



## Progresión de aprendizaje

# 8

### Momento 1

Los genes se encuentran en los cromosomas de las células. Cada gen distinto contiene la información para la producción de proteínas específicas, que a su vez afecta a los rasgos del individuo.

#### Tiempo estimado:

5 horas.

#### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Comprender que todas las células contienen información genética en cromosomas y que cada cromosoma consta de una sola molécula de ADN muy larga, donde están las instrucciones para formar las características de las especies y que la información que se transmite de padres a hijos está codificada en las moléculas de ADN. Identifican que los genes son regiones del ADN que contienen las instrucciones que codifican la formación de proteínas, que realizan la mayor parte del trabajo de las células.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que es necesaria para la vida.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT4. Reconocer en un modelo como existen factores que intervienen en la modificación de comportamientos y características en los seres vivos.
- CT6. Describir las funciones de las estructuras internas y externas que ayudan a los organismos a sobrevivir, crecer y reproducirse.

#### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones
- CT3. Medición
- CT4. Sistemas
- CT6. Estructura y función

#### Prácticas de ciencia e ingeniería:

1. Hacer preguntas y definir problemas.
2. Desarrollar y usar modelos.
5. Analizar e interpretar datos.
7. Argumentar a partir de evidencias.

## Evaluación diagnóstica

**1. ¿Qué es la herencia genética?**

- a. El proceso por el cual los organismos transmiten características adquiridas durante su vida.
- b. La transferencia de características físicas y biológicas de una generación a otra a través de los genes.
- c. La mezcla de características de ambos padres en cada descendiente.

**2. ¿Cuál fue la principal contribución de Gregor Mendel a la genética?**

- a. Descubrió la estructura del ADN y su forma de regulación.
- b. Estableció las leyes de la herencia a través de experimentos con plantas de guisante.
- c. Descubrió el código genético y su relación con la síntesis de proteínas.

**3. Verdadero o Falso: En la herencia mendeliana, un alelo dominante siempre se expresa en el fenotipo del organismo, incluso si hay un alelo recesivo presente.**

- Verdadero
- Falso

**4. Relaciona cada término con su definición correcta:**

Término	Definición
1. Genotipo	a. Variación de un gen para un mismo rasgo.
2. Fenotipo	b. Características observables de un organismo.
3. Alelo	c. Posición específica de un gen en un cromosoma.
4. Locus	d. Composición genética de un organismo.

- 1a, 2c, 3b, 4d.
- 1b, 2d, 3a, 4c.
- 1c, 2b, 3d, 4a.
- 1d, 2b, 3a, 4c.

**5. En la primera ley de Mendel, conocida como la Ley de la Segregación, se establece que:**

- a. Los alelos de un gen se combinan siempre de forma fija en la descendencia.
- b. Para la herencia de rasgos ocurre una separación en la formación de los gametos.
- c. Los factores hereditarios se mezclan de manera continua en la descendencia.

**6. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de un alelo dominante?**

- a. Un gen que se expresa sólo cuando está presente en doble copia.
- b. Un gen que se manifiesta fenotípicamente, incluso si hay un alelo recesivo.
- c. Un gen que nunca se expresa en el fenotipo, sin importar la combinación de alelos.

**7. Excepto una, todas las siguientes son características que Mendel observó en sus experimentos con plantas de guisante:**

- a. Color de la flor
- b. Número de semillas por vaina
- c. Forma de la semilla

**8. Cuando un organismo tiene dos alelos idénticos para un rasgo, se dice que es:**

- a. Homocigoto
- b. Dominante
- c. Recesivo

**9. En los experimentos de Mendel, al cruzar plantas de guisante de flores moradas con plantas de flores blancas, todas las plantas de la primera generación (F<sub>1</sub>) tenían flores moradas. ¿Qué indica esto sobre el color morado en este caso?**

- a. Es un rasgo recesivo.
- b. Es un rasgo dominante.
- c. Es el resultado de una mezcla de colores.

**10. En un cuadro de Punnett, ¿qué representan las casillas?**

- a. La probabilidad de diferentes combinaciones de genotipos en la descendencia.
- b. El número exacto de descendientes que se tendrán, dadas las combinaciones.
- c. Las combinaciones posibles de fenotipos observados en los padres.



Momento 2



Enganchar

Rasgos genéticos y el ambiente

A continuación, se presenta el caso de dos gemelas idénticas que vivieron juntas durante la mayor parte de sus vidas. Al momento del estudio ambas tenían 52 años y ambas tuvieron empleos que requerían una **exposición solar significativa** y, además, durante su infancia ambas sufrieron quemaduras solares. Aunque ambas compartieron un entorno casi idéntico, las diferencias en su estilo de vida, específicamente en el consumo de cigarrillos, resultaron en cambios visibles en su apariencia.

Observen las imágenes de ambas gemelas e identifiquen similitudes y diferencias.

Con la guía de tu docente, discutan e intercambien ideas, con base en lo siguiente:

- ¿Qué similitudes (heredadas) observan?
- ¿Qué diferencias encuentran, a pesar de que son gemelas idénticas?
- Si las gemelas comparten el mismo ADN, ¿por qué crees que una de ellas mostró más envejecimiento que la otra?
- ¿Qué nos enseña este estudio sobre la relación entre la genética y el ambiente?
- Considerando que ambas gemelas tuvieron la misma exposición solar, ¿cómo influyó el factor del tabaquismo en el envejecimiento de la Gemela 1?
- ¿Qué otros cambios internos (no tan visibles) podría presentar la Gemela 1?
- ¿Puedes pensar en otros ejemplos en los que el ambiente podría influir más que la genética en la salud o apariencia física de una persona?
- ¿Cómo crees que este tipo de estudios puede ayudar a crear conciencia sobre hábitos dañinos como el fumar?

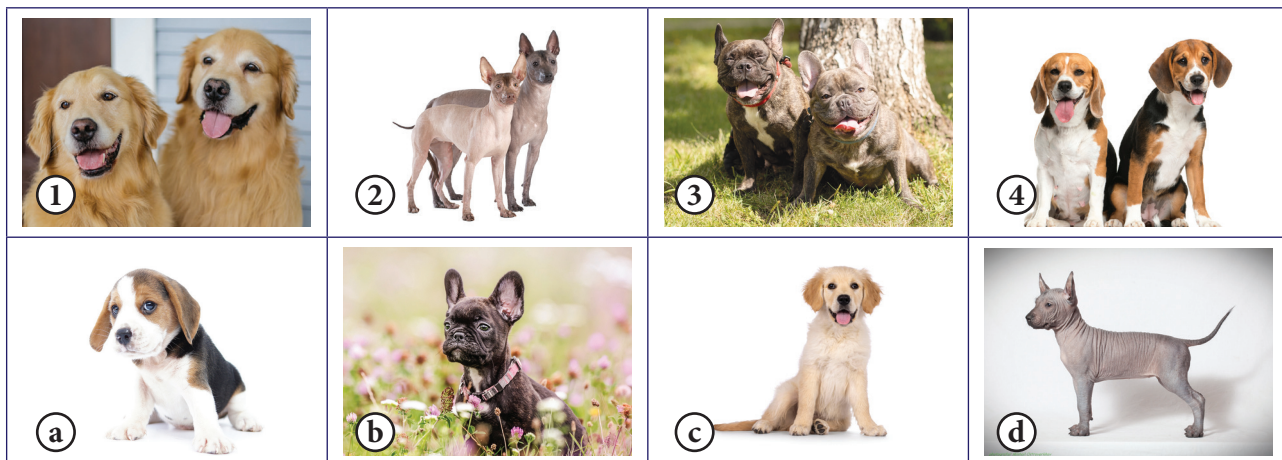


Se observa el lado izquierdo (de ambas gemelas). Retomado de: Doshi DN, Hanneman KK, Cooper KD. Smoking and Skin Aging in Identical Twins. *Arch Dermatol.* 2007;143(12):1543-1546. doi:10.1001/archderm.143.12.1543.



Explorar

Revisen las siguientes imágenes de progenitores, analicen sus rasgos. Definan cuál sería su descendencia.



- Expliquen los rasgos para cada una de las razas de perro y expliquen por qué eligieron esa descendencia. Traten de explicarlo con términos de genética.
- Además, expliquen ¿qué pasa cuando las razas de perro se mezclan?



Explicar

Herencia biológica

Herencia y genética

¿Te has fijado que algunas personas son idénticas a uno de sus padres, y en otras ocasiones se parece más a algún abuelo? ¿O por qué los organismos de una especie animal o vegetal siempre son tan parecidos?

Esto se debe a la herencia de rasgos. La **herencia biológica** es el conjunto de **procesos** mediante los cuales los organismos transmiten sus características genéticas a su descendencia (fig. 8.1). Estos procesos incluyen la transmisión de características genéticas de padres a hijos, así como la herencia de variaciones genéticas que influyen en la diversidad de los organismos. La **genética**, el estudio de los genes y su funcionamiento, es fundamental para entender cómo ocurre la herencia. Los **genes** son segmentos de ADN ubicados en los cromosomas que contienen la información que determina las características heredadas de un organismo. La genética explica cómo estas unidades de información se transmiten de padres a hijos a través de los procesos de reproducción.

- En la **reproducción sexual**, los descendientes heredan una combinación de genes de ambos progenitores, al unirse 2 células haploides, que resultan de la **recombinación genética en el proceso de meiosis**, contribuyendo a la variabilidad genética. En humanos, estas células son el óvulo y el espermatozoide (fig. 8.2).
- En contraste, en la **reproducción asexual**, los descendientes son genéticamente idénticos al progenitor, y el proceso de transmisión genética se lleva a cabo a través de la **división celular**, un mecanismo que replica de manera exacta el material genético. En organismos unicelulares como levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) esta generación de células hijas se conoce como gemación (fig. 8.3).

