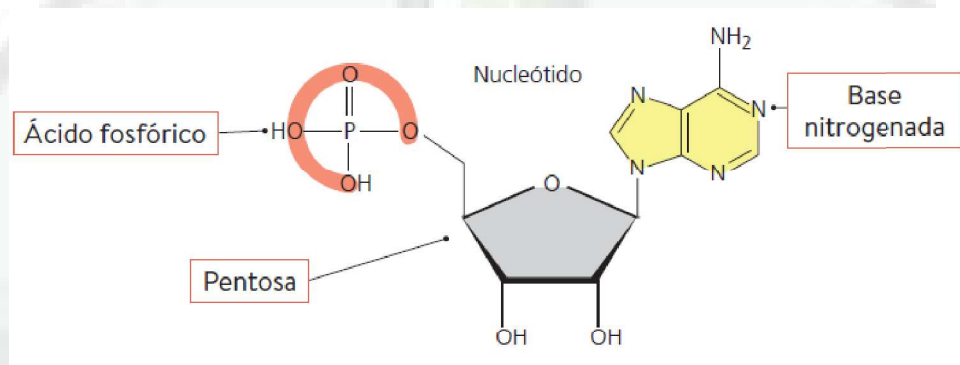


Tema 7: Información genética y evolución

La información genética

Como ya hemos visto, en las células la información genética se encuentra contenida en forma de **ácidos nucleicos**, ya sea ADN o ARN según el momento y objetivo de dicha información.

Los ácidos nucleicos son moléculas complejas formadas por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo. Son moléculas de gran tamaño que se forman por la unión de **nucleótidos**, que a su vez están formados por una **base nitrogenada** (A,T,U,C o G) y que da nombre al nucleótido, un azúcar (ribosa o desoxirribosa) y un grupo fosfórico.



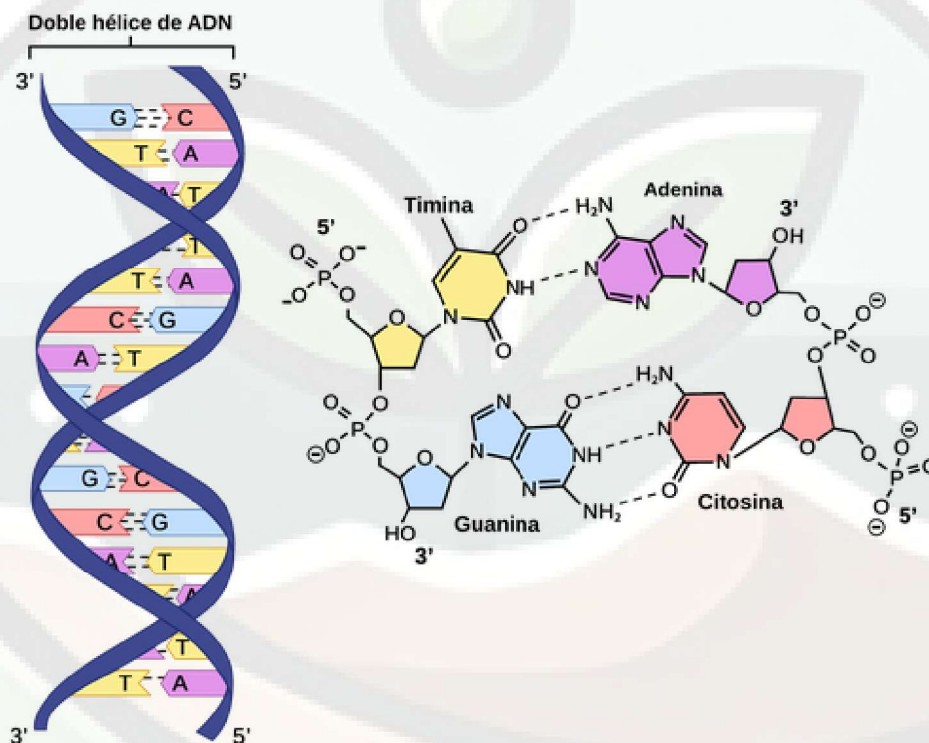
Los ácidos nucleicos pueden ser ADN, ácido desoxirribonucleico, o ARN, ácido ribonucleico. Entre ambos existen diferencias clave que repercuten en su función:

