

# Tema 5

# Evolución

22 de abril  
de 2025  
Fecha de modificación

## Mutaciones y evolución

### ÍNDICE de CONTENIDOS

1. Evolución
2. Parentesco evolutivo y árboles filogenéticos
3. Las pruebas de la evolución
4. Teorías evolutivas
5. Especiación

### CRITERIOS de EVALUACIÓN

ByG.1.16 Conocer las pruebas de la evolución. Comparar lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo

ByG.1.17 Comprender los mecanismos de la evolución destacando la importancia de la mutación y la selección. Analizar el debate entre gradualismo, saltacionismo y neutralismo

ByG.1.18 Interpretar árboles filogenéticos, incluyendo el humano

ByG.1.19 Describir la hominización.

### Evolución

"Cambios en el fenotipo y genotipo de las poblaciones a lo largo del tiempo"

**Evolución**  
del latín, hacia fuera  
del latín, dar vueltas  
La evolución [vocablo ex, que quiere decir 'hacia fuera', con la conjugación del verbo volver, que quiere decir 'dar vueltas' y el sufijo -ito, que significa acción y efecto] es el proceso de cambio de formas simples a formas complejas

### Árbol filogenético

"Representación gráfica del parentesco evolutivo de las especies"

**Filogenético**  
del latín, raza o tribu  
del latín, generar o producir  
del latín, relativo  
**Filogenético** [componentes léxicos son filo= 'raza o tribu', gen= producir o generar y -tico= relativo a] relativo al estudio del origen y desarrollo de los grupos taxonómicos

### Darwinismo

"Teoría evolutiva gradual y lenta debida a la selección natural"

**Darwinismo**  
del inglés, apellido del autor  
del griego, doctrina o defensa de ideas  
El darwinismo [Darwin = apellido del autor, -ismo = doctrina] es el conjunto de ideas que establecen que los individuos cambian por selección natural

### Selección natural

"Mecanismo evolutivo llevado a cabo por la naturaleza, que beneficia a los mejores adaptados"

**Selección**  
del latín, acción y efecto  
del latín, separar lo elegido  
La selección [del latín selectio, formado del prefijo separativo \*se- (separar), lectus (escogido) y el sufijo -tio (-ción = acción y efecto)]. Se refiere a la acción y efecto (-ción) de separar (se-) lo elegido (lectus).

## 0. Introducción

La biología está constituida sobre el conjunto de grandes ideas: teoría celular, teoría microbiana de la enfermedad, la teoría cromosómica y la teoría de la evolución.

- la **teoría celular** que concibe a la célula como la unidad viva autónoma más pequeña de la que están hechos todos los organismos y responde a la pregunta ¿de qué están hechos los organismos? Todos los organismos vivos tiene como unidad fundamental la célula
- la **teoría cromosómica** que pone de manifiesto que los genes se encuentra en los cromosomas y responde a la pregunta ¿por qué los descendientes se parecen a sus progenitores? Porque los progenitores tienen información genética de sus padres y la expresan
- la **teoría microbiana** de la enfermedad establece que los enfermedades infecciosas son provocadas por microorganismos específicos y responde a la pregunta ¿una amplia grupo de enfermedades son causas por microorganismos? Sí, la mayoría de las enfermedades son causadas por microorganismo
- la **teoría de la evolución** que tiene como objetivo aclarar ¿por qué las especies cambian con el tiempo y contesta a la pregunta ¿de dónde vinieron las especies? La respuesta la encontrarás dentro de este tema

### Biblioteca de BIOLOGÍA

Todo lo que sabemos sobre la biología

Teoría CELULAR  
Teoría EVOLUCIÓN  
Teoría GENÉTICA  
Teoría CROMOSÓMICA  
DOGMA CENTRAL  
Teoría MICROBIANA de la ENFERMEDAD

### MÉTODO CIENTÍFICO

ha permitido dar explicaciones generales de observaciones o fenómenos biológicos que reciben el nombre de teorías

Todo lo que sabemos de la biología se recoge en seis teorías (explicación general de una observación o fenómeno) que reciben el nombre pilares fundamentales de la biología

# 1. La evolución

"La **evolución biológica** es el **proceso de cambio** en los **fenotipos** —características observables resultado de la interacción entre el **genotipo** y el **ambiente**— de una **población de organismos** a lo largo de generaciones, a partir de un ancestro común"

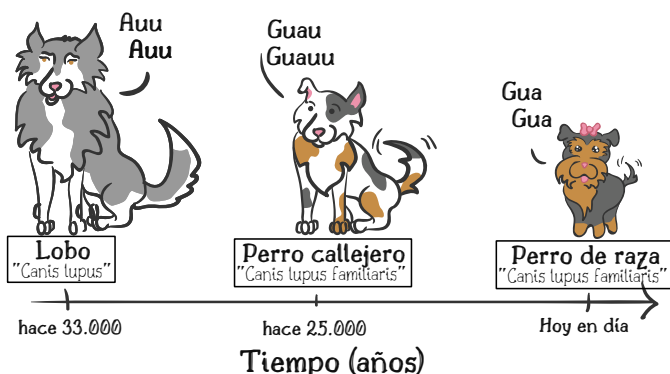
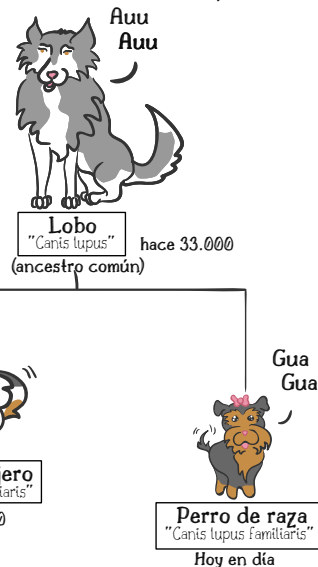
1 Ejercicio resuelto. Muchos libros cambian la definición original (la de toda la vida, que es la correcta) por esta otra. ¿Ves en qué se diferencian?

"La evolución biológica es el proceso de cambio en los fenotipos —características observables resultado de la interacción entre el genotipo y el ambiente— de una **especie** a lo largo de generaciones, a partir de un ancestro común"

Al sustituir la palabra **población de organismos** por **especies** permite poner ejemplos fácilmente entendibles como puede ser la evolución del perro a partir de su ancestro común, el lobo.

La evolución del perro comenzó hace alrededor de 33.000 años en el sureste de Asia, cuando los humanos comenzaron a domesticar (el obedecer órdenes) y criar a los lobos con rasgos deseables (docilidad, habilidades de caza). Con el tiempo, estos lobos domesticados dieron lugar a los perros modernos gracias a la selección natural y a la selección artificial que permitió dotarles de características únicas y distintivas que los hacen adecuados para diferentes tareas y roles en la sociedad

TODOS ENTIENDEN QUE "PERROS VIENEN DE LOBOS", AUNQUE BIOLÓGICAMENTE SEA MÁS PRECISO DECIR "ALGUNAS POBLACIONES DE LOBOS DIERON LUGAR A PERROS"



Te preguntarán "Entonces ¿cuál me tengo que estudiar, maestro?", Te tienes que estudiar la primera definición dada, la que hace referencia a la población. El motivo se debe a que lo que evoluciona es la población y no el individuo (ya lo entenderás en los próximos capítulos ¿o creías que te iba a explicar la evolución en tres párrafos, bro?)

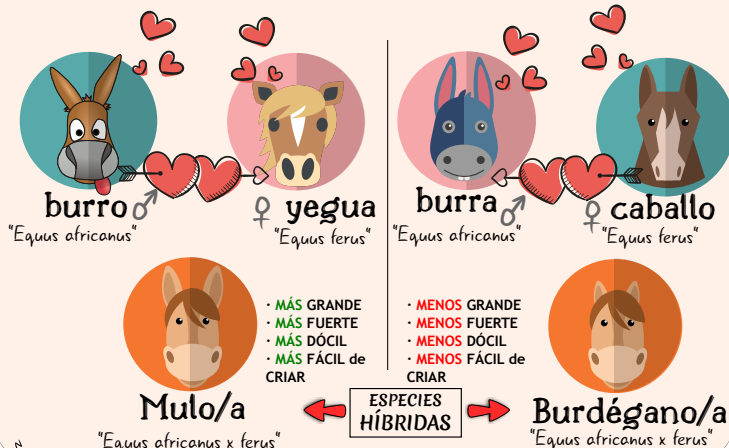
## 1.1 Concepto de especie y población

A continuación, te explico el concepto de especie y población.

La **especie biológica** es el conjunto de organismos que (1) presentan características semejantes (**morfológicas, fisiológicas y etológicas**), (2) se reproducen entre sí y (3) tienen descendencia fértil.

Así pues, si no cumple con alguna de las tres características; entonces son especies distintas. Por ejemplo, el burro ("Equus asinus") y el caballo ("Equus equus") son especies distintas, porque al cruzarlos entre sí su descendencia es infértil (no pueden tener hijos).