El estudio de la herencia es necesario para comprender cómo la información genética se transfiere **de una generación a otra**, y cómo las variaciones genéticas que ocurren de manera natural o inducida por el ambiente impactan la diversidad de una población. Las diferencias observables entre individuos no solo se deben a la herencia, sino también a la interacción con el entorno, lo que afecta su desarrollo y comportamiento. Un ejemplo clásico es el de los gemelos idénticos, quienes, aunque comparten el mismo material genético, pueden diferenciarse por las influencias ambientales a las que están expuestos, por ejemplo, el tipo de hábitos alimenticios (fig. 8.4).



Figura 8.1 Los rasgos hereditarios son transmitidos de padres a hijos.

Reproducción humana

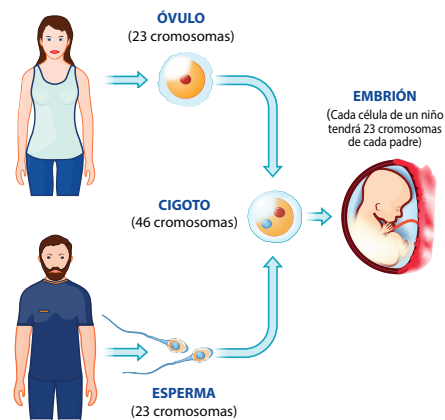


Figura 8.2 La unión de las células sexuales (haploides solo 23 cromosomas) da lugar a un embrión diploide: 23 pares de cromosomas.

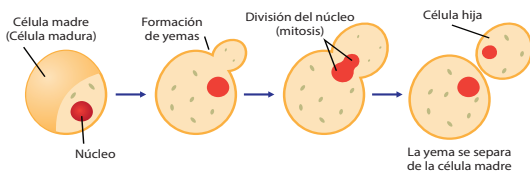


Figura 8.3 Reproducción asexual de levadura, donde produce yemas: nuevas levaduras, las cuales contendrán la información idéntica a la célula progenitora.



Figura 8.4 Gemelos idénticos con diferentes hábitos alimenticios.



El estudio de la herencia nos permite comprender tanto cómo se transmiten los rasgos de padres a hijos, como el modo en que los cambios acumulados en el material genético a lo largo de generaciones impulsan la **evolución**. Las variaciones genéticas, originadas por mutaciones o la recombinación durante la reproducción, son fundamentales para este proceso. Estas diferencias aportan la base genética sobre la que actúa la **selección natural**, favoreciendo la supervivencia y reproducción de aquellos individuos cuyas características los hacen más aptos para su entorno. Con el tiempo, los pequeños cambios en la frecuencia de ciertos genes dentro de una población (**microevolución**) pueden conducir a la adaptación a nuevos ambientes o incluso a la formación de nuevas especies (**macroevolución**).

Conocer sobre herencia y evolución biológica es necesario para muchas áreas de la ciencia, incluyendo la biología evolutiva, la genética, la medicina y la biotecnología. Por ejemplo, para entender los patrones de herencia para el desarrollo de **tratamientos personalizados** en medicina, donde se consideran las variaciones genéticas individuales para diseñar terapias más efectivas. Además, el conocimiento sobre los mecanismos de herencia y evolución también tiene aplicaciones prácticas en la agricultura, donde se emplea la selección genética para **mejorar cultivos y ganado**, así como para estudiar el **estado de especies silvestres** que necesitan protección, por tener funciones importantes en los diferentes ecosistemas.

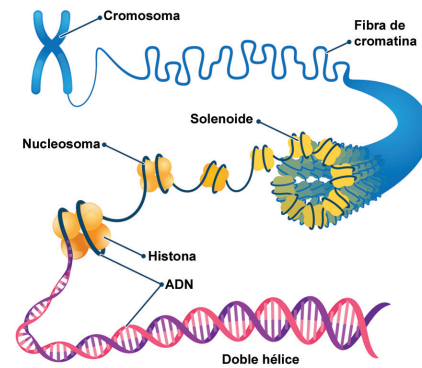
### Conceptos básicos de genética

Para comprender cómo se transmiten los rasgos hereditarios de una generación a otra, es necesario dominar algunos conceptos de genética básicos que están intrínsecamente relacionados entre sí.

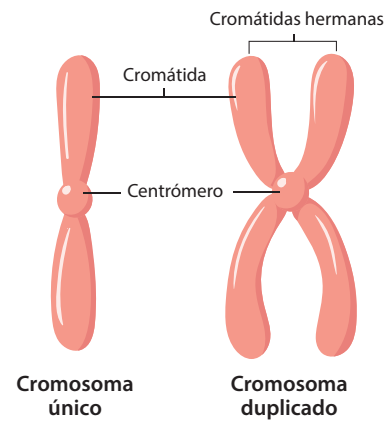
En las células eucariotas, el material genético (ADN) reside en el núcleo durante la mayor parte del ciclo celular en forma de **cromatina**, una estructura más laxa y menos densa. Antes de que ocurra la **división celular**, el ADN debe **duplicarse** para asegurar que cada célula hija reciba una copia completa del material genético. El material genético duplicado se condensa formando los **cromosomas duplicados** (observables al microscopio) (fig. 8.5). Durante este proceso, la **membrana nuclear desaparece temporalmente** para permitir la correcta distribución de los cromosomas. Cada especie tiene diferente número de cromosomas.

La compactación de la cromatina en cromosomas garantiza una **distribución eficiente y precisa** del ADN duplicado. Al condensarse, el material genético se organiza de tal manera que facilita su segregación, evitando enredos y reduciendo el riesgo de daños durante el proceso. Esta compactación asegura también que las **cromátidas hermanas** sea copias idénticas del ADN, tras la duplicación, permitiendo su reparto equitativo entre las células hijas (fig. 8.6).

En **células somáticas** humanas, cada célula contiene 23 pares de cromosomas, lo que hace un total de 46 cromosomas, un cromosoma de cada par proviene del padre y el otro de la madre. Dado que los genes son parte del material genético (ADN), se ha estudiado cuáles genes están en cada cromosoma para mejor comprensión.

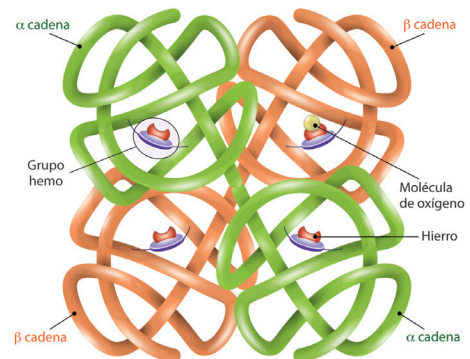


**Figura 8.5** Durante la división celular, el material genético se duplica y para poder repartir equitativamente se empaqueta en forma de cromosomas.



**Figura 8.6** Observa que de un cromosoma sencillo, al duplicarse se generan las cromátidas hermanas para cada cromosoma unidas por el centrómero, que también une los dos brazos del cromosoma.

### Hemoglobina



**Figura 8.7** Representación de la hemoglobina, con sus 4 subunidades. Cada subunidad con su grupo Heme, que tiene Hierro, y es donde se une el oxígeno.

Veamos el ejemplo de la **hemoglobina humana** (fig. 8.7), una proteína que transporta el oxígeno, ubicada en los glóbulos rojos, y está compuesta por cuatro cadenas polipeptídicas:

- dos cadenas  $\alpha$  (alfa), codificadas por los genes **HBA1** y **HBA2** → en el **cromosoma 16**
- dos cadenas  $\beta$  (beta), codificadas por el gen **HBB** → en el **cromosoma 11**.

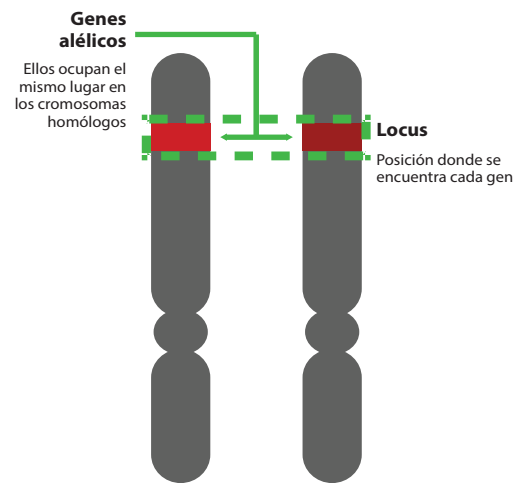
Los **genes** son unidades fundamentales de la información hereditaria que contienen las instrucciones necesarias para el desarrollo y funcionamiento de los organismos. La **información** está **codificada** en forma de **secuencia de nucleótidos**, que a su vez se traducirá a aminoácidos para conformar a las diferentes **proteínas**. Por lo tanto, la información de cada gen debe pasar por una serie de procesos, para expresar rasgos físicos, fisiológicos o conductuales, tales como el tipo de sangre, el color del cabello, o la capacidad de metabolizar ciertos nutrientes. Sin embargo, dado que tenemos información de 2 progenitores, podemos tener genes con diferente información para un mismo rasgo llamados **genes alelos** (fig. 8.8), ya que vamos a encontrar el gen que aporte el padre y el gen que aporta la madre. Las versiones alternativas de un mismo gen permiten que exista la variabilidad.

A los genes alelos los vamos a encontrar en la misma posición o ubicación física en un cromosoma. Es como una dirección específica en el genoma donde se encuentra el gen. Es decir, los genes alelos están en el mismo **locus** (fig. 8.8). El plural de locus es **loci**, que se usa para referirse a las posiciones de diferentes genes. Si los alelos de un mismo rasgo son idénticos, se dice que es **homocigoto**, y si los alelos codifican variantes para un mismo rasgo, se dice que es **heterocigoto**.

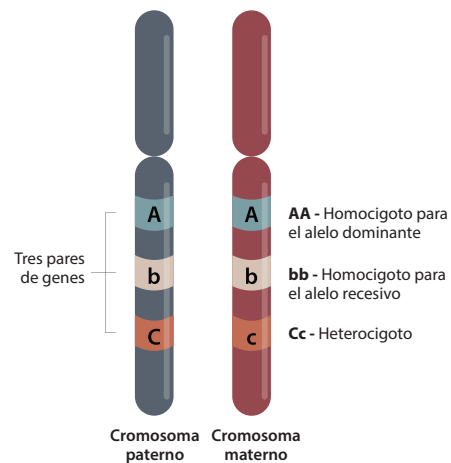
El gen que controla la producción de la **subunidad beta de hemoglobina**, **HBB**, se encuentra en un locus específico del **cromosoma 11**. En este locus, una persona puede tener dos alelos normales para la producción de HBB, un alelo normal y uno alterado, o dos alelos alterados.

