alélicas y genotípicas de la población*.

La **Eficacia Biológica (W)** es el *número de descendientes que aporta un organismo a la siguiente generación*. Este concepto se expresa mediante la relación que existe entre el número de descendientes medio de un grupo o individuo (n) y el del grupo o individuo que más descendientes tiene (N):  $W = n/N$

El valor de la eficacia biológica más alta será 1 y corresponderá al genotipo que más descendientes tenga de media, estando el valor del resto de genotipos comprendido entre 0 y 1. EJEMPLO: **Enanismo acondroplásico**, causado por un alelo dominante que impide el desarrollo normal de las extremidades:  $W \text{ enfermos} = 0,25/1,27 = 0,2$

El **Coefficiente de Selección (S)** es el efecto de la selección sobre la eficacia biológica de un determinado genotipo:  $S = 1 - W$

La **Adaptación** es el proceso mediante el cual se consigue una interacción más eficiente con el ambiente, permitiendo a los organismos enfrentarse con más probabilidades de supervivencia a las tensiones medioambientales. Aquellas mutaciones que provocan una mejora adaptativa sí están asociadas estadísticamente con una mayor eficacia biológica.

La **Unidad de Selección** son los individuos y no el grupo, población o especie. Al favorecer el éxito reproductivo individual, la selección natural no necesariamente mejora el de la población.

### Tipos de Selección Natural

**Selección Natural Direccional** : Actúa eliminando a los individuos de una población que presentan una característica situada en uno de los extremos de su distribución fenotípica. Provoca que la media se desplace hacia el extremo opuesto al eliminado. Esta forma de actuar predomina en aquellas situaciones en que una secuencia determinada de interacciones entre la población y el medio ambiente cambia de forma constante en una misma dirección:

#### Melanismo Industrial

**Selección Natural Estabilizadora**: Actúa en contra de los individuos de ambos extremos de la distribución fenotípica de una población, favoreciendo el mantenimiento de las características intermedias de la misma. Es la responsable de que una población permanezca sin cambios, ayudando a la permanencia de las características más comunes de la misma a lo largo del tiempo: **peso del ser humano al nacer (3,6 kg).**

**Selección natural Disruptiva**: Actúa a favor de los individuos de los extremos de la distribución fenotípica de una población y en contra de los individuos con fenotipo intermedio: **mosca de la fruta.**

**Selección sexual**: *cualquier desviación del apareamiento aleatorio entre los individuos de una población.* Ocurre cuando se da la lucha de los individuos de un sexo por acceder al otro para reproducirse. Su efecto sería seleccionar aquellas características que confieran una ventaja con respecto al apareamiento. Causa el **dimorfismo sexual**, que aumenta las probabilidades de encontrar pareja y disminuye la de supervivencia (beneficia la eficacia biológica): **pavo real.**

El **Polimorfismo** se da cuando en una población *un determinado locus presenta dos o más alelos*. Pueden ser:

- **Polimorfismos transitorios**: cuando aparece por mutación un alelo en una población que aumenta la eficacia biológica de sus portadores. Hasta que quede totalmente

implantado en la población habrá en ella polimorfismo ya que coexisten al mismo tiempo el nuevo y el antiguo alelo.

- **Polimorfismos Equilibrados**: Cuando se presentan de forma permanente a lo largo del tiempo:
  - **Superioridad del heterocigoto**: ocurre cuando la selección natural actúa contra ambos homocigotos, aumentando la eficacia biológica de los heterocigotos: **Anemia Falciforme o Drepanocítica** (resistencia a la malaria)
  - **Selección Natural Dependiente de Frecuencia**: la frecuencia que tenga un determinado fenotipo en una población puede incidir sobre su eficacia biológica convirtiéndose en factor de selección que conduce también a la aparición de polimorfismos en la población: varias especies de la **mosca de la fruta** (machos raros (atractivos) pasan a ser comunes y luego se invierte la tendencia porque los nuevos raros (antiguos comunes) son los atractivos).

#### 4.6.4 Especiación

La **Microevolución** es consecuencia de la mutación, la selección natural, la deriva genética y la migración. La **Macroevolución** engloba aquellos procesos que hacen que aparezcan nuevas especies.

El **Concepto Biológico de Especie** define a ésta como una *comunidad de organismos reproductivamente aislada cuyos miembros pueden cruzarse entre sí y obtener descendencia fértil*.

La **Especiación** es la transformación de una especie en otra y supone la consecuencia más dramática de la evolución, pues provoca una ruptura, una discontinuidad definitiva, entre dos poblaciones. Unas especies originan a otras a través de 2 mecanismos:

1. **Anagénesis o Evolución filética**: ocurre como consecuencia de la acumulación de cambios a lo largo del tiempo que hacen que una especie se transforme en otra y ya no puedan considerarse pertenecientes a la misma especie de la población original. Provoca la transformación de una línea evolutiva.
2. **Cladogénesis**: sucede cuando en una población se produce una divergencia genética que origina varias ramas o cladros, representados por poblaciones diferentes y reproductivamente aisladas: las nuevas especies. Produce diversificación o ramificación.