"El amor está en el aire"



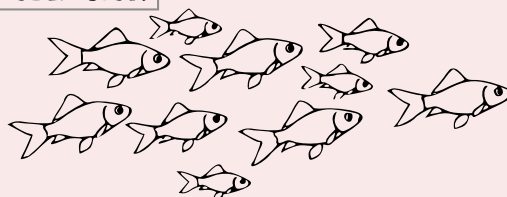
La **población biológica** es el conjunto de organismos que (1) pertenecen a una misma especie, (2) interactúan entre sí, y (3) habitan un área geográfica en un tiempo determinado.

INDIVIDUO



"Individuo de una especie"

POBLACIÓN



"Conjunto de individuos de una misma especie que viven en lugar y en un tiempo determinado"

Maestro, ¿nos puedes explicar lo de 'ancestro'?

La teoría de la evolución postula que toda la vida en la Tierra desciende de un **único ancestro común** (hipótesis del Único Antepasado Común Universal, LUCA, por sus siglas en inglés) que vivió hace unos 3.500-4.000 millones de años. Esto significa que, aunque las especies sean muy diferentes hoy, están unidas por una historia evolutiva compartida.

## 2. Parentesco evolutivo y árboles filogenéticos

Todos los seres vivos comparten un **antepasado común** (= ancestro) y, por lo tanto, tienen cierto grado de parentesco evolutivo. La medida del parentesco evolutivo se basa en la similitud de los **rasgos físicos, bioquímicos o genéticos** de los organismos.

### 2.1 Parentesco evolutivo

El **parentesco evolutivo** es el grado de semejanzas/ diferencias en los rasgos anatómicos, fisiológicos y genéticos (medir la cantidad de ADN compartido por los dos organismos) entre dos organismos.

A **mayor grado de semejanzas** en los rasgos anatómicos, fisiológicos y genéticos entre dos organismos, **mayor parentesco evolutivo**. Esto se debe a que comparten un ancestro común más reciente. Por ejemplo, el ser humano (*Homo sapiens*) y el chimpancé (*Pan troglodytes*) son especies muy emparentadas, pues comparten sobre el 98.7% de su ADN y presentan homologías anatómicas, como una estructura ósea similar en las manos (incluyendo el pulgar oponible). Estas semejanzas indican que su último ancestro común vivió hace unos 6-7 millones de años.

A **menor grado de semejanzas** en los rasgos anatómicos, fisiológicos y genéticos entre dos organismos, **menor parentesco evolutivo**. Así pues, las especies **no emparentadas** (especies alejadas), comparten un ancestro común, pero más alejado. Por ejemplo, los humanos y ratones (*Mus musculus*) comparten ~85% de su ADN y tienen estructuras óseas similares (como los cinco dedos), pero su ancestro común es mucho más antiguo (~75 millones de años). Esto refleja un parentesco evolutivo menor que en el caso de humanos y chimpancés.

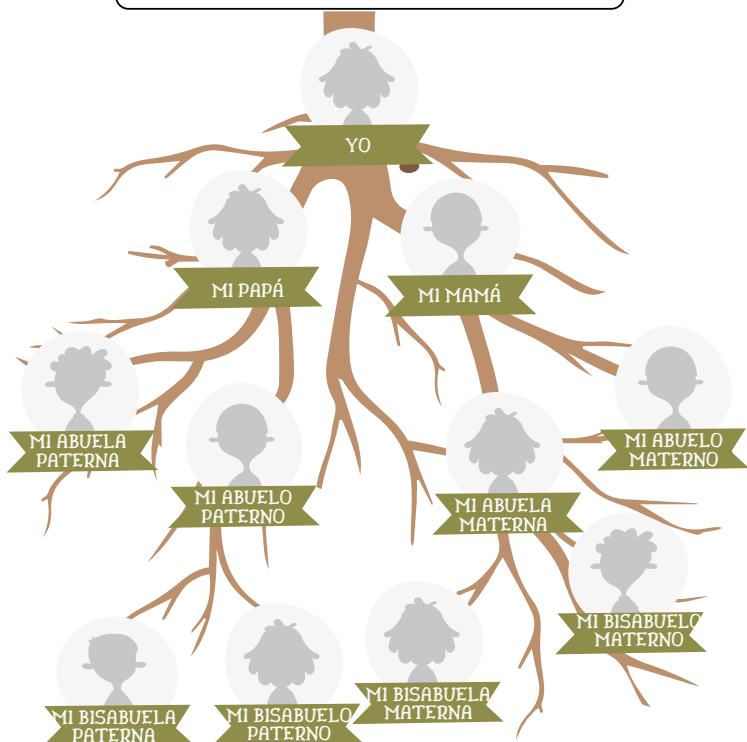
### 2.2 Árboles filogenéticos

Los **árboles filogenéticos** son representaciones gráficas, en forma de árbol, de la historia y relaciones parentesco evolutivo entre diferentes especies (actuales o extintas); por tanto, se usan para mostrar el grado de parentesco evolutivo entre las diferentes especies.

Hay que entender que los **árboles filogenéticos** son las mejores hipótesis posibles (y no hechos definitivos) del grado de parentesco entre las especies, pues la ciencia cada día avanza y los nuevos datos pueden incorporar nuevas especies.

### MI ÁRBOL GEANOLÓGICO

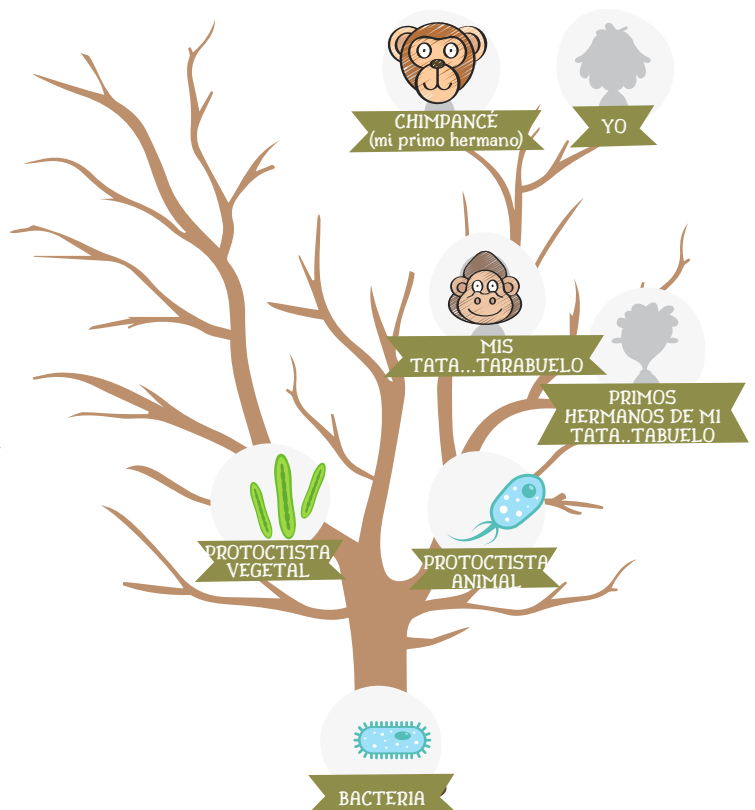
Un árbol genealógico muestran los parentescos que existen en un grupo familiar.



VS

### MI ÁRBOL FILOGENÉTICO

Un árbol filogenético muestran los parentescos que existen en un grupo especies distintas, pero relacionadas



# Cómo se interpretan los árboles filogenéticos.

Los árboles filogenéticos están compuesto por:

- **Ramas** (líneas rectas o curvas): Representan los linajes evolutivos a través del tiempo.

Puedes pensar en un linaje como el recorrido específico que sigues al moverte por las ramas conectadas del árbol, principalmente en la dimensión vertical que representa el tiempo, ya sea hacia el pasado (hacia la raíz) o hacia el presente (hacia las puntas). Por ejemplo, si sigues la línea que une la especie A y sigues la línea hacia abajo (hacia la raíz del árbol), estás recorriendo su linaje hacia atrás en el tiempo, pasando por sus ancestros comunes más recientes (primero  $\alpha$ , luego  $\omega$ , luego  $\gamma$ ).

- **Nodos** (puntos de ramificación): Representan el ancestro común más reciente, que en nuestro ejemplo son  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\omega$ . Sería un evento de **divergencia** o **especiación**, donde un linaje ancestral se dividió para dar origen a dos o más linajes descendientes.

Por ejemplo, el nodo  $\alpha$  es el antecesor común de las especies A y B. El nodo  $\omega$  es el antecesor de las especies A, B, C y D.

- **Puntas de las ramas**: Representan la especies actuales bajo estudio

En el ejemplo, son A, B, C, D y E. Generalmente se colocan en el presente o en su punto de extinción.