Los genes tienen la característica de ser **dominantes** o **recesivos** (fig. 8.9), recordando que tenemos un par de alelos por gen. Un gen dominante es aquel que se manifiesta en los rasgos (característica observable) del organismo, incluso si solo hay una copia de este. Se puede presentar como **homocigoto dominante** o como **heterocigoto**. En cambio, un alelo recesivo solo se expresará si está presente en ambas copias del gen (**homocigoto recesivo**), es decir, si no hay ningún alelo dominante que lo "oculte".

Supongamos que la letra B representa al gen de HBB. En genética mendeliana, como veremos más adelante, el gen dominante o dominancia se representa con letra mayúscula, en este caso, corresponde al gen que codifica la proteína normal. Con la misma letra en minúscula se representa el gen recesivo o recesividad "b", que correspondería a una proteína anormal o alterada. Si un organismo tiene 2 genes dominantes para el mismo rasgo, BB, significa que es homocigoto dominante, ya que tiene el mismo alelo en ambos loci, en dominancia; si los alelos son Bb, significa que el organismo es heterocigoto para este rasgo; y si los alelos son bb, significa que el individuo presenta recesividad en ambos genes, por lo que es homocigoto recesivo.



**Figura 8.8** Se observa un par de cromosomas homólogos, en rojo se destaca la posición o locus de los genes alelos para un mismo rasgo.



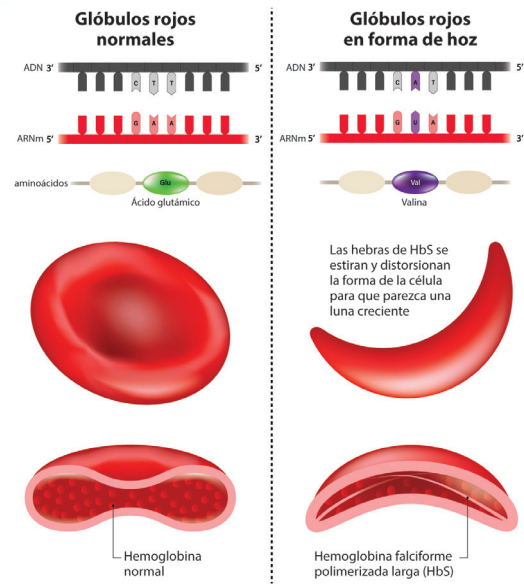
**Figura 8.9** En este ejemplo de cromosomas homólogos, se observan 3 genes, para diferentes rasgos, en diferentes loci. Cada par de alelos tiene diferente combinación de genes dominantes y/o recesivos.



El **genotipo** (fig. 8.10) se refiere a la composición genética de un individuo, es decir, la combinación específica de alelos que posee para un determinado rasgo. El genotipo es responsable de determinar las posibles características que un organismo puede expresar, aunque no siempre se manifiestan todas en el fenotipo. Es decir, el **fenotipo** (fig. 8.10) es la manifestación observable de las características determinadas por el genotipo, aunque influenciadas también por el entorno. Por ejemplo, el genotipo puede determinar la predisposición de una persona a tener cierta condición, pero factores ambientales, como la dieta y el ejercicio, pueden afectar si esa condición se desarrolla o no.

Una persona con el **genotipo BB**, solo puede expresar **fenotípicamente la proteína HBB normal** y solo puede heredar este gen (porque está repetido); una persona con el **genotipo Bb**, al tener uno de los alelos en dominancia, terminará expresando **fenotípicamente la proteína normal** y podrá heredar cualquiera de los dos alelos; pero una persona con el **genotipo bb**, solo podrá expresar **fenotípicamente la variación de la proteína alterada**, que produce **anemia falciforme**.

Existen otras variantes del gen **HBB**, como la hemoglobina S (Hb S), hemoglobina C (Hb C) y hemoglobina E (Hb E), son comunes en regiones con alta incidencia de malaria, como **África subsahariana**, ya que ofrecen una **ventaja evolutiva** al conferir protección contra esta enfermedad. Estas variantes alteran la forma o estabilidad de los glóbulos rojos, lo que dificulta la proliferación del parásito causante de la malaria. En particular, la hemoglobina S en estado heterocigoto (una copia del alelo normal y una del alelo Hb S) protege al favorecer la eliminación temprana de los glóbulos rojos infectados, reduciendo así la gravedad de la infección. Sin embargo, en estado homocigoto (Hb SS), la hemoglobina S causa **anemia de células falciformes**, caracterizada por glóbulos rojos en forma de hoz que provocan anemia, dolor y complicaciones en órganos.



**Figura 8.10** Observa el genotipo de la proteína HBB normal y de la hemoglobina falciforme que se encuentra en los glóbulos rojos y la forma que adquieren estos, dependiendo de la proteína que se expresa. Identifica los cambios que ocurren en el genotipo y en el fenotipo.

### Elaborar

De manera individual esquematicen 3 cromosomas homólogos, de un tamaño que puedan señalar genes en ellos. En el primer par de homólogos, seleccionen un locus para el gen U, en su genotipo homocigoto dominante. En el segundo par, elijan un locus diferente para colocar el gen A, con genotipo heterocigoto. Y en el tercer par, coloquen en otro locus, el gen S, en su genotipo homocigoto recesivo.

Anota debajo de cada par de homólogos el genotipo y el fenotipo que le corresponde de acuerdo con lo siguiente:

- Gen U:** representa la presencia de hoyuelos en las mejillas. Su recesivo expresa carencia de hoyuelos.
- Gen A:** representa la capacidad de tener el lóbulo de la oreja libre o despegado. El recesivo produce lóbulos adheridos a la cabeza.
- Gen S:** indica la presencia de pecas. Su recesivo indica que la persona no tiene pecas.

Cromosomas homólogos 1	Cromosomas homólogos 2	Cromosomas homólogos 3
Genotipo: _____	Genotipo: _____	Genotipo: _____
Fenotipo: _____	Fenotipo: _____	Fenotipo: _____

**Nota:** Si necesitas practicar más estos conceptos, elabora los 3 genotipos y 3 fenotipos para los 3 pares de cromosomas.



Explicar

## Mecanismos de Herencia biológica

### Eventos históricos relevantes

La historia de la genética abarca siglos de avances, desde las primeras teorías filosóficas sobre la herencia hasta los descubrimientos científicos que transformaron la biología. Desde la pangénesis de Hipócrates y las ideas de Aristóteles, hasta las teorías preformacionistas y de mezcla en siglos posteriores, las ideas sobre cómo se transmiten los rasgos han evolucionado. El trabajo de Mendel en el siglo XIX sentó las bases de la genética moderna, seguido por el redescubrimiento de sus leyes en 1900. Más actualmente, avances como el descubrimiento de la estructura del ADN, la ingeniería genética y la regulación génica por microARN, ayudarán a comprender y redefinir la disciplina.

Año/Periodo	Personaje/Evento	Contribución
460-370 a.C.	Hipócrates	• Propuso la teoría de la <b>pangénesis</b> , sugiriendo que <i>semillas</i> de distintas partes del cuerpo se transmiten a la descendencia, influyendo en la herencia de características.
384-322 a.C.	Aristóteles	• Criticó la pangénesis y propuso que la herencia involucraba <b>una mezcla de la forma del padre y la materia de la madre</b> , una idea que consideraba la contribución de ambos padres.
Siglo XVII	Teoría preformacionista	• Postulaba que dentro de los espermatozoides o los óvulos existían diminutos humanos ya formados ( <b>homúnculos</b> ), implicando que el desarrollo solo consistía en crecimiento.
Siglos XVIII y XIX	Teoría de la mezcla	• Se asumía que <b>los rasgos parentales se combinaban de manera continua</b> en los hijos, una creencia que fue descartada por los trabajos experimentales de Mendel.
1744-1829	Jean-Baptiste Lamarck	• Propuso la <b>herencia de los caracteres adquiridos</b> , sugiriendo que los rasgos desarrollados durante la vida de un organismo podían ser heredados por la descendencia.
1809-1882	Charles Darwin	• Propuso una <b>versión modificada de la pangénesis</b> , en la cual partículas llamadas <i>gémulas</i> transportaban información hereditaria, aunque no pudo explicar la herencia con precisión.
1865	Gregor Mendel	• Estableció las <b>leyes de la herencia</b> a través de sus experimentos con plantas de guisante, describiendo la segregación de factores heredables y la dominancia de algunos rasgos.
1900	Hugo DeVries, Karl Correns, Erich von Tschermak	• Redescubrieron de manera independiente las leyes de Mendel, <b>confirmando la importancia de sus principios</b> en la herencia biológica y dándoles reconocimiento científico.
1909	Wilhelm Johannsen	• Introdujo los términos <b>gen, genotipo y fenotipo</b> , distinguiendo entre la constitución genética de un organismo y sus características observables.
1902-1915	Sutton y Boveri / Thomas Hunt Morgan	• Desarrollo de la <b>teoría cromosómica de la herencia</b> , que vinculó los genes con cromosomas específicos, lo que permitió demostrar la relación física de los genes con los caracteres heredables. Thomas Hunt ganó un nobel por su aporte, en 1933.
1953	James Watson y Francis Crick (con Rosalind Franklin)	• Nobel (1962) por el descubrimiento de la <b>estructura de doble hélice del ADN</b> , explicando cómo se almacena y replica la información genética, lo que fue fundamental para la biología molecular.
Década de 1960	Desciframiento del código genético	• Se descifró cómo el <b>ADN codifica para la síntesis de proteínas</b> , estableciendo la correspondencia entre tripletes de nucleótidos y aminoácidos, lo cual permitió entender la expresión génica.
1970s	Tecnología del ADN recombinante	• La ingeniería genética moderna empezó con la manipulación de secuencias de ADN, permitiendo la creación de <b>organismos genéticamente modificados</b> y aplicaciones biotecnológicas.
1990-2003	Proyecto Genoma Humano	• Secuenciación completa del <b>genoma humano</b> , identificando todos los genes y proporcionando una base para la medicina personalizada y el estudio de enfermedades genéticas.
2012	Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier	• Ganaron un nobel por desarrollar la <b>técnica CRISPR-Cas9</b> , que revolucionó la edición genética permitiendo cambios precisos en el ADN, con aplicaciones en medicina, biotecnología y agricultura.
2016	David Liu y su equipo	• Desarrollaron la <b>tecnología de edición base</b> , técnica que permite realizar cambios precisos en el ADN a nivel de una sola base (letrdel genoma sin cortar la doble hélice, lo que la hace más segura que CRISPR-Cas9 para corregir mutaciones genéticas.
2024	Victor Ambros y Gary Ruvkun	• Premio Nobel por el descubrimiento de los <b>microARN y su papel en la regulación génica postranscripcional</b> , revelando cómo estas pequeñas moléculas pueden inhibir la expresión de genes al unirse a ARNm específicos y regulando la producción de proteínas de manera crítica para el desarrollo y la función celular.