	ADN	ARN
Composición química	Formado por desoxirribonucleótidos constituidos por: • Resto fosfórico. • Desoxirribosa. • Bases nitrogenadas: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T).	Formado por ribonucleótidos constituidos por: • Resto fosfórico. • Ribosa. • Bases nitrogenadas: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y uracilo (U).
Estructura molecular	Estructura bicatenaria: formada por dos cadenas de polinucleótidos unidas entre sí por las bases nitrogenadas.	Estructura monocatenaria: formada por una molécula de polinucleótido.
Tipos	• ADN nuclear, que forma la cromatina. • ADN mitocondrial, presente en las mitocondrias. • ADN plasmidial, en los cloroplastos.	• ARNm o mensajero. • ARNt o de transferencia. • ARNr o ribosómico
Localización en la célula	En el núcleo, en las mitocondrias y en los cloroplastos.	En el citoplasma, libres o asociados a ribosomas.
Función	Es el portador de la información genética del organismo.	Participa en la síntesis de proteínas.

ADN

El ADN es la forma en que se encuentra almacenada la información genética en las células. Contiene toda la información que la célula puede necesitar para su funcionamiento.

La estructura y composición del ADN son claves en la selección de esta molécula como guardiana de la información genética. Por un lado, los **desoxirribonucleótidos** son menos reactivos, es decir, más estables que los ribonucleótidos del ARN ya que pierden un átomo de oxígeno que puede reaccionar con otras sustancias. Además, al organizarse en forma bicatenaria también se vuelve más estable además de ofrecer un doble molde que puede ser clave en caso de alteraciones y necesidad de corrección de errores.

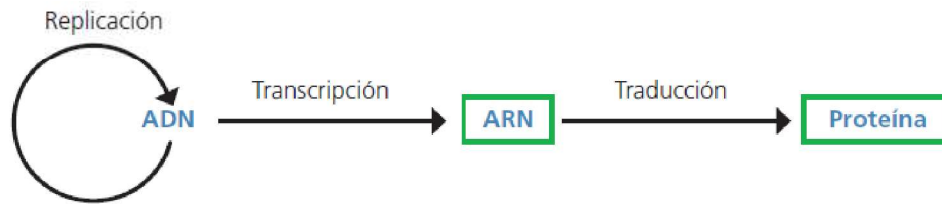


Expresión génica

La **expresión génica** es el proceso por el cual los organismos transforman la información contenida en su genoma (ADN) en proteínas. **No hay que olvidar que, aunque de forma común hablamos de producir proteínas, hay muchas secuencias de ADN cuya función es la de producir ARNs no codificantes y que llevan a cabo funciones por sí mismos.**

La expresión génica se divide en dos procesos, el primer de **transcripción**, en el núcleo, que da lugar a un **ARN mensajero** a partir del molde de ADN. Estos ARNm salen del núcleo y actúan como molde para la síntesis de proteínas en los ribosomas, denominando a este proceso **traducción**.

La organización secuencial de estos procesos es lo que se conoce como **dogma central de la biología** que fue postulado por Francis Crick. Pese a su utilidad, hoy día sabemos que este esquema es una simplificación de lo que ocurre y de las muchas posibilidades que da la biología.



En la transcripción, la información se mantiene siempre en el mismo sistema, pasamos de un ácido nucleico a otro. Se mantiene, por tanto, la relación de pares entre nucleótidos con la salvedad de que en el ARN no hay Timina (T), siendo ésta sustituida por el Uracilo (U) que será el complementario a la Adenina (A).

Por el contrario, en la traducción debemos pasar de un código de ácido nucleico al código de proteína, es decir, a aminoácidos. Los aminoácidos proteicos son un total de 20, por lo que es necesario un mínimo de 3 nucleótidos, llamamos a cada una de estas combinaciones **codón**, para codificar a cada uno de éstos. Al mismo tiempo, hay un total de 64 combinaciones de 3 nucleótidos con cuatro opciones para cada uno (A, U, C y G) de tal manera que aparece un **código genético** degenerado en el que más de una combinación codifica para el mismo aminoácido.