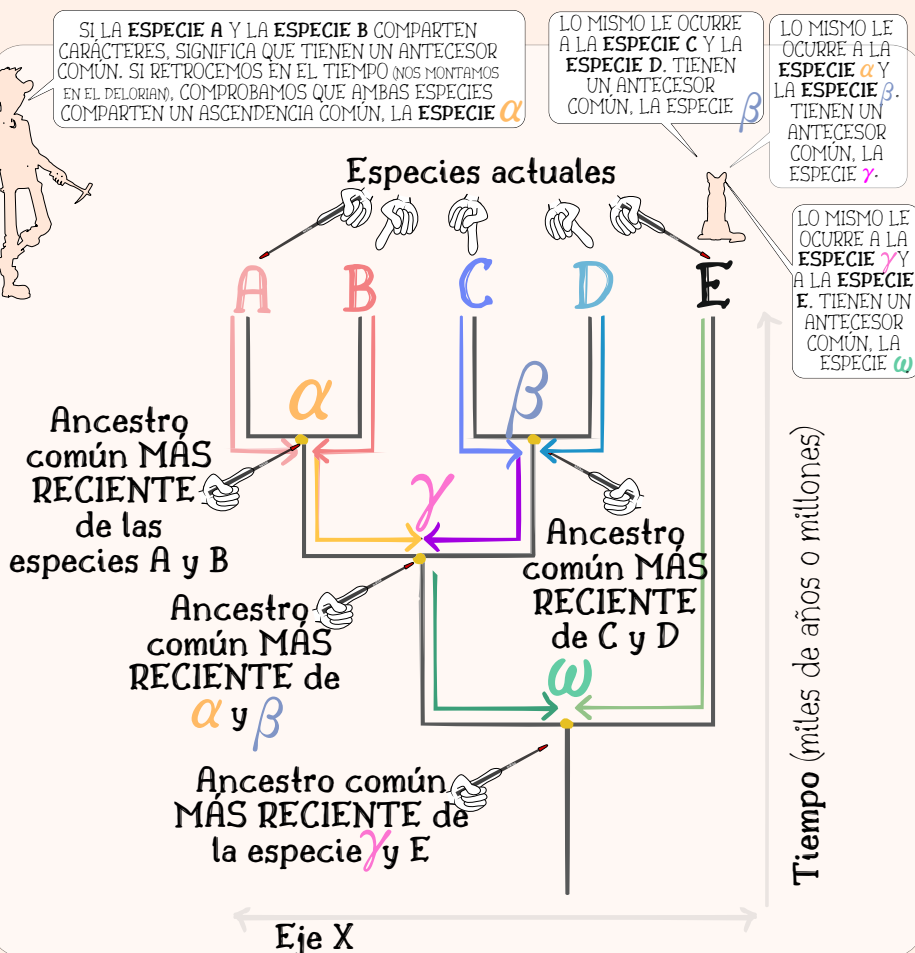
- **Raíz**: Es el nodo más basal del árbol (nodo  $\omega$  en el ejemplo), representa el antecesor más reciente de todas las especies incluidos en ese árbol específico

El nodo  $\omega$  es el ancestro común más reciente de todas las especies en el árbol (A, B, C, D y E).

- **Eje Y o temporal**. Si existe, representa el tiempo en miles o millones de años (ma). Permite estimar cuándo ocurrieron las divergencias y la edad de los ancestros comunes. El tiempo fluye desde la raíz (pasado más lejano) hacia las puntas de las ramas (presente o tiempo más reciente)

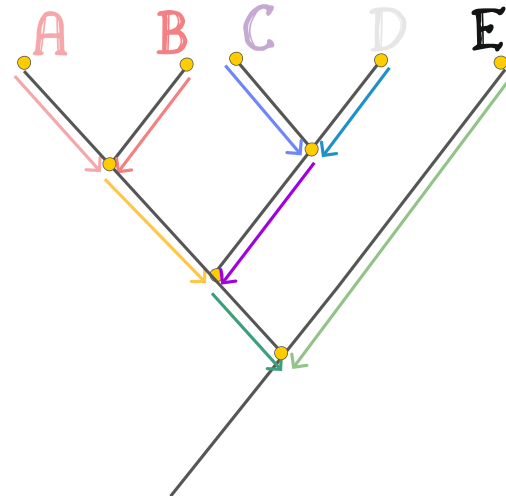
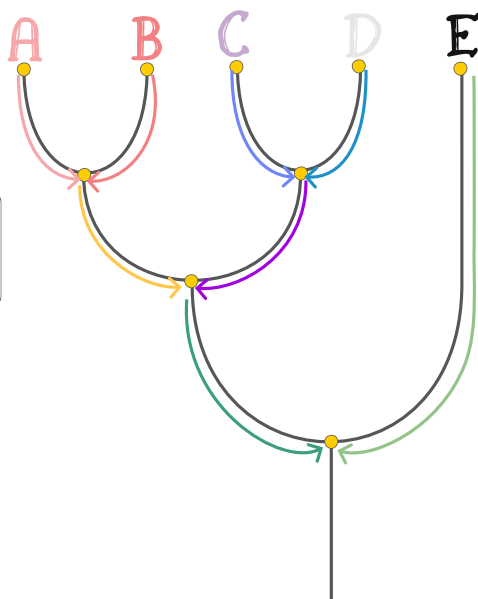
La longitud de la rama representa una escala del tiempo, cuanto más larga mayor tiempo

- **Eje X**. Distribuye las ramas y nodos de manera horizontal para evitar superposiciones y facilitar la lectura del árbol. La posición relativa de las especies en este eje **no indica parentesco**, tiempo o similitud.



EL ÁRBOL DE ARRIBA PUEDE REPRESENTAR DE ESTAS DOS FORMAS: CON LÍNEAS RECTAS Y LÍNEAS CURVAS

VAMOS, UN ESTILO VISUAL DISTINTO QUE TRANSMITE LA MISMA INFORMACIÓN EVOLUTIVA

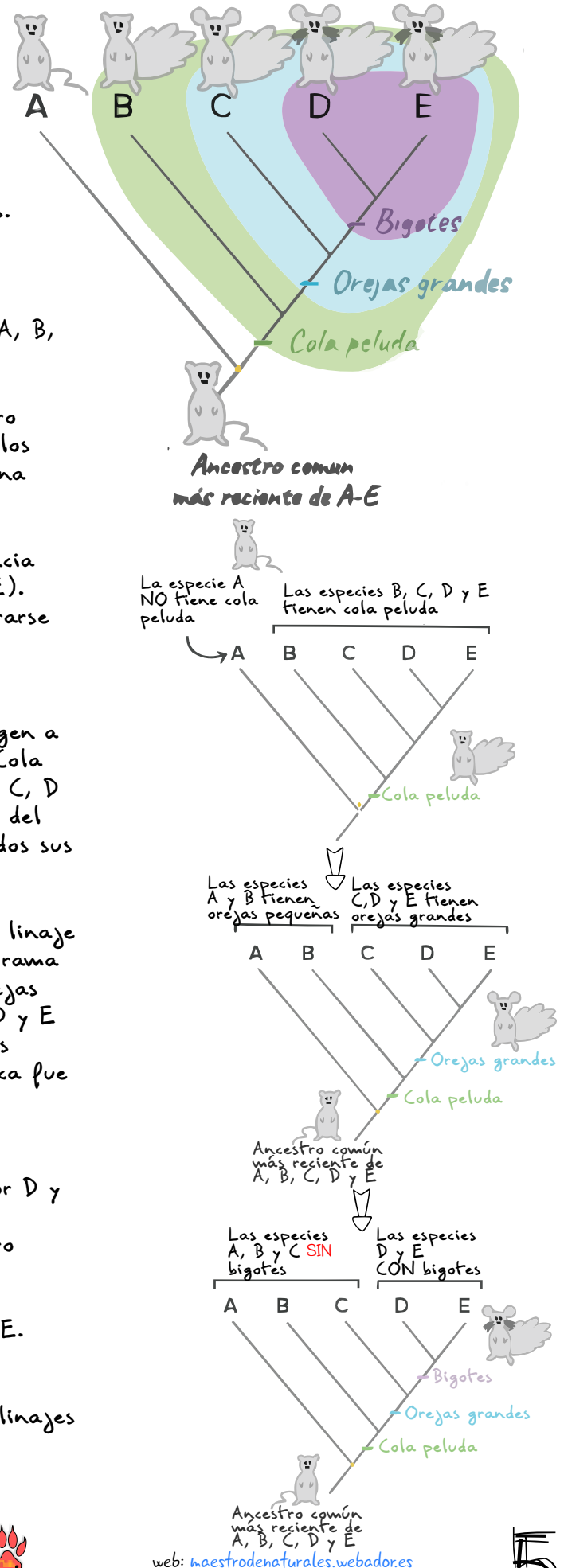


## 2 Ejercicio resuelto. A continuación, se muestra un árbol filogenético de la evolución de la ardilla. Coméntala

Este árbol filogenético ilustra cómo las ardillas han evolucionado desde un ancestro común, adquiriendo características que se acumulan progresivamente. También permite observar qué especies están más estrechamente relacionadas entre sí según los rasgos compartidos.