## Elaborar

En equipos pequeños, discutan la importancia de cada evento y cómo impactó el desarrollo de la genética moderna. Al finalizar, contesten estas preguntas:

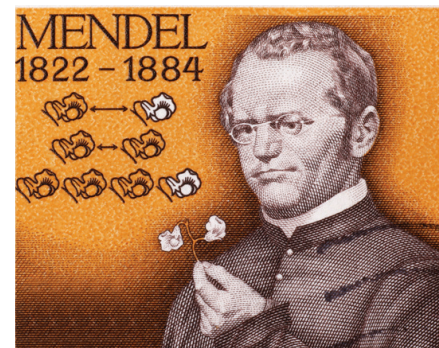
- ¿Qué evento te pareció más importante y por qué?
- ¿Cuál de los avances te resulta más reciente?
- ¿Qué otros eventos crees que ocurrirán?



## Explicar

### Herencia Mendeliana

Como se revisó en la sección anterior, fue a partir de las aportaciones de Gregorio Mendel (1865) que se tuvo una mejor comprensión de los procesos implicados en la herencia de los rasgos entre generaciones, es decir, de progenitores a hijos.

















los mecanismos de herencia, sin embargo, sus investigaciones fueron ignoradas por alrededor de 40 años.

Gregor Johann Mendel (fig. 8.11) nació en 1822 en Heinzendorf bei Odrau, Moravia, que en ese entonces formaba parte del Imperio Austríaco (hoy Hynčice, en la República Checa). Pasó gran parte de su vida en Brno, donde además de ser monje y científico, trabajó como maestro de ciencias naturales y física en una escuela secundaria, lo cual le proporcionó conocimientos que influyeron en sus investigaciones.

Mendel llevó a cabo sus experimentos en el jardín del monasterio de Brno, donde pasó gran parte de su vida. A través de estos estudios, demostró que las **características o rasgos hereditarios** se transmiten mediante unidades discretas que hoy conocemos como **genes**. Aunque sus descubrimientos no fueron valorados en su tiempo, más tarde se reconocieron como fundamentales para el desarrollo de la genética moderna.

Para sus experimentos, Mendel eligió la planta de chícharo (*Pisum sativum*) por tres razones principales:

- Capacidad de autofecundación:** Las flores de los chícharos son hermafroditas, contienen tanto los órganos reproductivos masculinos (estambres) como los femeninos (pistilos), lo que les permite autopolinizarse. Esta característica permitió un control preciso sobre los cruces

Características	Rasgo dominante ×	Rasgo recesivo
Color de la flor	 Púrpura	 Blanco
Color y forma de las semillas	 Verde  Redonda	 Amarillo  Arrugada
Color de la vaina y forma de la vaina	 Verde  Inflada	 Amarillo  Constreñida
Posición de la flor y longitud del tallo	 Axial  Alta	 Terminal  Enana

**Figura 8.12** Al realizar los experimentos en las plantas de chícharos, identificó 7 rasgos que se heredaban de diferente manera de generación en generación, lo que le permitió observar cómo ocurrían.

experimentales, ya que Mendel podía decidir cuándo permitir la autofecundación o realizar cruces manuales entre diferentes plantas (fig. 8.13).

- Ciclo de vida corto:** su ciclo de vida es relativamente corto, generalmente dura entre 8 a 12 semanas, desde la siembra hasta la producción de semillas maduras. Esto permitió observar varias generaciones en de manera relativamente rápida y poder analizar los rasgos de manera eficiente.
- Características o rasgos contrastantes y fáciles de identificar:** Mendel trabajó con siete rasgos (fig. 8.12) distintivos y claramente diferenciables, lo que facilitaba la observación y el registro de los resultados: la textura y el color de las semillas, la posición y color de las flores, la forma y el color de las vainas, y la longitud del tallo.

En sus experimentos, Mendel aplicó conocimientos básicos de **estadística y matemáticas**, como el conteo y registro sistemático de sus observaciones, el cálculo de **proporciones** en la aparición de rasgos y el análisis de **frecuencias** en la descendencia.

### Leyes de Herencia de Mendel

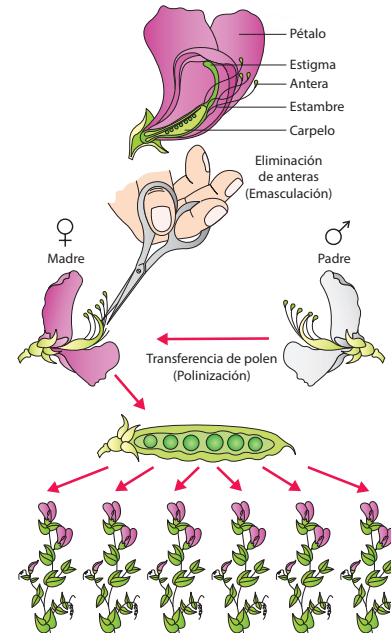
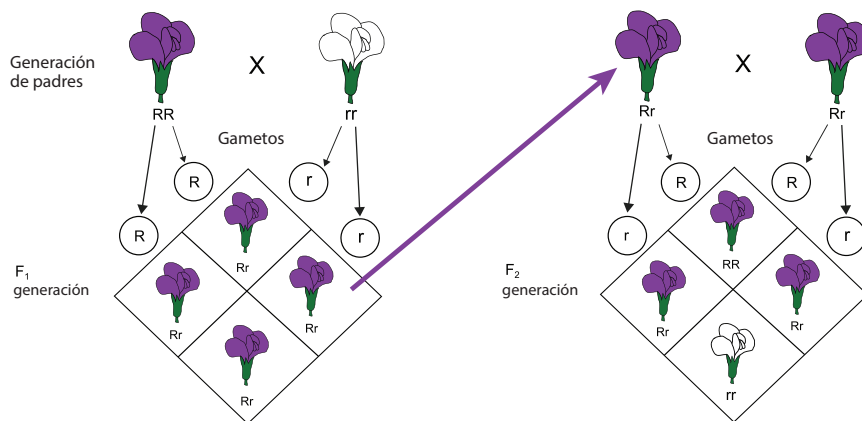
Para poder llegar a los principios que explican cómo ocurren los procesos de herencia, Mendel tuvo que realizar muchos experimentos o pruebas. Mendel utilizaba el término **factores hereditarios** para referirse a las unidades responsables de la transmisión de características de una generación a otra, que ahora sabemos que son los genes. En sus experimentos, hablaba de **linajes puros** para describir plantas que, al reproducirse, siempre daban lugar a descendientes con las mismas características, como el color de la flor. Por ejemplo, un linaje puro de flores moradas siempre producía plantas con flores moradas, generación tras generación, o bien, el linaje de flores blancas, solo producía plantas con flores blancas.

### Primera Ley de Mendel

Mendel notó que cuando cruzaba plantas de linajes puros (generación parental), como flores moradas y flores blancas (fig. 8.14), la primera generación (que llamó **generación filial 1 o F1**) mostraba únicamente el rasgo de uno de los padres, en este caso, el color morado. Cuando cruzaba los descendientes de esa primera generación entre sí, los rasgos que habían “desaparecido” en la F1 volvían a aparecer en la **segunda generación filial (F2)** en una proporción de aproximadamente 3:1 (flores moradas a flores blancas).

A partir de estos resultados, Mendel concluyó que los factores hereditarios debían separarse o **segregarse** durante la formación de los gametos (las células reproductivas), y que uno de los factores podía ser **dominante** (en

**Figura 8.14** Experimentos con linajes puros para observar el rasgo de color de flor. Después del primer cruce, donde todas fueron flores moradas, tomó dos plantas y las cruzó, obteniendo un resultado diferente y la Primera Ley o Ley de Segregación.



**Figura 8.13** Mendel cortaba los estambres (parte masculina) una de las plantas del cruce para tener masculino y femenino de forma controlada. Así podría predecir o comprender el resultado de cada semilla.



este caso, el factor para las flores moradas) y el otro **recesivo** (el factor para las flores blancas). Esta observación fue la base de su **Primera Ley, o Ley de la Segregación**, que establece que *cada organismo hereda dos factores para cada característica, pero solo uno de ellos es transmitido a la descendencia a través de los gametos*.

**Ley de Segregación:** Cada organismo posee dos alelos para cada característica, y estos se separan durante la formación de los gametos.

## Cuadros de Punnett

El **Cuadro de Punnett** (fig. 8.15) es una herramienta gráfica que permite visualizar las posibles combinaciones de alelos en la descendencia de un cruce genético. Aunque Mendel no utilizó esta herramienta en sus experimentos, los principios que estableció sobre la **segregación de alelos** y la **dominancia** de los rasgos sentaron las bases para su desarrollo posterior por el genetista británico **Reginald Punnett**, en 1905.