		Segunda Letra								
		U		C		A		G		
Primera Letra	U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	Tercera Letra
		UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	
		UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	STOP	UGA	STOP	
		UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	STOP	UGG	Trp	
	C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	Tercera Letra
		CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	
		CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	
		CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	
	A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	Tercera Letra
		AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	
		AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	
		AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	
	G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	Tercera Letra
		GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	
		GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	
		GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	

©BIOINNOVA
innovabiologia.com

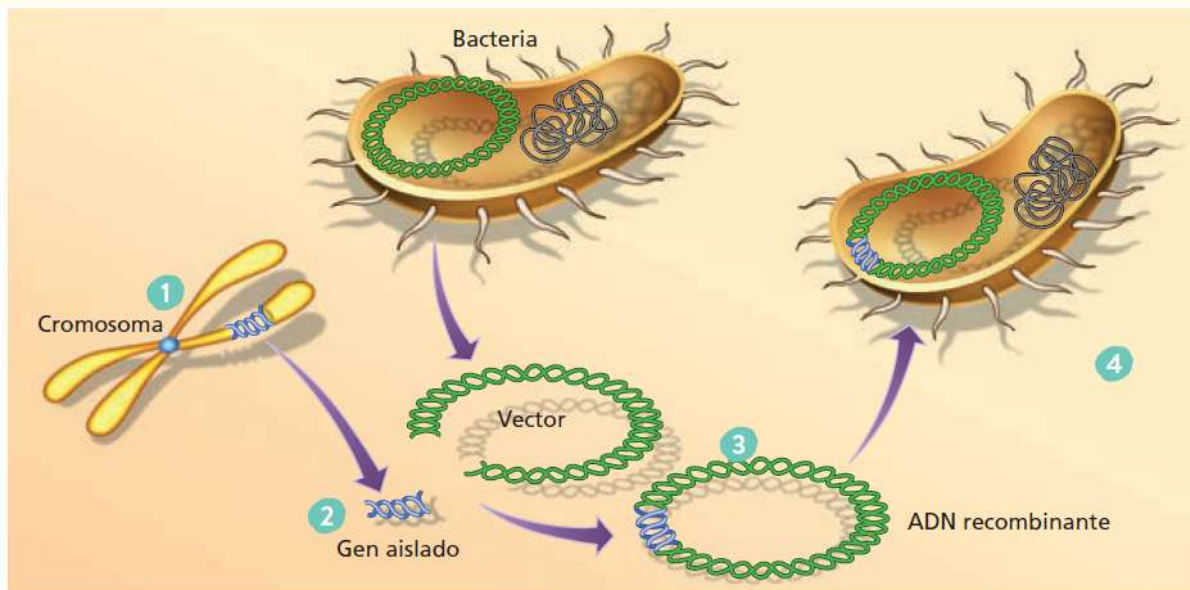
©BIOINNOVA
innovabiologia.com

Además, tres combinaciones originan lo que se denomina un **codón de stop** que provocará la parada de la síntesis de proteínas en el ribosoma.

Ingeniería genética

La ingeniería genética incluye todas las técnicas que permiten alterar el material genético de un organismo.

Algunas de las técnicas que se incluyen en este amplio paraguas son la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) que permite amplificar secuencias de ADN a partir de una muestra pequeña, las técnicas de ADN recombinante que permiten generar secuencias artificiales, así como vectores de ADN, construcciones de ADN circular que permiten introducir nuevas secuencias en organismos distintos.



Otra de las técnicas más novedosas y que ha abierto gran cantidad de posibilidades, es el CRISPR/Cas9. Esta técnica es una especie de **tijeras genéticas** que permiten cortar de manera muy precisa una secuencia de ADN para romperla introduciendo mutaciones aleatorias o bien sustituirla al introducir nosotros otra secuencia.

Gracias a estas técnicas podemos tomar información genética de un organismo y transferirlo a otro para que se exprese en éste. Generamos así **organismos modificados genéticamente** (OMG).

Teorías de la evolución

Ya sabemos cómo se almacena y transmite la información genética mediante el ADN y el ARN, así como la manera en que los genes dirigen la síntesis de proteínas y determinan muchas de las características de los seres vivos.

La genética no sólo permite explicar la herencia biológica, sino también cómo cambian las especies a lo largo del tiempo. La **evolución** es el proceso mediante el cual las poblaciones de seres vivos experimentan cambios hereditarios generación tras generación.