La evolución de estas supuestas "ardillas" (representadas por los linajes A, B, C, D y E) de la siguiente manera:

- 1. Ancestro Común:** El árbol comienza con un "Ancestro común más reciente de A-E". Esto indica que todos los linajes mostrados (A, B, C, D y E) descienden de una única población ancestral que existió en el pasado.
- 2. Divergencia Temprana:** El primer evento de divergencia importante separa al linaje A del resto (B, C, D, E). Esto sugiere que el linaje A fue el primero en separarse del tronco principal, lo que lo convierte en el más distante evolutivamente de los otros cuatro grupos.
- 3. Aparición de la "Cola Peluda":** En la rama que da origen a los linajes B, C, D y E, aparece la característica "Cola peluda". Esto significa que el ancestro común de B, C, D y E desarrolló una cola peluda después de separarse del linaje A, y esta característica fue heredada por todos sus descendientes.
- 4. Aparición de las "Orejas Grandes":** Posteriormente, el linaje B se separa del grupo formado por C, D y E. En la rama que lleva a C, D y E, aparece la característica "Orejas grandes". Esto indica que el ancestro común de C, D y E (que ya tenía cola peluda) desarrolló orejas grandes después de separarse del linaje B. Esta característica fue heredada por C, D y E.
- 5. Aparición de los "Bigotes":** El siguiente evento de divergencia separa al linaje C del grupo formado por D y E. En la rama que lleva a D y E, aparece la característica "Bigotes". Esto sugiere que el ancestro común de D y E (que ya tenía cola peluda y orejas grandes) desarrolló bigotes después de separarse del linaje C. Esta característica fue heredada por D y E.
- 6. Divergencia Final:** Finalmente, los linajes D y E se separan de su ancestro común más reciente. Ambos linajes conservan las características de cola peluda, orejas grandes y bigotes.



### 3. Las pruebas de la evolución

Las **pruebas de la evolución** son todos aquellos hechos e indicios que sustentan la idea de evolución biológica y provienen de muchas áreas diferentes de la ciencia, pero fundamentalmente de la biología y la geología. Cada una de las pruebas de la evolución aporta su grano de arena para confirmar que la evolución es un hecho irrefutable. ¿Cuáles son esas pruebas? Son las pruebas anatómicas, pruebas paleontológicas, pruebas biogeográficas, pruebas embriológicas y pruebas moleculares.

#### 3.1 Pruebas anatómicas (= comparación de órganos)

Las **pruebas anatómicas** son evidencias de la evolución que comparan la estructura y función de los órganos entre distintas especies. Para ello, se analizan aspectos como el tamaño, la forma, la posición y la estructura interna de los órganos, así como su función. Estas comparaciones permiten establecer relaciones de parentesco evolutivo entre especies actuales y extintas:

A **mayor grado de semejanzas anatómica y fisiológica** entre dos organismos indica un **parentesco evolutivo cercano**, lo que sugiere que comparten un **ancestro común reciente**.

A **menor grado de semejanzas anatómica y fisiológica** implica un **parentesco evolutivo distante**, señalando un **ancestro común más antiguo**.

Hay tres tipos de órganos que se comparan: homólogos, análogos y vestigiales

**Los órganos homólogos** presentan una misma estructura interna, pero una forma y función distinta. Del estudio de los órganos homólogo podemos inferir su grado de parentesco y cómo evolucionaron.

##### GRADO de PARENTESCO

A **mayor grado de semejanzas** de las rasgos anatómicas y fisiológicas entre dos organismos, **mayor parentesco evolutivo**. Así pues, las especies emparentadas (especies próximas), comparten un ancestro común reciente

Por ejemplo, las extremidades de los tetrápodos, como las aletas de delfín, las patas del caballo y brazos humanos presentan una misma estructura interna, pero una forma y función distinta (nadar, trotar, andar) distintas. Soluciones óptimas distintas

##### TIPO de EVOLUCIÓN

La presencia de órganos homólogos en especies emparentadas, apoya la idea de evolución por divergencia adaptativa, según la cual un órgano primitivo modifica su morfología para adaptarse a las diferentes condiciones ambientales. Digamos que la naturaleza adopta distintas soluciones, ante distintos tipos de circunstancias ambientales; es decir, los organismos evolucionan hacia formas distintas en respuesta a los distintos cambios en el medio ambiente.

**Los órganos análogos** presentan una distinta estructura interna, pero una misma forma que le permite realizar una misma función. Por ejemplo, las alas de murciélagos, insectos y pájaros presentan distinta estructura interna, pero una misma función que es volar. De su estudio, nos indica una evolución convergente, no parentesco

##### TIPO de EVOLUCIÓN

La **evolución convergente** ocurre cuando **especies no emparentadas** desarrollan **características similares** de forma independiente, al adaptarse a ambientes o desafíos ecológicos parecidos.

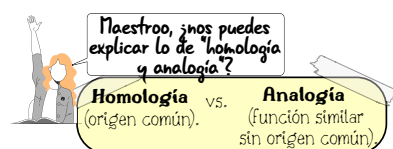
Por ejemplo, las alas de los murciélagos, pájaros e insectos son **órganos análogos**, pues cumplen una función similar (volar), pero tienen estructuras internas distintas y orígenes evolutivos diferentes.

- Las **alas de los murciélagos** son membranas de piel (patagio) extendidas entre sus dedos
- Las **alas de los insectos** están formadas una membrana quitinosa (parte del exoesqueleto) cubierta de escamas
- Las **alas de los pájaros** son huesos, músculos y plumas

Otros ejemplos,

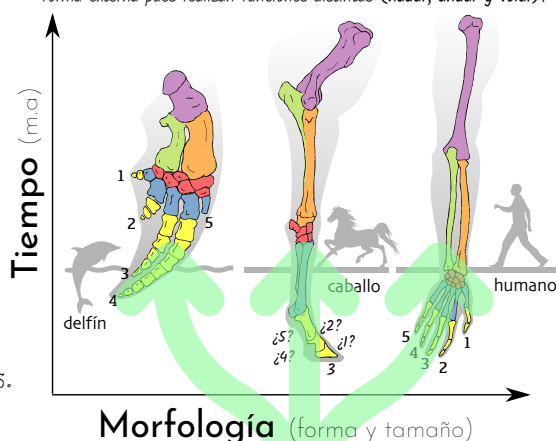
1) Aletas de tiburón (pez) y delfín (mamífero): Ambos nadan, pero las aletas del tiburón son de cartílago, mientras que las del delfín son modificaciones de sus extremidades.

2) Ojos de pulpo y humanos: Ambos ven, pero sus estructuras ópticas evolucionaron de manera independiente



#### ÓRGANOS HOMÓLOGOS

Órganos con misma estructura interna (huesos extremidades), pero distinta forma externa pues realizan funciones distintas (nadar, andar y volar).



#### ÓRGANOS ANÁLOGOS

Órganos con una parecida forma externa pues realizan mismas funciones distintas (volar).





Los **órganos vestigiales** son estructuras que han perdido su función original (ya no es relevante para la supervivencia del organismo) a medida que la especie ha evolucionado, pero persisten en los organismos como "restos" de ancestros que sí las utilizaban. Son una prueba clave de la evolución, ya que reflejan cambios adaptativos en las especies.

**GRADO de PARENTESCO** Las estructuras vestigiales son evidencias clave de ancestros comunes entre especies. Su presencia refleja una herencia compartida con organismos que, en el pasado, dependían de dichas estructuras para funciones específicas.

Por ejemplo, las ballenas poseen pelvis y fémures reducidos, vestigios de sus antepasados terrestres cuadrúpedos. Estas características, aunque no cumplen un propósito locomotor en un medio acuático, confirman su parentesco evolutivo con mamíferos terrestres. Así, estas estructuras actúan como "huellas" anatómicas que vinculan a especies modernas con linajes ancestrales.

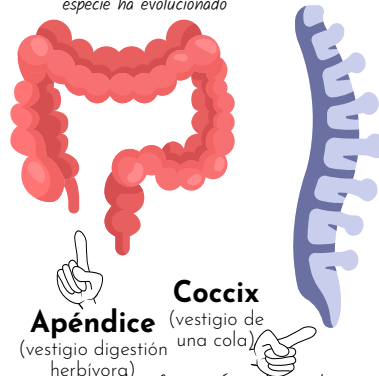
**TIPO de EVOLUCIÓN** La evolución de órganos vestigiales suele implicar la reducción o pérdida de su función original, ya que dejan de ser esenciales para la supervivencia bajo nuevas condiciones ambientales.