El Cuadro de Punnett facilita la comprensión del seguimiento de la herencia de los rasgos, al representar de manera visual todas las combinaciones posibles de alelos que los descendientes pueden heredar de sus padres. **Cada casilla del cuadro** indica una combinación específica de alelos, permitiendo predecir la **proporción esperada** de los genotipos y fenotipos que pueden manifestarse en la descendencia según las leyes de la herencia establecidas por Mendel.

Con esta herramienta se pueden analizar uno o más **rasgos** o **alelos** simultáneamente. Un solo rasgo se representa con un cuadro de **2 × 2 (cruce monohíbrido)**, mientras que para dos rasgos (**cruce dihíbrido**) se usa un cuadro de **4 × 4**. Al agregar más rasgos, el tamaño del cuadro aumenta exponencialmente, volviéndose más complejo (por ejemplo, un cuadro de **8 × 8** para tres rasgos), por lo que se prefieren métodos matemáticos o computacionales para el análisis genético.



### Elaborar

#### Cruce monohíbrido (cuadro de Punnett) para comprobar la Ley de Segregación

En el chícharo *Pisum sativum*, el rasgo de color de la semilla está determinado por dos variantes: el color verde (G) es dominante y el color amarillo (g) es recesivo.

Dados los datos que se muestran a continuación, hay que encontrar cuál es la probabilidad de que la descendencia tenga semillas amarillas, para ello, nos apoyaremos del cuadro de Punnett para realizar el cruce para observar los genotipos posibles.

1. Imaginemos un cruce entre dos plantas heterocigotas para el color de la semilla.
2. Determina el genotipo de cada planta para este rasgo \_\_\_\_ × \_\_\_\_.
3. Colorea la semilla de acuerdo al fenotipo que respresenta a heterocigoto.
4. Coloca los alelos de cada semilla en el cuadro de Punnett para representar este cruce.
5. Llena las casillas para determinar los genotipos posibles de la **generación F<sub>1</sub>**.

**Cuadro de Punnett:**


6. Interpreta los resultados del cuadro de Punnett:

**Genotipos de la generación  $F_1$ :**

¿Cuáles genotipos encontraron?	
¿En qué proporción cada uno?	

**Fenotipos de la generación  $F_1$ :**

¿Cuáles fenotipos encontraron?	
¿En qué proporción cada uno?	

¿Qué porcentaje de la descendencia tendrá semillas verdes?

---



---

**Segundo ejercicio para el mismo rasgo**

- Si cruzaras una planta homocigota dominante (\_\_\_\_) con una planta homocigota recesiva (\_\_\_\_), ¿cuáles serían las proporciones de genotípicas y fenotípicas de su descendencia?
- Elabora un cuadro de Punnet para este planteamiento que te ayude a contestar.
- Coloca los alelos de acuerdo al color (fenotipo) que expresa su genotipo.


**Segunda Ley de Mendel**

Mendel siguió con sus experimentos para tratar de comprender mejor cómo se transmiten los rasgos. En otros momentos, Mendel realizó cruces dihíbridos, es decir, cruzó organismos que eran doble heterocigotos (heterocigotos para dos características diferentes), para explicar cómo dos pares de rasgos se distribuyen en los gametos. Así, estableció la **segunda ley de Mendel o ley de la distribución independiente**, que afirma que, cuando se consideran dos o más características en una cruce, los genes que determinan una característica se separan y se distribuyen de manera independiente de los genes que determinan otra característica. Esto es válido siempre y cuando los genes estén en cromosomas diferentes o se encuentren lo suficientemente alejados en el mismo cromosoma, de forma que el entrecruzamiento pueda ocurrir con frecuencia.

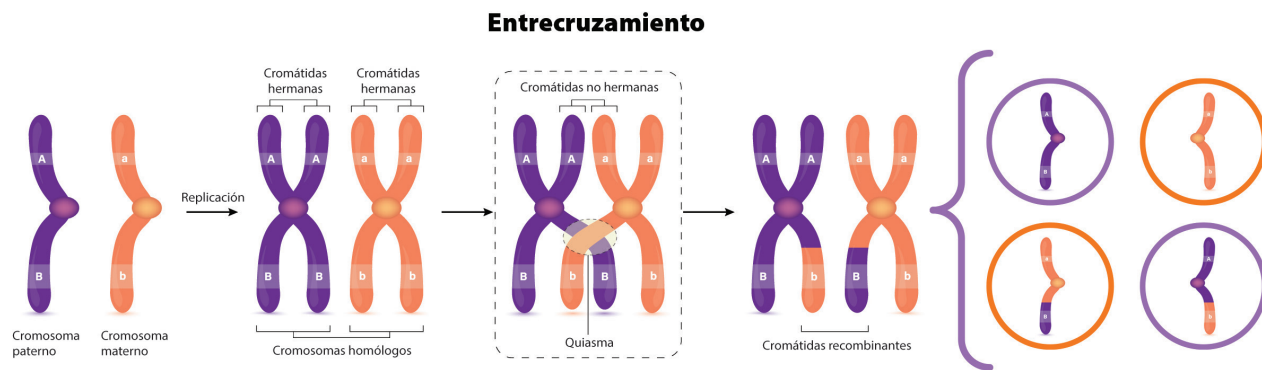
**Ley de la distribución independiente:** Los alelos de diferentes genes se distribuyen de forma independiente durante la formación de gametos.

Hay que recordar que en la época de Mendel, no se conocía el concepto de **gen** o el proceso de **meiosis**, que produce la formación de los gametos o células sexuales. Mendel se refería a los “genes” como **factores o rasgos hereditarios**. Hoy sabemos que durante la meiosis I, los **cromosomas homólogos** (pares de cromosomas que contienen los mismos genes, aunque puedan tener diferentes alelos) intercambian segmentos de ADN a través de un proceso



llamado **entrecruzamiento** o **recombinación genética** (fig. 8.15). Posteriormente, estos cromosomas se separan y distribuyen en las células hijas, lo que resulta en la formación de células haploides (gametos), cada una con la mitad del número de cromosomas del organismo original. En humanos de una célula germinal (diploide) se producen 4 células hijas (haploides), que son los gametos femeninos: óvulo, y gametos masculinos: espermatozoides.

El entrecruzamiento durante la meiosis garantiza que la combinación de alelos que se transmiten a la siguiente generación sea aleatoria o azarosa, lo que explica la distribución independiente de las características cuando los genes no están ligados. Sin embargo, cuando los genes están muy cercanos en el mismo cromosoma, tienden a heredarse juntos, lo que puede influir en la independencia en la distribución (esto se verá más adelante).



**Figura 8.15** El entrecruzamiento (profase I de la meiosis) implica el intercambio de segmentos de cromátidas no hermanas, entre cromosomas homólogos, lo que aumenta la variabilidad genética y una distribución independiente de los alelos en los gametos, como lo dice la segunda ley de Mendel. En meiosis II ocurre la separación de cromátidas hermanas, produciendo gametos parentales (en círculo morado) y gametos recombinados (en círculo naranja).

Para corroborar la **segunda ley de Mendel**, también conocida como la **ley de la segregación independiente**, resolveremos un ejercicio de cruce dihíbrido, en el cual se analizan dos características o rasgos. En este caso, utilizaremos una planta de chícharo que es heterocigótica para dos rasgos: **altura de la planta** y **color de la flor**. Los rasgos dominantes son **tallo alto** y **flor morada**.

Para representar los **genotipos**, utilizaremos la letra **T** para el gen que determina la altura, donde **T** indica el alelo dominante (tallo alto) y **t** representa al alelo recesivo (tallo enano). Para el color de la semilla, usaremos la letra **F**, con **F** representando el alelo dominante (morada) y **f** el alelo recesivo (blanca). Los genotipos posibles son homocigotos dominantes (**TT** o **FF**), homocigotos recesivos (**tt** o **ff**), o heterocigotos (**Tt** o **Ff**). La planta que estamos analizando es heterocigótica para ambos rasgos, por lo que su genotipo es **TtFf**.

Para determinar qué información o alelos tendrán los gametos que puede producir esta planta, consideramos que cada par de alelos se segregará de manera independiente durante la formación de los gametos, conforme a la segunda ley de Mendel. La **meiosis**, el proceso de división celular que genera los gametos, asegura que los cromosomas homólogos se separen, y cada gameto recibe un alelo de cada par.

Dado que el genotipo es **TtFf**, los alelos posibles para cada característica se combinan de manera independiente, produciendo los siguientes tipos de gametos:

Combinación de alelos en meiosis I		Genotipo del gameto, en meiosis II	Fenotipo al que aporta
<b>Alelo T</b>	con alelo F	Gameto 1: <b>TF</b>	Tallo alto, flor morada
	con alelo f	Gameto 2: <b>Tf</b>	Tallo alto, flor blanca
<b>Alelo t</b>	con alelo F	Gameto 3: <b>tF</b>	Tallo enano, flor morada
	con alelo f	Gameto 4: <b>tf</b>	Tallo enano, semilla blanca

Estos son los cuatro gametos que se producirán, cada uno con combinaciones diferentes de los alelos: **TF**, **Tf**, **tF** y **tf**. Como la planta se autofertilizará (fig. 8.16), el cruce se hará utilizando los mismos gametos, es decir, se cruzarán los gametos con los alelos: **TF**, **Tf**, **tF** y **tf** con otros gametos de alelos: **TF**, **Tf**, **tF** y **tf**, para producir nuevos individuos, con el par de alelos para cada rasgo.