Gracias a la evolución podemos comprender:

- La diversidad de los seres vivos.
- Las semejanzas entre organismos distintos y con ello la relación entre los mismos.
- La aparición de adaptaciones al medio.
- El origen común de todas las especies.

Del fijismo al evolucionismo

Durante muchos siglos predominó la idea de que las especies eran inmutables y habían permanecido iguales desde su creación. Esta concepción recibe el nombre de **fijismo**.

Esta concepción se fue poniendo a prueba a causa de diversos descubrimientos y cambios de paradigma.

Por un lado, ya en el siglo XVIII el naturalista sueco Carlos **Linneo** desarrolló una importante clasificación de los seres vivos, relacionando unos con otros por sus semejanzas aunque seguía considerando que las especies eran fijas e invariables. Más adelante, el estudio de los fósiles comenzó a cuestionar esta visión. Muchos restos fósiles pertenecían a organismos extinguidos que no se parecían exactamente a las especies actuales.

Para explicar este fenómeno, Georges Cuvier propuso el **catastrofismo**. Según esta teoría, la Tierra habría sufrido grandes catástrofes naturales que provocaban extinciones masivas. Tras cada catástrofe aparecerían nuevas especies. Si bien reconocía las extinciones, todavía no aceptaba que unas especies pudieran transformarse en otras, simplemente aparecían o desaparecían sin relación unas con otras.

A lo largo de los años, el progresivo desarrollo de la geología y la paleontología, junto con el descubrimiento de nuevas especies y fósiles, favoreció progresivamente el nacimiento del pensamiento evolucionista.

Pruebas de la evolución

La teoría de la evolución está apoyada por numerosas pruebas científicas obtenidas desde diferentes campos de la biología y la geología. Estas evidencias demuestran que las especies cambian a lo largo del tiempo y que todos los seres vivos comparten antepasados comunes.

Pruebas anatómicas: se basan en comparar las estructuras corporales de distintos seres vivos.

Órganos homólogos	
Son órganos que, aunque realizan distintas funciones, tienen el mismo origen evolutivo y comparten idéntico patrón estructural. Constituyen una prueba de la evolución divergente o radiación adaptativa, que consiste en la aparición de diversos cambios que han dado lugar a diferentes estructuras, de acuerdo con las adaptaciones a diferentes formas de vida, a partir de un grupo antecesor.	
Órganos análogos	
Son órganos que, aunque tienen diferente origen evolutivo, realizan la misma función. Constituyen una prueba de la evolución convergente, que consiste en cambios que han dado lugar a estructuras semejantes en grupos no emparentados, a partir de distintos organismos antecesores que se han adaptado a un medio semejante.	
Órganos vestigiales	
Son estructuras que tienden a desaparecer por haber perdido su función. Constituyen una prueba de la evolución a partir de antepasados para los que estos órganos eran útiles. Sin embargo, debido a cambios en sus hábitos de vida y/o en las condiciones ambientales dejaron de ser necesarios.	

- **Órganos homólogos:** son órganos que tienen una **estructura interna semejante** porque proceden de un antepasado común, aunque puedan realizar funciones diferentes.
Por ejemplo, el brazo humano, la aleta de una ballena y el ala de un murciélago presentan los mismos huesos básicos, aunque sirven para nadar, volar o manipular objetos.
Estas semejanzas indican un parentesco evolutivo.
- **Órganos análogos:** son órganos que **realizan funciones similares**, pero tienen **distinto origen evolutivo** y diferente estructura interna.
Un ejemplo son las alas de las aves y las de los insectos. Ambas permiten volar, pero evolucionaron de manera independiente.
Este fenómeno se conoce como **evolución convergente**.
- **Órganos vestigiales:** son estructuras reducidas que han perdido gran parte de su función original, aunque fueron útiles en antepasados de la especie.
Algunos ejemplos son el apéndice en los seres humanos o los pequeños huesos de las patas posteriores presentes en ciertas serpientes y ballenas.

Pruebas paleontológicas: los fósiles son restos o huellas de organismos del pasado que han quedado conservados en las rocas. Su estudio permite conocer cómo eran los seres vivos antiguos y cómo han cambiado a lo largo del tiempo. Gracias a ellos sabemos que:

- Muchas especies del pasado se extinguieron.
- Los organismos actuales son diferentes de los antiguos.
- Han existido formas intermedias entre algunos grupos de seres vivos.