Por ejemplo,

- El apéndice humano, que en herbívoros ayuda a digerir celulosa, pero en humanos carece de función digestiva.
- El cóccix, remanente de una cola ancestral, sirve como soporte para ligamentos y músculos pélvicos. Este proceso ilustra cómo la selección natural no elimina necesariamente rasgos inútiles, sino que a veces los redefine o los mantiene si no representan un costo adaptativo significativo

## ÓRGANOS VESTIGIALES

Órganos que han perdido su función original a medida que la especie ha evolucionado



### 3.2 Pruebas paleontológica (= comparación de los fósiles)

Las **pruebas paleontológicas** son evidencias de la evolución que comparan los fósiles entre distintas especies extintas y las actuales. Estas pruebas permiten:

- Establecer grados de parentesco evolutivo entre especies del pasado y las actuales.
- Determinar no solo qué especies han experimentado cambios, sino también cuándo surgieron, cómo evolucionaron y qué relaciones filogenéticas las vinculan.

**GRADO de PARENTESCO** Del estudio del registro fósil se derivan dos conclusiones clave:

- Las especies cambian a lo largo del tiempo.
- Este cambio ocurre de manera progresiva (no abrupta).

**TIPO de EVOLUCIÓN** Las pruebas fósiles demuestran que la evolución es gradual (también llamada darwiniana), un modelo que propone cambios acumulativos y progresivos en las especies a lo largo del tiempo. Este tipo de evolución se sustenta en dos pilares clave del registro fósil:

- Secuencias de fósiles que muestran cambios graduales y progresivos en una línea evolutiva a lo largo del tiempo geológico (= serie filogenéticas continuas)

Por ejemplo,

- El caso de los équidos (desde Hyracotherium hasta el caballo moderno) muestra anagénesis: cambios acumulativos dentro de un mismo linaje. Los fósiles revelan una tendencia progresiva en la reducción de dedos (de 4 a 1), el alargamiento de las extremidades y la adaptación a ambientes abiertos (praderas sustituyendo bosques).

- Fósiles de transición que presentan características anatómicas intermedias entre dos grupos evolutivos distintos. Esto se debe a las adaptaciones funcionales en su contexto.

Por ejemplo,

- El Archaeopteryx es un fósil de transición que evidencia la evolución gradual entre grupos distintos (reptiles → aves). Su mezcla de rasgos (dientes de reptil + plumas de ave) demuestra que los cambios evolutivos no son abruptos, sino que ocurren mediante modificaciones intermedias y funcionales



Pico  
Dientes

Esternón cartilaginoso

Pulgar oponible

**Archaeopteryx**, forma intermedia entre un ave y un reptil

### 3.3 Pruebas embrilógicas (=comparación de los embriones)

Las **pruebas embrilógicas** son evidencias de la evolución que se basan en comparar las etapas del desarrollo embrionario de distintas especies. Para ello, se analizan las semejanzas y diferencias morfológicas que presentan los embriones durante su formación.

→ **GRADO de PARENTESCO** El momento en que surgen las diferencias entre embriones permite inferir el parentesco entre especies. ¿Cuándo ocurren esas diferencias?

- **Diferencias tardías.** Si las divergencias morfológicas aparecen en etapas avanzadas del desarrollo, se deduce un mayor parentesco evolutivo (mayores semejanzas genéticas).
- **Diferencias tempranas.** Si las diferencias aparecen en las fases iniciales, sugiere un parentesco menor.

Esto se ejemplifica en los vertebrados: mientras las hendiduras branquiales se transforman en branquias en peces, en otros grupos (como mamíferos o aves) derivan en estructuras como pulmones u órganos auditivos. Así, la proximidad evolutiva entre especies se correlaciona con la conservación de rasgos embrionarios en fases iniciales.

→ **TIPO de EVOLUCIÓN** Las pruebas embrilógicas evidencian una evolución divergente a partir de un antepasado compartido, donde el ambiente actúa como moldeador de las trayectorias evolutivas.

Haeckel resumió esta relación con la frase: "La ontogenia (desarrollo embrionario) refleja la filogenia (historia evolutiva)". Sin embargo, usó el verbo "refleja" y no "es igual que" porque el desarrollo embrionario no replica exactamente la evolución, sino que está influenciado por adaptaciones al ambiente. Factores externos, como presiones selectivas o cambios ecológicos, pueden modular las etapas embrionarias, generando variaciones que explican por qué organismos con ancestros comunes divergen.

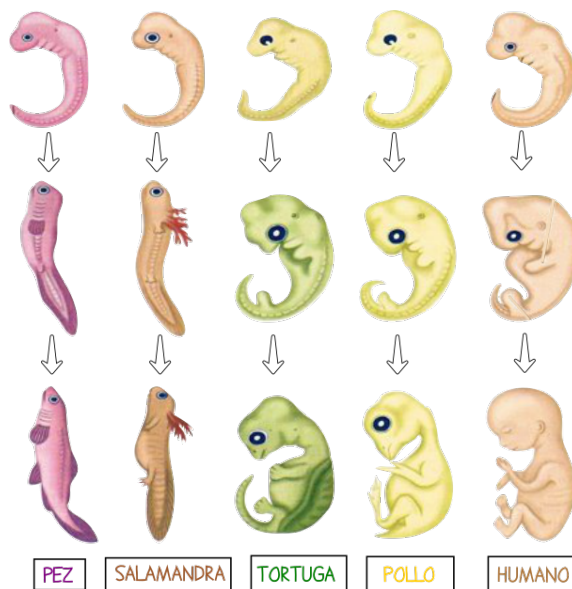


Maestro, ¿hay alguna relación entre el fenotipo y genotipo?

Si, es importante aclarar que las similitudes morfológicas embrionarias reflejan genes y mecanismos de desarrollo compartidos (como genes reguladores del plan corporal).

#### EMBRIONES de VERTEBRADOS

El desarrollo embrionario (ontogenia) refleja el desarrollo evolutivo (filogenia)". ¿Por qué en la frase anterior aparece el verbo



### 3.4 Pruebas biogeográficas (= comparación lugar donde viven)

Las **pruebas biogeográficas** son evidencias de la evolución que se basa en la idea de que las especies que comparten un ancestro común tienden a encontrarse en áreas geográficas cercanas o en zonas que estuvieron conectadas en el pasado. Esto da lugar a varios patrones clave.

1. **Relación entre proximidad geográfica y parentesco:** Por lo general, las especies que habitan áreas geográficas cercanas suelen estar más estrechamente emparentadas entre sí que las que viven en regiones distantes. Esto se debe a que la dispersión desde un ancestro común suele estar limitada por barreras geográficas como montañas, océanos o desiertos. Un ejemplo claro de este patrón es la distribución de los *metaterios* (marsupiales).

2. **Especies emparentadas en continentes separados:** La existencia de especies o grupos estrechamente relacionados en continentes hoy distantes constituye una fuerte evidencia de que esas masas terrestres estuvieron unidas en el pasado geológico, un fenómeno conocido como deriva continental. Las especies ancestrales habitaron el supercontinente antes de su fragmentación; al separarse los continentes, las poblaciones quedaron aisladas y evolucionaron de forma independiente en cada región. Un ejemplo claro de este patrón es la distribución de los *camelidos*.



# Pruebas biogeográficas

## Distribución de los metameridos

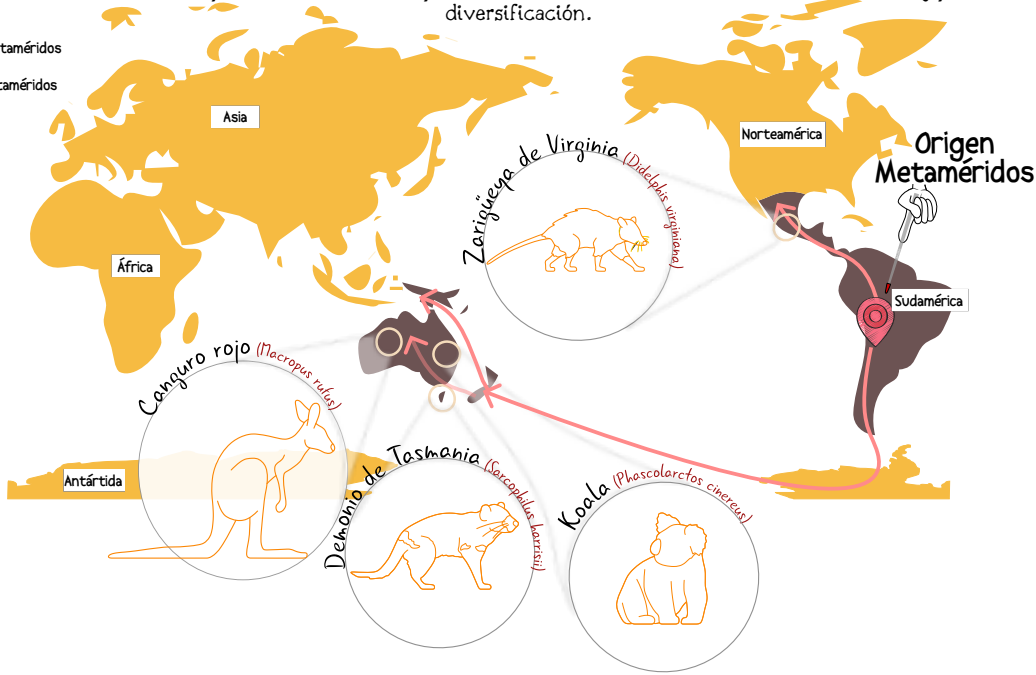
En Chile hace 65 m.a aparecen los primeros ancestros de los marsupiales (grupo metatheria). Desde allí

Un pequeño grupo se migró hacia el norte, llegando al norte de Venezuela (pues, por aquel entonces, Norteamérica y Suramérica estaban separadas). Mucho más tarde, hace 2 m.a. se forma el puente del Istmo de Panamá y los marsupiales pudieron cruzar hacia Norteamérica llegando hasta México.