Para que ocurra la Especiación deben darse 2 procesos indispensables: **divergencia genética** y **aislamiento reproductor**. En la Anagénesis ambos procesos los establece el paso del tiempo.

En la Cladogénesis pueden coexistir la especie original y la nueva. Dos formas de especiación:

#### ESPECIACIÓN ALOPÁTRICA O GEOGRÁFICA

**Alopátrica** significa otra patria. La barrera al flujo de genes entre 2 poblaciones se establece por barreras geográficas (deriva de continentes). Deben establecerse mecanismos de

aislamiento reproductivo: si no ha sido muy duradero pueden aparecer **híbridos** al cruzarse de nuevo. Mecanismos:

1. **Mecanismos de aislamiento postcigóticos:** son consecuencia de la divergencia genética entre las 2 poblaciones y suponen un importante derroche de recursos, pues ocasionará anomalías en el desarrollo del híbrido que se concretará en alguno de estos 3 efectos:
  - Inviabilidad del cigoto híbrido: Sucede cuando el cigoto muere antes de nacer.
  - Esterilidad del híbrido: debida a que sus gónadas no se desarrollan adecuadamente o a que el proceso de meiosis es incapaz de producir gametos.
  - Reducción de la viabilidad del híbrido: en ocasiones los híbridos son fuertes y vigorosos pero no logran dejar descendencia o ésta muere rápidamente.
2. **Mecanismos de aislamiento reproductivo precigóticos:** impiden los cruces entre especies distintas y favorecen los llevados a cabo con individuos genéticamente equivalentes. Pueden ser de varios tipos:
  - Aislamiento etológico: mecanismo más fuerte de aislamiento en muchos grupos animales. Es consecuencia del despliegue de un repertorio conductual específico, estereotipado y fijo que va acompañado en muchas ocasiones de un buen número de señales acústicas, visuales y químicas.
  - Aislamiento estacional: Se debe a que los períodos de fertilidad o maduración sexual de los organismos relacionados no coinciden en el tiempo.
  - Aislamiento mecánico: las características de los genitales de una y otra especie impiden la cópula.
  - Aislamiento ecológico: ocurre cuando dos especies muy relacionadas explotan nichos ecológicos diferentes.
  - Aislamiento gamético: hace que los gametos de distintas especies no se atraigan o resulten inviables en el tracto reproductor femenino.

## ESPECIACIÓN SIMPÁTRICA

**Simpátrica** significa la misma patria. Este mecanismo de especiación ocurre sin separación física. Es más habitual en plantas que en animales. El aislamiento génico y reproductivo se consigue a través de cambios en la dotación cromosómica, como por ejemplo la **poliploidía**, que puede ser consecuencia de una duplicación de los cromosomas de las células que forman los gametos. La poliploidía también se puede dar en las plantas como consecuencia de la hibridación entre dos especies cercanas genéticamente. La planta híbrida será estéril.

### 4.6.5 El Hecho de la Evolución

#### Tipos de Evolución

El término **Homología** hace referencia a las semejanzas que aparecen entre los organismos como consecuencia de la herencia compartida de un antepasado común.

El término **Analogía** se refiere a las similitudes que existen entre los organismos, debidas a la semejanza funcional pero no a una herencia compartida.



La **Evolución Convergente** conduce a cambios adaptativos en distintos organismos que solucionan de una forma similar e independiente problemas semejantes.

La **Evolución Paralela** proceso por el cual las adaptaciones globales dan soluciones muy parecidas a los múltiples problemas que representa la utilización de un nicho ecológico determinado.

La **Coevolución** es otra pauta evolutiva consistente en la interacción entre dos o más especies distintas que desencadena una presión selectiva de unas sobre otras.

### Ritmo Evolutivo

La evolución de las especies se produce a distintos ritmos. En la mayoría de los casos el cambio es gradual y lento. Sin embargo, en el caso de la **Radiación Adaptativa**, se produce una diversificación rápida que conduce a que un tipo de organismo se diversifique, como consecuencia de la ocupación de nichos ecológicos vacíos.

El **Equilibrio puntuado** está basado en los datos morfológicos obtenidos del registro fósil. Las especies aparecen súbitamente, experimentan pocos cambios y permanecen sin apenas modificaciones durante millones de años hasta que se extinguen, siendo su nicho ocupado por otra especie nueva que volvería a permanecer sin cambios hasta su fin.

El ritmo de la evolución no sería gradual sino que existirían espacios cortos de tiempo en los que habría una diversificación rápida de las especie (**período de cambio**), seguidos por largas etapas en las que no ocurriría ningún cambio (**periodo de estasis**).

### Extinción

Existen varios factores que conducen a la extinción. Uno muy importante es la disminución de la variabilidad genética, pues resta posibilidades de respuesta a las especies ante los cambios ambientales. La actuación del hombre también está provocando la extinción de muchas especies y está poniendo en peligro nuestra propia supervivencia.