Dentro del estudio de los fósiles aparecen las **series evolutivas**. Conjuntos de fósiles que permiten observar cambios graduales en un grupo de organismos a lo largo del tiempo.

Uno de los ejemplos más conocidos es la evolución del caballo. A lo largo de la evolución de este grupo de animales, se produjo un progresivo aumento del tamaño así como una transformación de los dedos de sus extremidades, que se redujeron hasta la forma de pezuña que conocemos hoy día.



Otro ejemplo importante es el *Archaeopteryx*, un fósil que presenta características intermedias entre reptiles y aves, ya que tenía plumas, pero también dientes y una cola ósea.

Pruebas embriológicas: consiste en el estudio del desarrollo de los embriones de distintas especies. En las primeras etapas, los embriones de muchos vertebrados son muy parecidos entre sí. Por ejemplo, peces, aves y mamíferos presentan estructuras similares durante las fases iniciales. Estas semejanzas apoyan la idea de que todos ellos proceden de un antepasado común.

Pruebas biogeográficas: a través del estudio de la distribución de los seres vivos en la Tierra. Las especies que viven en zonas próximas suelen parecerse más entre sí que las de regiones muy alejadas. Además, en lugares aislados como las islas aparecen especies exclusivas adaptadas a condiciones concretas.

Pruebas moleculares y genéticas: aprovechan los avances en genética y biología molecular para el estudio de la evolución de los seres vivos. Se centra en la caracterización del genoma de los organismos y su comparación para conocer su grado de parentesco. Cuanto más parecido es el ADN entre dos especies, más cercano es su origen evolutivo.

Lamarck y la primera teoría evolutiva

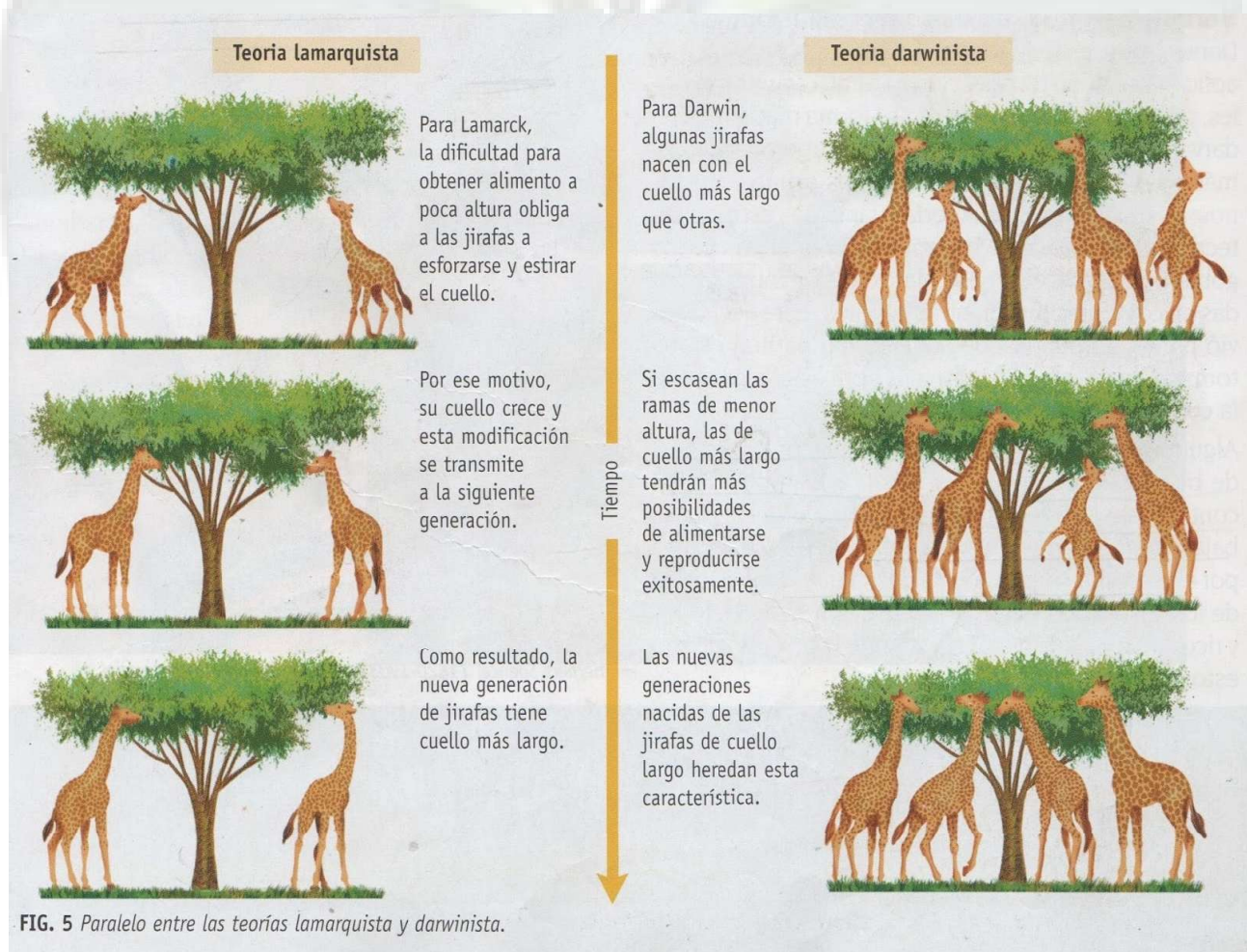
Jean-Baptiste **Lamarck** fue uno de los primeros científicos en proponer una teoría coherente sobre la evolución de los seres vivos. Su propuesta se basaba en dos ideas fundamentales.