Otro pequeño grupo se desplazó hacia el sur llegando a la Antártida y Australia (pues, por aquel entonces, Sur América-Antártida y Australia estaban juntas). Pero hace 50 m.a, algo ocurrió: Australia se separa de Antártida quedándose aislada. Los marsupiales australianos, al no tener competencia de mamíferos placentarios, se extendieron a todos los ecosistemas y permitió su gran diversificación.

Leyenda:

- No hay metameridos
- Sí hay metameridos

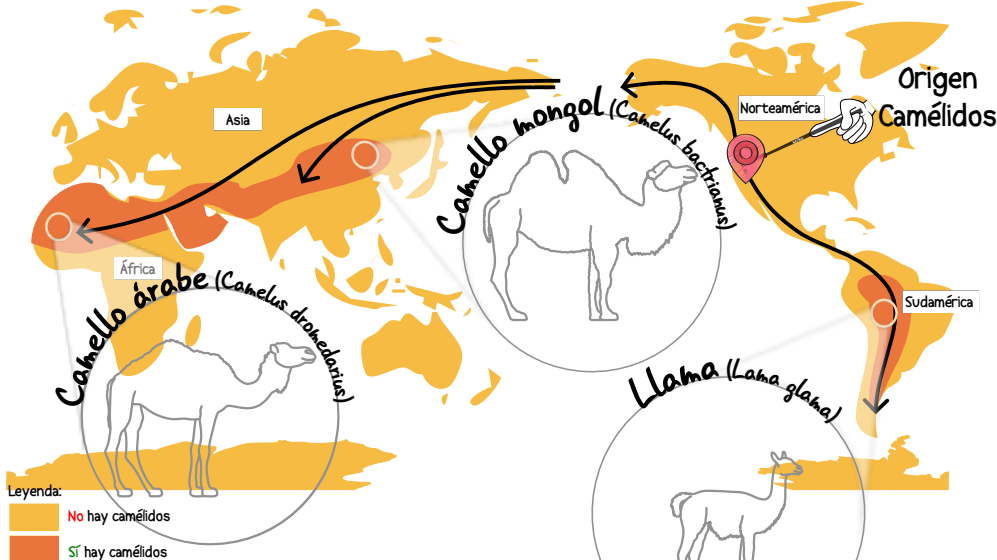


## Distribución de los camélidos

En Norteamérica hace 45 m.a aparecen primeros ancestros de los camellos (grupo camélidos). Desde allí:

Un grupo de camélidos emigraron hacia Alaska, atravesaron el estrecho de Bering llegando a Asia. Hubo un momento donde ese grupo se separó en dos (diversificaron): uno se quedó en Mongolia (camello mongol) y el otro tomó rumbo a Oriente Medio y, por fin, a África (camello árabe o dromedario).

Otro grupo emigró hacia el sur pasando por México, Centroamérica hasta llegar a Sudamérica (llama).



Leyenda:

- No hay camélidos
- Sí hay camélidos

### 3.5 Pruebas moleculares (= comparación de las moléculas)

Las pruebas moleculares son evidencias de la evolución que comparan ciertas moléculas comunes a todos los seres vivos, como el ADN (sus nucleótidos) y las proteínas (formadas por aminoácidos).

Estas moléculas son más similares entre especies que están evolutivamente más próximas, y presentan mayores diferencias cuanto más alejadas están en su historia evolutiva..

El **ADN** y las **proteínas** son elegidas como moléculas comparativas porque **se encuentran en todos los seres vivos**. Debido a esta universalidad, es posible comparar estas moléculas entre distintas especies, lo que permite a los científicos reconstruir relaciones evolutivas, identificar ancestros comunes y entender cómo ha ocurrido la diversificación de la vida a lo largo del tiempo.

# Pruebas moleculares

## Pruebas proteínas

Si comparamos la proteína (su secuencia de aminoácidos) del citocromo c entre especies, encontramos diferencias entre ellos. Y podemos concluir que:  
 A **menor** número de diferencias, **mayor** parentesco evolutivo.  
 A **mayor** número de diferencias, **menor** parentesco evolutivo.

El citocromo humano y la del chimpancé se parecen un 99,9 %.

¡Sólo nos diferenciamos un 0,1 %!

**Organismos (Fila y Columna):** Hombre, Mono, Cerdo, Caballo, Perro, Conejo, Canguro, Pollo, Pato, Serpiente de cascabel, Tortuga, Atún, Levadura.

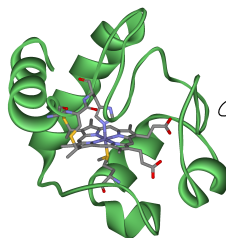
**Traits (Encabezado de Columna):** 0, 1, 0, 10, 9, 0, 12, 11, 3, 0, 11, 10, 3, 6, 0, 9, 8, 4, 6, 5, 0, 10, 11, 6, 7, 7, 6, 0, 11, 12, 9, 11, 10, 8, 12, 0, 11, 10, 8, 10, 8, 6, 10, 3, 0, 11, 15, 20, 22, 21, 18, 21, 19, 17, 0, 15, 14, 9, 11, 9, 9, 11, 8, 7, 22, 0, 21, 21, 17, 19, 18, 17, 18, 17, 17, 26, 18, 0, 45, 45, 45, 46, 45, 45, 46, 46, 46, 47, 49, 47, 0.

**Comparación Visual:** VS.

**Humanos (Humanos):** 0, 1, 0, 10, 9, 0, 12, 11, 3, 0, 11, 10, 3, 6, 0, 9, 8, 4, 6, 5, 0, 10, 11, 6, 7, 7, 6, 0, 11, 12, 9, 11, 10, 8, 12, 0, 11, 10, 8, 10, 8, 6, 10, 3, 0, 11, 15, 20, 22, 21, 18, 21, 19, 17, 0, 15, 14, 9, 11, 9, 9, 11, 8, 7, 22, 0, 21, 21, 17, 19, 18, 17, 18, 17, 17, 26, 18, 0, 45, 45, 45, 46, 45, 45, 46, 46, 46, 47, 49, 47, 0.

**Chimpances (Chimpances):** 0, 1, 0, 10, 9, 0, 12, 11, 3, 0, 11, 10, 3, 6, 0, 9, 8, 4, 6, 5, 0, 10, 11, 6, 7, 7, 6, 0, 11, 12, 9, 11, 10, 8, 12, 0, 11, 10, 8, 10, 8, 6, 10, 3, 0, 11, 15, 20, 22, 21, 18, 21, 19, 17, 0, 15, 14, 9, 11, 9, 9, 11, 8, 7, 22, 0, 21, 21, 17, 19, 18, 17, 18, 17, 17, 26, 18, 0, 45, 45, 45, 46, 45, 45, 46, 46, 46, 47, 49, 47, 0.

Proteína del  
citocromo c con  
104 aminoácidos



**Humano**

VS.



Chimpancé

**Chimpancé**

# Pruebas ADN

Si **comparamos** el **gen** (su secuencia de nucleótidos) que codifica la hormona **leptina** del **ser humano y el chimpancé**, encontramos **sólo cinco diferencias** en 250 nucleótidos.



**Humano**

Human

VS.