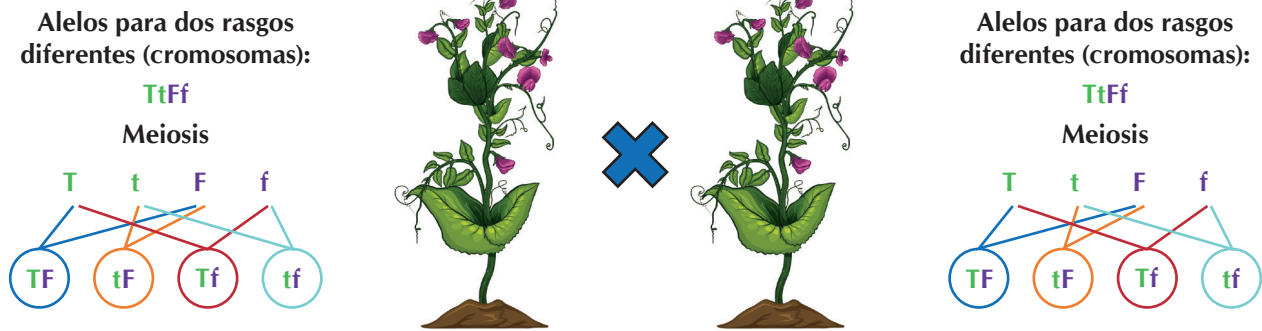


Figura 8.16 Representación de distribución independiente de alelos en los gametos que produce cada planta. Elaboración propia.

**Elaborar**

**Cruce dihíbrido (cuadro de Punnett) para comprobar la Ley de Distribución independiente**

Con la guía del docente, elaboren, el llenado del cruce dihíbrido. Se pueden ir turnando el llenado con una proyección de la tabla, y cada quien llena en su libro.

1. Llena el cuadro de Punnett, utilizando la información de los posibles gametos para cada planta heterocigota. Sigue el ejemplo:

		T	F	t	F	T	f	t	f
T	F	T	T	F	F				
t	F								
T	f								
t	f								

Los resultados obtenidos son combinaciones de alelos para 16 individuos, que muestran diferencias en su fenotipo. Aunque hay nueve combinaciones distintas de rasgos, la manifestación física de los genes puede variar; por ejemplo:

- El **genotipo TTFF** tendrá un **fenotipo de planta de tallo alto y flores moradas**.
- El **genotipo TtFf** tendrá el mismo fenotipo que el anterior.

2. Escribe en las líneas el genotipo, ordenándolos de dominante a recesivo. La proporción genotípica de este cruce dihíbrido es:

1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1  
 \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_



En este tipo de experimentos, a pesar de diferentes genotipos, la dominancia de los genes se verá expresada en los fenotipos.

Analiza los demás fenotipos y determina la proporción fenotípica. Los posibles fenotipos de los descendientes que se pueden obtener del cruce de **TtFf** con **TtFf** son los siguientes. Primero, colorea los diferentes fenotipos en la tabla y luego determina su proporción:

Fenotipo	Frecuencia	Proporción
a) Colorea de azul las casillas que correspondan a plantas de <b>tallo alto con flor morada</b>		
b) Colorea de rosa las casillas que correspondan a plantas de <b>tallo alto con flor blanca</b>		
c) Colorea de naranja las casillas que correspondan a plantas de <b>tallo enano con flor morada</b>		
d) Colorea de lila las casillas que correspondan a plantas de <b>tallo enano con flor blanca</b>		

 **Elaborar**

**Reforzando lo aprendido sobre las leyes de Mendel**

• **Caso hipotético I:**

El **albinismo** es una condición genética caracterizada por la falta de pigmentación en la piel, cabello y ojos; es recesivo (a), mientras que la pigmentación normal es dominante (A). Los **lóbulos de las orejas pegados** son un rasgo recesivo (l), mientras que los lóbulos libres son dominantes (L).

Consideremos un cruce en el que el padre es heterocigoto para pigmentación normal (no albino) y tiene lóbulos de las orejas pegados, mientras que la madre es albina y es homocigota para lóbulos libres.



- a. ¿Cuál es el genotipo de la madre?  
\_\_\_\_\_
- b. ¿Cuál sería el genotipo del padre?  
\_\_\_\_\_
- c. ¿Cuáles son los cuatro gametos que puede producir la madre?  
\_\_\_\_\_
- d. ¿Cuáles serían los cuatro gametos producidos por el padre?  
\_\_\_\_\_






Suponiendo que los genes se segregan independientemente, imagina un caso de cruce de para 4 rasgos: Imagina un cruce entre dos individuos con diferentes alelos de cuatro genes no ligados: **AaBbCcDd x AABbCcdd**. Si quisieras calcular la probabilidad de obtener descendencia con el fenotipo dominante para los cuatro rasgos, puedes aplicar la misma lógica que en los cruces monohíbridos pero cada rasgo. Para que un organismo tenga el fenotipo dominante en los cuatro rasgos, debe tener: una o más copias del alelo dominante A, una o más copias del alelo dominante B, una o más copias del alelo dominante C y una o más copias del alelo dominante D.

Cruce	Genotipo de la progenie		
	AA	Aa	aa
AA × AA			
AA × Aa	0.5	0.5	0
AA × aa			
Aa × Aa			
Aa × aa			
aa × aa			

Para cada cruce (fila), determina la probabilidad de que ocurra homocigoto dominante (AA), heterocigoto (Aa) u homocigoto recesivo (aa). Sigue el ejemplo. Por cada cruce debe sumar 1 (100%).

**1. Probabilidad de obtener una o más copias del alelo dominante A:**

La probabilidad es 1. Como uno de los progenitores es **AA**, todos los descendientes recibirán al menos una copia del alelo dominante A. Esto se debe a que el progenitor siempre aporta un alelo A, por lo que no hay posibilidad de obtener descendencia con el alelo recesivo aa. Todos los descendientes serán **AA** o **Aa** y, por lo tanto, mostrarán el fenotipo dominante para este rasgo.

**2. Probabilidad de obtener una o más copias del alelo dominante B:**

La probabilidad es 3/4. Si dibujas un cuadro de Punnett para el cruce **Bb x Bb**, verás que tres de las cuatro combinaciones posibles (BB, Bb, Bb) contienen el alelo dominante B. Esto significa que el 75% de la descendencia tendrá el alelo B y, por lo tanto, expresará el fenotipo dominante. Solo una de las cuatro combinaciones será **bb**, lo que resultaría en un fenotipo recesivo.

**3. Probabilidad de obtener una o más copias del alelo dominante C:**

La probabilidad es 3/4. En este caso, el cruce es **Cc x Cc**. Si dibujas el cuadro de Punnett, verás que tres de las cuatro combinaciones posibles (CC, Cc, Cc) contienen el alelo dominante C. Esto significa que el 75% de la descendencia tendrá al menos una copia del alelo C y expresará el fenotipo dominante. Solo una combinación será **cc**, resultando en un fenotipo recesivo.

**4. Probabilidad de obtener una o más copias del alelo dominante D:**

La probabilidad es 1/2. En el cruce **Dd x dd**, si dibujas el cuadro de Punnett, verás que la mitad de la descendencia será **Dd**, con el alelo dominante D, mientras que la otra mitad será **dd**, sin el alelo dominante. Por lo tanto, el 50% de los descendientes mostrarán el fenotipo dominante.

**Cálculo de la probabilidad para los 4 rasgos:**

Tomando en cuenta los cálculos anteriores, por rasgo, ahora se multiplican las 4 probabilidades (una de cada rasgo), ya que son genes independientes entre sí, quedando de esta manera:

$$(1) \cdot (3/4) \cdot (3/4) \cdot (1/2) = 9/32$$

Esto significa que existe una probabilidad de 9 / 32 (o aproximadamente 28%) de que un descendiente de este cruce presente el fenotipo dominante para los cuatro rasgos.

- Siguiendo con el mismo caso hipotético (**AaBbCcDd x AABbCcdd**), ¿cuáles son las probabilidades de obtener descendencia con el fenotipo recesivo para los cuatro rasgos? Explica la respuesta
  - 1/32
  - 1/64
  - 3/16
  - 0

### Momento 3



### Evaluar

## Ejercicios de cruces polihíbridos

1. Una mujer homocigota dominante para los lóbulos libres, incapacidad de enrollar la lengua, heterocigota para hoyuelos, y homocigota recesiva para pecas, con genotipo **LLttDdpp**, se cruza con un hombre heterocigoto para los lóbulos (Ll), homocigoto recesivo para enrollar la lengua, heterocigoto para los hoyuelos y homocigoto dominante para pecas, con genotipo **LlTtDdPP**.

Si los rasgos son: lóbulos de las orejas libres (L) es dominante sobre lóbulos pegados (l); capacidad de enrollar la lengua (T) es dominante sobre la incapacidad de enrollarla (t); tener hoyuelos (D) es dominante sobre no tener hoyuelos (d); y tener pecas (P) es dominante sobre no tener pecas (p).

- a. ¿Cuál es la probabilidad de que la descendencia tenga lóbulos pegados, pueda enrollar la lengua, no tenga hoyuelos y no tenga pecas? Explica tu respuesta.
  - b. ¿Cuál es la probabilidad de que la descendencia tenga lóbulos de las orejas libres, no pueda enrollar la lengua, tenga hoyuelos y tenga pecas? Explica tu respuesta.
2. Una perra homocigota recesiva para el pelaje (bb), heterocigota para el pelaje corto (Ss), homocigota dominante para orejas erectas (EE), homocigota recesiva para la cola recta (cc), y heterocigota para nariz negra (Nn), con genotipo **bbSsEEccNn**, se cruza con un perro homocigoto dominante para pelaje negro (BB), heterocigoto para pelaje corto (Ss), heterocigoto para orejas erectas (Ee), homocigoto dominante para la cola enroscada (CC), y homocigoto recesivo para la nariz rosada (nn), con genotipo **BBSsEeCCnn**.
- a. ¿Cuál es la probabilidad de que la descendencia tenga pelaje marrón, pelaje largo, orejas caídas, cola recta y nariz rosada? Explica tu respuesta.
  - b. ¿Cuál es la probabilidad de que la descendencia tenga pelaje negro, pelaje corto, orejas erectas, cola enroscada y nariz rosada? Explica tu respuesta.