La primera era la **ley del uso y desuso**. Según Lamarck, los órganos que se utilizan mucho se desarrollan, mientras que aquellos que apenas se usan terminan atrofiándose.

La segunda era la **herencia de los caracteres adquiridos**. Lamarck pensaba que las **modificaciones desarrolladas durante la vida** de un organismo podían transmitirse a sus descendientes.

El ejemplo clásico utilizado para explicar esta teoría es el de las jirafas. Según Lamarck, las jirafas primitivas habrían estirado continuamente el cuello para alcanzar hojas situadas a mayor altura. Como consecuencia, el cuello se habría ido alargando y este cambio pasaría a la descendencia.

Actualmente sabemos que esta explicación no es correcta, ya que **las modificaciones adquiridas durante la vida no suelen alterar el ADN de los gametos** y, por tanto, normalmente no se heredan. A pesar de ello, Lamarck tuvo una enorme **importancia histórica** porque defendió por primera vez que las especies cambian con el tiempo y que el ambiente influye en los organismos.

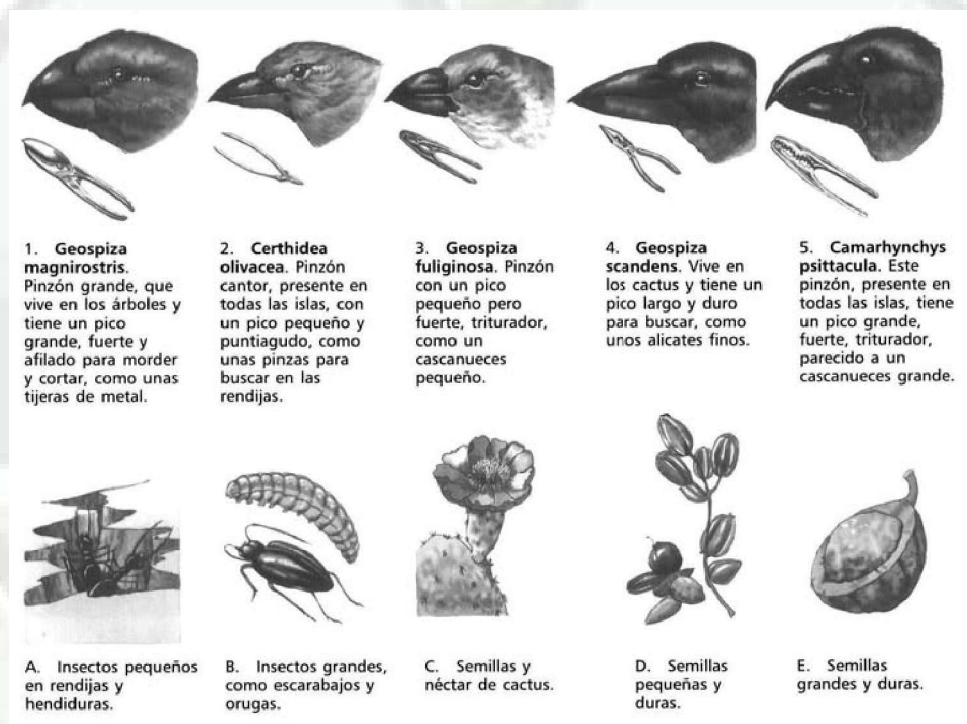


Darwin y la selección natural

La teoría evolutiva que transformó definitivamente la Biología fue desarrollada por **Charles Darwin**.