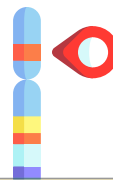


**Chimpancé**

**Chimpancé**

La leptina humana y la del chimpancé se parecen un 98 %.  
¡Sólo nos diferenciamos un

Gen de la leptina  
con 250  
nucleótidos



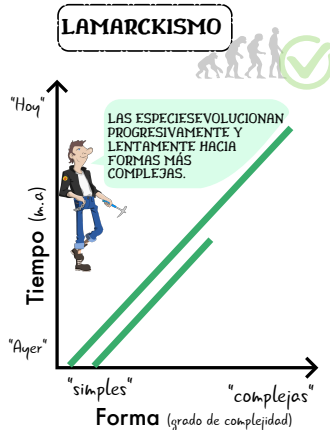
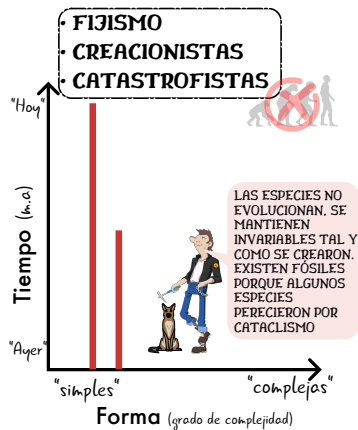
GTGCCCATCCAAAAAGTCCAGAGATGACACCCAAAAACCCCTCATCAAGACAATTGTCACCAAGG  
ATCAATGACATTTTCACACACGCGAGTCAGTCTCCTCCAAACAGAAAAGTTCACCGGTTTGGAC  
TTCAATTCCTGGGGCTCCACCCCATCCTGACCTTATCCAAGATGGACCAGACACTGGCAGTC  
TACCAACAGATCCTCACCAGTATGCCCTTCCAGAAACGTGATCCAAATATCCAACGACCTG  
GAGAACCTCCGGGATCTTTTCTTCAGGTGCTGGCCTTCTCTAAGAGCTGCCACTTTGCCCTGG

GTGCCCATCCAAAAAGTCCGAGAGATGACACCCAAAAACCCCTCATCAAGACAATTGTCACCAAGG  
ATCAATGACATTTTCACACACGCGAGTCAGTCTCCTCCAAACAGAAAAGTTCACCGGTTTGGAC  
TTCAATTCCTGGGGCTCCACCCATCCTGACCTTATCCAAGATGGACCAGACACTGGCAGTC  
TACCAACAGATCCTCACCAGTATGCCCTTCCAGAAACATGATCCAAATATCCAACGACCTG  
GAGAACCTCCGGGACCTTTTCTTCAGGTGCTGGCCTTCTCTAAGAGCTGCCACTTTGCCCTGG

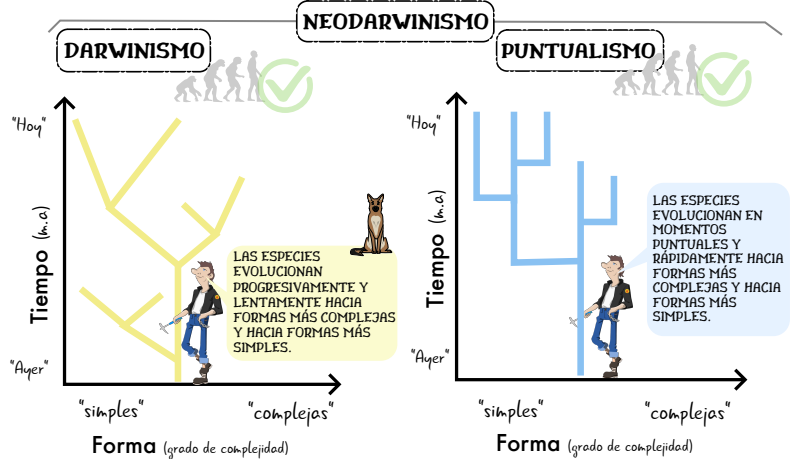
### 3. Teorías evolucionistas

En sus inicios, el debate sobre el origen y la transformación de los seres vivos estaba dividido en dos bandos: por un lado, los **no evolucionistas** (que estaban a favor de la idea de que las especies eran inmutables y no cambian a lo largo de tiempo); y por otro lado, los **evolucionistas** (que estaban a favor de la idea de que las especies sí cambian y se transforman con el paso del tiempo).

#### NO EVOLUCIONISTAS



#### SÍ EVOLUCIONISTAS



#### 6.1 Teorías no evolucionistas (NO EXISTEN CAMBIOS)

Las **teorías no evolucionistas** defienden que las **especies son inalterables**, es decir, que han no sufrido cambios a lo largo del tiempo. Toda teoría no evolucionista debe explicar la causa de la no evolución y no quedarse en el efecto que es la propia evolución.

A lo largo de la historia se han sucedido distintas teorías no evolucionistas que en orden cronológico son las que a continuación se despachan:

##### ► Fijistas (del s. V a.C. al s. XVIII d.C.)

La teoría fijista defiende que las especies son invariables y permanecen tal como fueron creadas. Sus argumentos son:

- **Causa de la no evolución:** La naturaleza está diseñada con un orden estático; cualquier cambio alteraría su perfección.
- **Explicación de fósiles:** No abordaba consistentemente los fósiles, pero algunos fijistas los atribuían a "caprichos de la naturaleza".

##### ► Creacionistas (del s. XVII d.C. al s. XVIII d.C.)

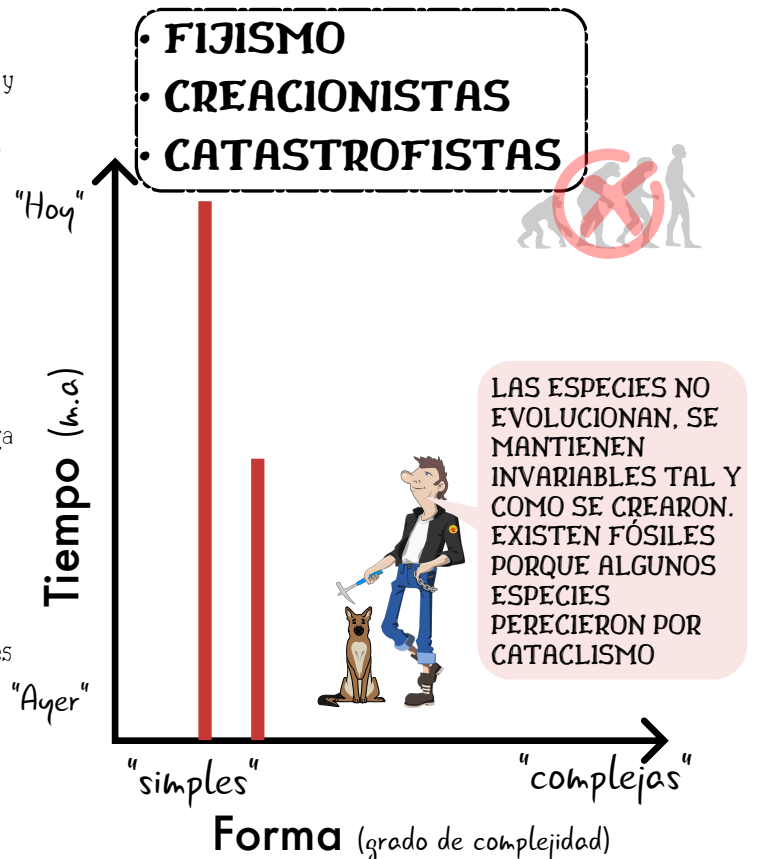
La teoría creacionista defiende que las especies fueron creadas por Dios de forma inmutable, tal como se describen en textos sagrados. Sus argumentos son:

- **Causa de la no evolución:** La intervención divina garantiza su diseño perfecto e inmutable.
- **Explicación de fósiles:** Los consideraba restos de seres no incluidos en el plan divino o pruebas de creaciones anteriores destruidas.

##### ► Catastrofistas (del s. XIX d.C. hasta hoy)

La teoría catastrofistas defiende que las especies son inalterables, pero cataclismos (como diluvios) causan extinciones masivas. Sus argumentos son:

- **Causa de la no evolución:** Las especies no evolucionan; su desaparición se debe a eventos repentinos, no a cambios graduales.
- **Explicación de fósiles:** Los fósiles corresponden a especies extintas por catástrofes, sustituidas por nuevas creaciones divinas.



### 3.1 Teorías evolucionistas (¿EXISTEN CAMBIOS?)

Las **teorías evolucionistas** defienden que las **especies son alterables**, es decir, que han sufrido cambios a lo largo del tiempo. A continuación, se explican en orden cronológico:

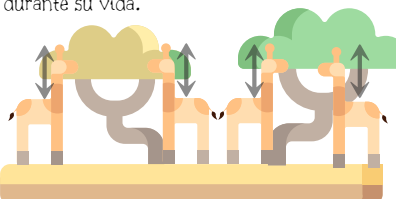
#### Lamarckismo

Para Lamarck, lo que evoluciona es el individuo

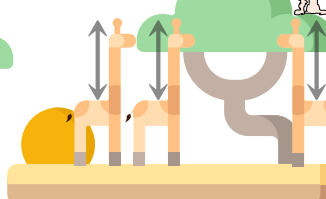
Teoría evolutiva propuesta por Lamarck según la cual las especies evolucionan a lo largo del tiempo mediante un proceso conocido como **herencia de caracteres adquiridos**, lo que significa que un organismo transmite a su descendencia rasgos desarrollados por el uso o desuso de órganos durante su vida.