## Escrito reflexivo sobre la importancia de las aportaciones de Mendel para la Genética moderna

Elabora un texto breve en el que expliques por qué es importante comprender cómo ocurre la herencia de rasgos de una generación a otra, sobre todo cómo lo observas en ti y tu familia. Guíate de las siguientes preguntas para que elabores un texto continuo, de entre 2 y 3 párrafos:

- ¿Por qué las leyes de Mendel son fundamentales para la biología moderna?
- ¿Cómo ayudan a explicar la herencia de rasgos físicos en los seres vivos?
- ¿Qué características has heredado de tus padres y observas en tus familiares?
- ¿Cómo puede la genética mendeliana ayudarte a entender el riesgo de enfermedades hereditarias?
- ¿Cómo se aplican las leyes de Mendel para mejorar cultivos o ganado?
- ¿Deberíamos usar la genética para modificar rasgos o prevenir enfermedades? ¿Por qué?
- ¿Cómo ayudan las leyes de Mendel a proteger la diversidad genética en especies en peligro?



## Momento 1

Cada cromosoma consta de una sola molécula de ADN muy larga, y cada gen en un cromosoma es un segmento particular de ese ADN. La información genética que determina las características de las especies se encuentra en el ADN.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Comprender que todas las células contienen información genética en cromosomas y que cada cromosoma consta de una sola molécula de ADN muy larga, donde están las instrucciones para formar las características de las especies y que la información que se transmite de padres a hijos está codificada en las moléculas de ADN. Identifican que los genes son regiones del ADN que contienen las instrucciones que codifican la formación de proteínas, que realizan la mayor parte del trabajo de las células.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT4. Reconocer en un modelo como existen factores que intervienen en la modificación de comportamientos y características en los seres vivos.
- CT6. Describir las funciones de las estructuras internas y externas que ayudan a los organismos a sobrevivir, crecer y reproducirse.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones
- CT3. Medición
- CT4. Sistemas
- CT6. Estructura y función

### Prácticas de ciencia e ingeniería:

2. Desarrollar y usar modelos.
5. Analizar e interpretar datos.
7. Argumentar a partir de evidencias.

## Evaluación diagnóstica

**1. Ejemplo de dominancia incompleta:**

- a. Tipo de cabello.
- b. Grupo sanguíneo AB.
- c. Daltonismo.

**2. Ejemplo de herencia poligénica (dependen de la combinación de varios genes):**

- a. Grupo sanguíneo ABO.
- b. Estatura humana.
- c. Daltonismo.

**3. En la herencia mitocondrial, los genes se transmiten de generación en generación únicamente a través de:**

- a. Ambos padres.
- b. El padre.
- c. La madre.

**4. El color de piel en los seres humanos es un ejemplo de herencia poligénica, lo que significa que varios genes contribuyen a su expresión.**

- Verdadero.
- Falso.

**5. La hipercolesterolemia familiar es un ejemplo de codominancia:**

- Verdadero.
- Falso.

**6. Relaciona el tipo de herencia con su ejemplo correspondiente:**

Tipo de Herencia	Ejemplo
1. Dominancia incompleta	A. Hemofilia.
2. Herencia ligada al sexo	B. Color en algunas flores.
3. Herencia poligénica	C. Grupo sanguíneo AB.
4. Codominancia	D. Altura en humanos.

- a. 1A, 2D, 3B, 4C.
- b. 1B, 2A, 3D, 4C.
- c. 1C, 2A, 3B, 4D.

**7. En la herencia ligada al sexo, los genes están ubicados en los cromosomas \_\_\_\_\_. Un ejemplo de esta herencia en humanos es la/el \_\_\_\_\_.**

- a. autosómicos, hemofilia.
- b. X o Y, daltonismo.
- c. nucleares, grupo sanguíneo.

**8. En la epistasis, un gen puede \_\_\_\_\_ o \_\_\_\_\_ la expresión de otro gen, afectando así el fenotipo final. Un caso es el color de pelaje en algunos animales.**

- a. activar, combinar.
- b. intensificar, reducir.
- c. bloquear, enmascarar.

**9. La teoría cromosómica de la herencia establece que:**

- a. Los caracteres hereditarios se transmiten solo a través del ADN mitocondrial.
- b. Los genes están ubicados en los cromosomas y se segregan de manera independiente durante la meiosis.
- c. Todos los rasgos se heredan de forma idéntica sin importar el tipo de célula en la que se encuentren.

**10. Relaciona el concepto de herencia no mendeliana con su descripción:**

Concepto	Descripción
1. Epistasis.	A. Un gen afecta múltiples características.
2. Pleiotropía.	B. Varios genes determinan un solo rasgo.
3. Herencia poligénica.	C. Un gen bloquea la expresión de otro.

- a. 1A, 2C, 3B.
- b. 1B, 2A, 3C.
- c. 1C, 2A, 3B.



## Momento 2



### Enganchar

## La diversidad del cabello humano

La diversidad de rasgos heredados en los seres humanos, como el tipo de cabello, refleja la adaptación evolutiva de nuestros antepasados a diferentes ambientes, como con poca luz, mucho frío, o bien, con mucha radiación solar. Los genes guardan la información en la determinación de características del cabello como la forma, textura, grosor y color, que lejos de ser solo estéticas, nos muestran cómo los humanos se han adaptado a distintos climas a través del tiempo.

La **forma y textura** del cabello dependen de la estructura de los folículos pilosos, determinada principalmente por el **gen EDAR**. Los folículos redondos producen cabello liso, mientras que los folículos más ovalados generan cabello ondulado o rizado. Además, la textura del cabello es el resultado de una combinación de la **forma del folículo y su inclinación**. Por ejemplo, un folículo ovalado y muy inclinado puede producir un cabello rizado o crespo, mientras que un folículo redondo y más recto producirá cabello liso.

Además, el **grosor** del cabello en poblaciones asiáticas se ha relacionado con variaciones en los **genes EDAR y FGFR2**, y el **gen TCHH** se asocia con diferencias de **textura** en personas del norte de Europa.

El **color** del cabello está controlado por genes como el **MC1R**, que regula la producción de melanina. La eumelanina da tonos oscuros (negro/café), mientras que la feomelanina produce tonos más claros (rubio/pelirrojo). La pigmentación se ha adaptado evolutivamente, en función de la exposición solar y la necesidad de proteger o permitir la síntesis de vitamina D en diferentes entornos.

### 1. Con la guía de tu docente, participa en la discusión del papel de los genes en la herencia del tipo de cabello:

- ¿Cuántas características puede tener el cabello de las personas?
- ¿Cómo describirías el tipo de cabello que tienes y el de tus familiares? ¿consideras que se hereda cómo dijo Mendel?
- ¿Crees que el tipo de cabello que tienes podría tener alguna ventaja en el clima donde vives?
- ¿Conoces otros rasgos físicos en tu familia, además del cabello, que se repitan o que sean similares? ¿Cómo crees que sean los mecanismos de herencia para estos rasgos?
- ¿Te parece que el color o tipo de cabello puede ser más común en ciertos lugares o países? ¿A qué crees que se deba?
- Algunas características pueden variar por la influencia del ambiente, como el color de la piel con la exposición al sol. ¿Por qué crees que ocurre?



### Explorar

Elaboren una lista de características que se heredan en humanos, tanto los que pueden ver como rasgos físicos, síntomas de enfermedades, como aquellos que no son tan visibles, como grupo sanguíneo y predisposición a ciertas condiciones. Su docente les puede aportar algunas ideas también. Traten de analizar cómo ocurre el mecanismo de herencia de cada característica, y discutan si estos se pueden explicar con la herencia mendeliana o no. También consideren cuáles se heredan indistintamente del sexo y cuáles sí están relacionadas.

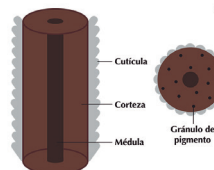
#### Forma del folículo piloso asiático



#### Forma del folículo piloso caucásico



#### Forma del folículo piloso africano



La textura, así como los pigmentos del cabello surgieron debido a adaptaciones al ambiente, como la radiación solar o la temperatura.





## Explicar

### Mecanismos de herencia posmedeliana

Los mecanismos que se analizarán en esta progresión no contradicen las ideas fundamentales de Gregor Mendel, sino que las amplían con un conocimiento más profundo y detallado. En la época de Mendel, la tecnología para observar y entender las moléculas de la herencia, como el ADN, aún no existía, lo que limitaba la capacidad para identificar fenómenos más complejos o incluso poder conceptualizar lo que es un cromosoma o un gen.

Con los avances actuales, sabemos que la herencia biológica es mucho más diversa y dinámica. Si bien hay genes que se expresan a través de mecanismos más sencillos, como el grupo sanguíneo ABO, también hay otros rasgos que combinan varios genes y mecanismos, como el color de ojos, la altura o el color de piel, donde intervienen múltiples genes y factores que generan una mayor diversidad. Con la variedad de mecanismos que se analizarán, se busca comprender cómo los genes interactúan de maneras más variadas, afectando la expresión de rasgos de formas que no siempre siguen los patrones sencillos que Mendel describió.

#### Dominancia Incompleta o intermedia



Este mecanismo se caracteriza por la expresión intermedia de los fenotipos cuando un organismo es **heterocigoto** en su genotipo (combinación de alelo dominante y alelo recesivo para un mismo gen). Es decir, en la expresión del fenotipo, ninguno de los alelos es completamente dominante, sino que será un fenotipo mezclado o combinado de la información de ambos alelos. Por tanto, no se podrá apreciar este mecanismo si se presenta en homocigoto.



El ejemplo más común de este mecanismo es el **color de las flores de *Mirabilis jalapa*** (bella de noche). Se puede observar que si se cruza una planta de flores rojas ( $C^R C^R$ ) con una planta de flores blancas ( $C^W C^W$ ) da lugar a plantas con flores de color rosa ( $C^R C^W$ ) en la descendencia (**fig. 9.1**). Otro ejemplo, **color de las plumas** en ciertas especies de aves, un cruce entre un ave de plumaje negro y otra de plumaje blanco puede dar lugar a una descendencia con plumaje gris, una mezcla de los colores de los padres. En humanos, un ejemplo es la **hipercolesterolemia familiar**, donde los individuos heterocigotos muestran una condición intermedia entre la normalidad y la enfermedad.