Darwin realizó un viaje alrededor del mundo a bordo del *HMS Beagle*. Durante esta expedición observó una enorme diversidad de especies y recopiló gran cantidad de información geológica y biológica.

Sus observaciones en las Islas Galápagos fueron especialmente importantes. Allí encontró especies similares entre sí, pero adaptadas a ambientes diferentes, como los pinzones. Esto le llevó a pensar que las especies podían **modificarse gradualmente** a partir de antepasados comunes.



En 1859 publicó su obra *El origen de las especies*, donde propuso el mecanismo de la **selección natural**.

La selección natural

Darwin observó que dentro de cualquier población existen **diferencias entre individuos**. Algunos poseen características que les permiten sobrevivir con mayor facilidad en determinadas condiciones ambientales.

Actualmente sabemos que esta **variabilidad** tiene origen genético y se produce principalmente por mutaciones y la recombinación genética durante la reproducción sexual.

Sin variabilidad genética la evolución no sería posible.

Al mismo tiempo, es un hecho que los seres vivos producen más descendientes de los que el medio puede mantener. Los recursos, como el alimento, el agua o el espacio, son limitados. Como consecuencia, se establece una **competencia** por sobrevivir y reproducirse.

La **selección natural** consiste en que los individuos con características favorables para un determinado ambiente tienen más probabilidades de sobrevivir y dejar descendencia. Con el paso de las generaciones, esas **características se vuelven más frecuentes** en la población.

Hay que tener en cuenta que lo que define la característica más favorable no es la propia característica sino el contexto, el ambiente, en que se encuentra. De esta manera, los cambios en el ambiente modifican la validez de una determinada variante.

La capacidad de un organismo de transmitir sus genes a la siguiente generación, por tanto la medida de lo favorables que son sus características, se define mediante el **fitness** o **eficacia biológica**. Un organismo con alta eficacia biológica no tiene por qué ser el más fuerte, sino aquel que consigue dejar mayor descendencia fértil.

Equilibrio evolutivo: Lagartos de pared

En algunas especies, diferentes características pueden mantenerse de forma estable dentro de una misma población durante largos periodos de tiempo. Esto ocurre cuando varias estrategias de supervivencia presentan un **éxito reproductivo similar** o **fitness semejante**. A esta situación se la puede considerar un ejemplo de **equilibrio evolutivo**.

Un caso interesante es el del lagarto de pared (*Podarcis muralis*), una especie frecuente en la región mediterránea. En muchas poblaciones existen individuos con distintos colores de garganta: blancos, amarillos y naranjas. Cada uno de estos **morfos** presenta comportamientos y estrategias diferentes relacionadas con la alimentación, la defensa del territorio o la reproducción.

Durante millones de años, estos tres morfos coexistieron de forma estable porque ninguno tenía una ventaja definitiva sobre los demás. De este modo, la selección natural mantenía la diversidad dentro de la población.

Recientemente se ha observado la expansión de un nuevo tipo de lagarto, conocido popularmente como morfo “Hulk”. Estos individuos son más grandes y agresivos, lo que les proporciona ventaja en la competencia por el territorio y los recursos.

La agresividad de estos individuos ha modificado las relaciones sociales que permitían la coexistencia entre estrategias diferentes, alterando el equilibrio previo. Se ha producido la disminución o desaparición de los morfos amarillos y naranjas en algunas poblaciones o la dominancia del morfo blanco en otras.

Este caso muestra que la evolución no siempre es un proceso lento y gradual. Cuando aparece una característica que proporciona una ventaja importante, la composición de una población puede cambiar rápidamente.

El neodarwinismo o teoría sintética

Cuando Darwin formuló su teoría todavía se desconocía cómo funcionaba la herencia biológica. A comienzos del siglo XX, el redescubrimiento de las leyes de Mendel y el desarrollo de la genética permitieron completar la explicación evolutiva.