El ancestro de las jirafas presenta cuellos cortos. En épocas de sequía, debían estirar el cuello para alcanzar las hojas de árboles altos -al tener las raíces más profundas no se secan-, lo que alargó sus vértebras y músculos (ley del uso y desuso).



Estos caracteres adquiridos (cuello largo) se heredaron a la siguiente generación. Sigue habiendo sequía y esta población de jirafas hará lo mismo que sus padres (estirar el cuello para alcanzar las hojas de los árboles más altos).



Tras muchas generaciones, surgió una nueva especie de jirafas de cuello largo.

SEGÚN LA TEORÍA DEL LAMARCKISMO, LAS ESPECIES EVOLUCIONAN DEBIDO A LA HERENCIA DE CARÁCTERES ADQUIRIDOS, LO QUE SIGNIFICA

LOS INDIVIDUOS PUEDEN TRANSMITIR LOS CARÁCTERES QUE HAN ADQUIRIDO DURANTE SU VIDA A SU DESCENDENCIA GRACIAS A LA LEY DEL USO-DEUSO; SI LO USAS SE DESARROLLA Y SI NO LO USAS SE ATROFIA O DESAPARECE

SI UNA JIRAFÁ ESTIRA SU CUELLO PARA ALCANZAR RAMAS MÁS ALTAS, SU CUELLO SE ALARGA MÁS DEBIDO A SU USO CONSTANTE. SU DESCENDENCIA HEREDARÁ EL CUELLO LARGO FRUTO DEL TRABAJO REALIZADO POR LOS PROGENITORES.

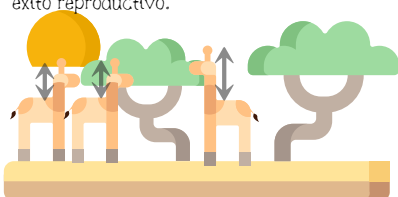
ESTOS CAMBIOS SE ACUMULAN Y PUEDEN DAR LUGAR AL SURGIMIENTO DE NUEVAS ESPECIES

CRÍTICA: LA HERENCIA DE CARÁCTERES ADQUIRIDOS FUE REFUTADA, PUES LOS CAMBIOS SOMÁTICOS NO ALTERAN EL ADN.

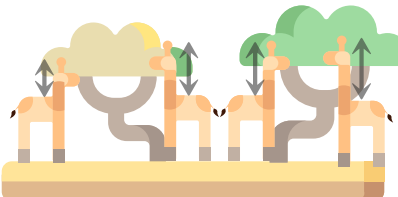
#### Darwinismo

Para Darwin, lo que evoluciona es el individuo

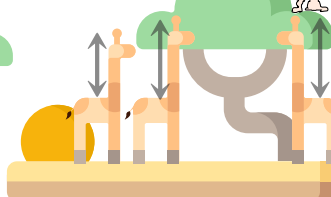
Teoría evolutiva propuesta por Darwin y Wallace según la cual las especies evolucionan a lo largo del tiempo mediante un proceso conocido como **selección natural**, donde los individuos con rasgos ventajosos tienen mayor supervivencia y éxito reproductivo.



En la población de jirafas ancestrales de cuello corto, hay muchos individuos con el cuello corto y pocos individuos con el cuello un poco más largo.



La sequía se acentúa, las jirafas de cuello más largo acceden mejor al alimento, sobreviven más y dejan más descendencia. Con el tiempo, los cuellos largos se volvieron predominantes en la población, dando lugar a las jirafas actuales.



La sequía se acentuó y solo sobreviven los árboles más altos. Generaciones más tardes se repite el proceso antes explicado y dió lugar a las jirafas actuales que tienen el cuello largo.

SEGÚN LA TEORÍA DEL DARWINISMO, LAS ESPECIES EVOLUCIONAN DEBIDO A LOS PROCESOS DE VARIACIÓN DE UN MISMO CARÁCTER, SELECCIÓN NATURAL Y LA HERENCIA DE LOS RASGOS FAVORABLES, LO QUE SIGNIFICA

LOS INDIVIDUOS CON CARÁCTERES VENTAJOSOS PARA LA SUPERVIVENCIA Y REPRODUCCIÓN TIENEN MAYOR PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR Y TRANSMITIR ESOS CARÁCTERES A LA SIGUIENTE GENERACIÓN; MIENTRAS QUE,

AQUELLOS CON CARÁCTERES MENOS VENTAJOSOS TIENDEN A SER ELIMINADOS DE LA POBLACIÓN.

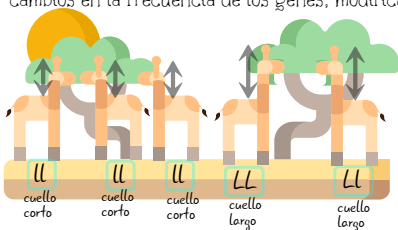
CON EL TIEMPO, ESTOS CAMBIOS SE ACUMULAN Y PUEDEN DAR LUGAR AL SURGIMIENTO DE NUEVAS ESPECIES

FENOTIPOS NUEVOS (= CUELLO LARGO)  
SELECCIÓN NATURAL (= LA NATURALEZA EN FORMA DE SEQUÍA Y ÁRBOLES ALTOS ESCOGE)  
HERENCIA DE CARÁCTERES FAVORABLES (= CARÁCTER CUELLO LARGO)  
MECANISMO CLAVE: COMPETENCIA POR RECURSOS LIMITADOS + SUPERVIVENCIA DEL MÁS APTO.

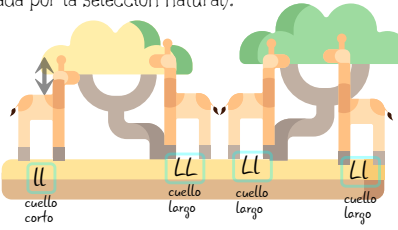
#### Neodarwinismo

Para comunidad científica, lo que evoluciona es la población

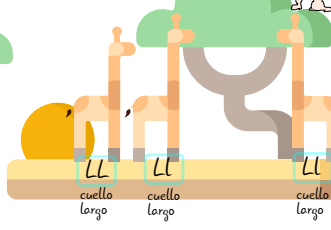
Teoría evolutiva propuesta por la comunidad científica según la cual las especies evolucionan a lo largo del tiempo debido a la **selección natural** de Darwin y a lo que sabemos de la **genética moderna** (las mutaciones genéticas y los cambios en la frecuencia de los genes, modificada por la selección natural).



En la población de jirafas ancestrales de cuello corto, hay muchos individuos que tienen alelos con el cuello corto (l) y pocos individuos con alelos de cuello un poco más largo (L). Esto se debe a que el gen responsable del crecimiento del cuello corto ha sufrido una mutación, un cambio en la secuencia de nucleótidos y, por tanto, aparece un alelo nuevo (L). En resumen, cambios en la frecuencia de genes (alélica), provoca cambios en frecuencia de los fenotipos.



Un época de sequía los árboles pequeños se secan y solo quedan árboles altos. Los individuos con el cuello un poco más largo se alimentan mejor, están más fuertes y tienen mayor probabilidades de supervivencia y de reproducción; por tanto, los individuos con cuellos más largos transmiten sus genes a la siguiente generación. Esto provocó que los genotipos de cuello un poco más largo se volvieron cada vez más comunes en la población de jirafas. En resumen, la selección natural cambia la frecuencia fenotípica y genotípica de la población.



La sequía se acentuó y solo sobreviven los árboles más altos. La selección natural favoreció a las jirafas con cuellos más largos en ambientes con árboles altos. Estos rasgos se heredaron gracias a la genética mendeliana, consolidándose en la población.

SEGÚN LA TEORÍA DEL NEODARWINISMO, LAS ESPECIES EVOLUCIONAN DEBIDO A LOS PROCESOS DE VARIACIÓN DE UN MISMO CARÁCTER DEBIDO A MUTACIONES, SELECCIÓN NATURAL Y LA HERENCIA DE LOS GENOTIPOS FAVORABLES, LO QUE SIGNIFICA

LOS INDIVIDUOS CON GENOTIPOS VENTAJOSOS PARA LA SUPERVIVENCIA Y REPRODUCCIÓN TIENEN MAYOR PROBABILIDAD DE SOBREVIVIR Y TRANSMITIR ESOS GENOTIPOS A LA SIGUIENTE GENERACIÓN; MIENTRAS QUE,

AQUELLOS CON GENOTIPOS MENOS VENTAJOSOS TIENDEN A SER ELIMINADOS DE LA POBLACIÓN.

CON EL TIEMPO, ESTOS CAMBIOS SE ACUMULAN Y PUEDEN DAR LUGAR AL SURGIMIENTO DE NUEVAS ESPECIES

GENOTIPOS NUEVOS (= ALELO CUELLO LARGO)  
SELECCIÓN NATURAL (= LA NATURALEZA EN FORMA DE SEQUÍA Y ÁRBOLES ALTOS ESCOGE)  
HERENCIA DE GENOTIPO FAVORABLES (= ALELO CUELLO LARGO)