La unión entre la selección natural y la genética moderna dio lugar al **neodarwinismo o teoría sintética de la evolución**.

Según esta teoría, la variabilidad es fruto de las mutaciones y los procesos de recombinación genética. Sobre esta variabilidad actúa la selección natural con el triunfo de los organismos mejor adaptados. Así, la evolución consiste en **cambios en las frecuencias génicas** de una población.

Este último aspecto es fundamental. **La evolución no ocurre en individuos aislados, sino en poblaciones.**

Un ejemplo muy conocido de evolución, y de gran importancia en la salud humana, es la resistencia bacteriana a los antibióticos. Algunas bacterias poseen mutaciones que las hacen resistentes. Cuando se administra un antibiótico, las bacterias sensibles mueren y las resistentes sobreviven y se reproducen. Como consecuencia, la población termina estando formada mayoritariamente por bacterias resistentes.

Otros mecanismos evolutivos: la deriva genética

Además de la selección natural, existen otros mecanismos evolutivos. Eventos o sucesos aleatorios que alteran las frecuencias génicas de una población y que se engloban en el término **deriva genética**. Este fenómeno tiene especial importancia en poblaciones pequeñas ya que cambios en pocos individuos pueden suponer modificaciones grandes de las frecuencias.

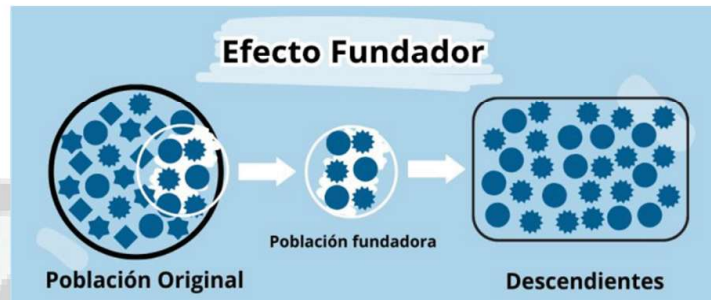
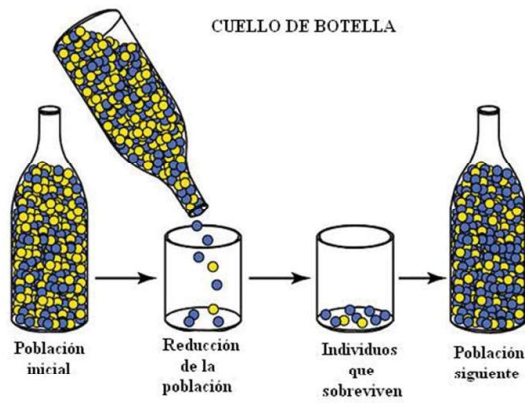
A diferencia de la selección natural, la deriva genética no depende de que un carácter sea más beneficioso, sino del **azar**. Decimos que son efectos estocásticos.

El cuello de botella

El efecto cuello de botella ocurre cuando una población reduce drásticamente su tamaño debido a una catástrofe, una epidemia o la actividad humana. Los individuos supervivientes conservan solo una parte de la variabilidad genética original, que puede no ser representativa de esta. Como consecuencia, la nueva población presenta menor diversidad genética y las frecuencias pueden estar alteradas.

El efecto fundador

El efecto fundador aparece cuando un pequeño grupo de individuos se separa de la población original y establece una nueva población aislada. Como los individuos fundadores solo poseen parte de la variabilidad genética inicial, la nueva población puede presentar diferencias importantes respecto a la original.



Los equilibrios puntuados

Tradicionalmente se pensaba que la evolución ocurría siempre de forma lenta y gradual. Sin embargo, Stephen Jay Gould y Niles Eldredge propusieron la teoría de los **equilibrios puntuados**.

Según esta propuesta, las especies pueden permanecer largos periodos de tiempo con pocos cambios evolutivos y experimentar posteriormente fases relativamente rápidas de transformación. Esta teoría ayuda a explicar algunos vacíos observados en el registro fósil, así como los grandes eventos de radiación evolutiva como la explosión del cámbrico.

Los equilibrios puntuados no contradicen la selección natural propuesta por Darwin, sino que plantean que **la velocidad de la evolución puede variar**.