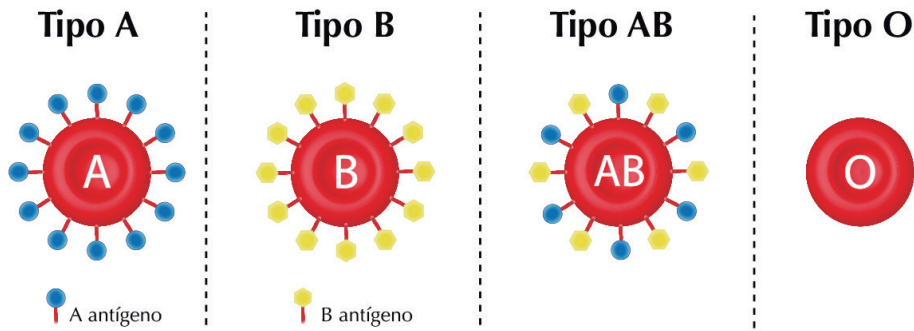
**Figura 9.1** Esta flor es un ejemplo clásico de este tipo de mecanismo, donde ambos rasgos (blanco y rojo) se expresan fenotípicamente (rosa).

#### Codominancia

En este tipo de herencia, ambos alelos en un heterocigoto se expresan de manera completa y simultánea, sin que uno domine al otro, ni se combinen como en herencia incompleta. Es decir, ambos alelos se manifiestan en el fenotipo, de forma independiente. Un ejemplo común de codominancia es el sistema de grupos sanguíneos en humanos, específicamente los alelos que determinan los grupos sanguíneos A y B (**fig. 9.2**), ambos alelos son dominantes. Por lo tanto, los alelos  $I^A$  y  $I^B$  (codifican el antígeno A y B, respectivamente) serán codominantes entre sí, si se presentan en el mismo organismo. Esto dará como resultado el grupo sanguíneo AB. Estos antígenos son proteínas que están presentes en la superficie de los glóbulos rojos, en expresión simultánea.

#### Alelos Múltiples

Siguiendo con el ejemplo de grupos sanguíneos ABO, encontramos que existen 3 alelos para el mismo rasgo, aunque un organismo solo puede recibir 2, por tanto, esto se conoce como alelos múltiples (**fig. 9.2**). Ya se revisó que están los alelos  $I^A$  y  $I^B$ , que son dominantes y el alelo recesivo es  $i$ , el cual no expresa ningún antígeno en la superficie de eritrocitos. Por tanto, una persona puede recibir diferentes combinaciones de estos 3 alelos, si los progenitores tienen estos genes. Por ejemplo, una persona puede heredar un alelo  $I^A$  o  $I^B$  junto con un alelo  $i$ , el alelo dominante ( $I^A$  o  $I^B$ ) se expresará, mientras que el alelo  $i$  no influirá en el fenotipo, resultando en los grupos sanguíneos A o B, respectivamente.



**Figura 9.2** Observa cómo pueden presentarse diferentes fenotipos del tipo sanguíneo, a partir de 3 alelos para el mismo rasgo (proteínas en superficie de eritrocitos).

**Elaborar**

**Tipos sanguíneos en mi familia**

- a. Pregunta a tus padres y hermanos (si tienes) cuáles son sus tipos sanguíneos y el tuyo.
  - ¿Cuáles son los tipos sanguíneos de tus padres, hermanos y el tuyo?
  - ¿Por qué crees que los tipos de sangre pueden ser diferentes entre familiares cercanos?

Explica cómo se hereda el tipo sanguíneo.

- b. ¿Qué pasa si hay una transfusión o donación de órganos en personas con grupos sanguíneos diferentes (incompatibles), aunque sean familia?

- Investiga cómo funciona el sistema inmunológico ante la presencia de un tipo de sangre incompatible.
- Explica brevemente qué son los antígenos y anticuerpos con relación a los tipos de sangre.

- c. Completa la tabla de compatibilidad de transfusiones de sangre. Marca con una ✓ los casos en los que una persona con el tipo de sangre de la columna puede donar a una persona con el tipo de sangre de la fila, y con una X donde no es posible.

**Nota informativa:** El factor Rh es una proteína en los glóbulos rojos, que completa el tipo sanguíneo de una persona: ABO más Rh. Las personas Rh positivo (Rh+) tienen esta proteína, mientras que las Rh negativo (Rh-) no. Por lo tanto, los Rh- solo pueden recibir sangre de donantes Rh-, y los Rh+ pueden recibir de Rh+ o Rh-.

Compatibilidad de grupo Sanguíneo ABO y Rh	O-	O+	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+
O-								
O+								
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								

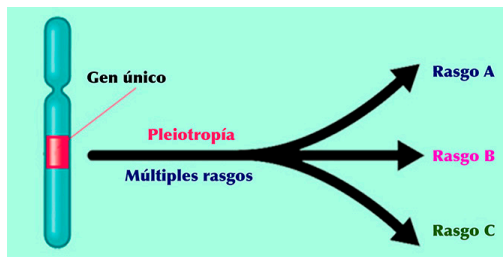
d. Analiza el concepto de “donador universal” y “receptor universal”:

- ¿Cuál es el tipo de sangre conocido como donador universal? ¿Por qué se le da este nombre?
- ¿Cuál es el tipo de sangre conocido como receptor universal? Explica la razón de esta clasificación.

e. A continuación, se presentan tres casos hipotéticos de personas que necesitan una transfusión de sangre. Con base en la tabla que completaste, responde quién puede donarles sangre en cada caso y por qué:

- **Caso 1:** Juan tiene tipo de sangre **A+** y necesita una transfusión. ¿Qué tipos de sangre serían compatibles para donarle?
- **Caso 2:** María tiene tipo de sangre **O-** y necesita una transfusión urgente. ¿Quiénes podrían donarle sangre?
- **Caso 3:** Carlos tiene tipo de sangre **AB+** y necesita sangre para una operación. ¿Quiénes podrían ser sus donantes?
- **Caso 4:** De tu familia, ¿quién te puede donar sangre y a quién le puedes donar tú?

f. Escribe una breve reflexión sobre cómo esta información puede ser vital en una emergencia médica. ¿Por qué es importante que cada persona conozca su tipo de sangre?

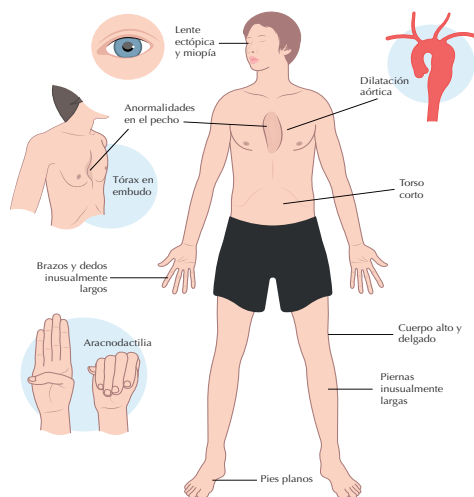


**Figura 9.3** Un solo gen puede influir en múltiples características a través de la pleiotropía. En este caso, un único gen afecta diferentes rasgos (A, B y C), lo que resalta cómo una variación en este gen puede generar efectos diversos en el organismo. <https://byjus.com/biology/pleiotropy/>

**Pleiotropía**

Este mecanismo implica que un solo gen tiene un impacto en diversos aspectos del cuerpo, lo que puede resultar en efectos amplios y diversos. Los genes que influyen en varias características, aparentemente no relacionadas, se conocen como pleiotrópicos (del griego pleio-, que significa muchos, y -trópico, que significa efectos). Este tipo de mecanismo es de relevancia para enfermedades, pero su influencia no se limita a ello. Un ejemplo clásico es la fenilcetonuria (PKU), una enfermedad causada por una mutación en el gen PAH que codifica la enzima fenilalanina hidroxilasa, cuya mutación afecta el metabolismo de la fenilalanina (no se convierte en tirosina) acumulándose en niveles tóxicos en el torrente, provocando daños neurológicos y, por otro lado, también influye en la producción de melanina, alterando la pigmentación de la piel. Es decir, una sola mutación genética puede causar **múltiples manifestaciones en el cuerpo**.

**Síndrome de Marfán**



**Figura 9.4** En el síndrome de Marfan surge de una mutación en un gen que luego tiene efectos sobre varios rasgos.

Otro ejemplo es el **síndrome de Marfan (fig. 9.4)**, causado por mutaciones en el gen **FBN1**, que afecta el tejido conectivo, pues codifica que codifica la proteína **fibrilina-1**. Las personas con este síndrome suelen ser altas y delgadas, con extremidades largas, y pueden presentar problemas esqueléticos, cardiovasculares y oculares. El mayor riesgo está en la dilatación de la aorta, lo que puede provocar complicaciones graves. Esto demuestra que un solo gen afecta múltiples sistemas del cuerpo, aparentemente no relacionados.

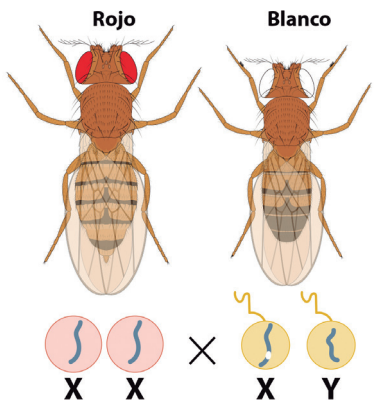
El **gen ABCC11** (cromosoma 16) influye en dos rasgos aparentemente no relacionados: el olor corporal y el tipo de cera en los oídos, presentando dos variantes principales: la dominante que está asociada con cera húmeda en los oídos y un olor corporal más fuerte, debido a una mayor actividad de las glándulas apocrinas. Por otro lado, la variante recesiva produce cera seca y se relaciona con un olor corporal menos pronunciado. Esta variante es especialmente común en algunas poblaciones de Asia Oriental.



### Teoría cromosómica de la herencia

Esta teoría, propuesta por **Sutton y Boveri** a principios del siglo XX, establece que los genes están ubicados en los cromosomas, y se segregan (se separan) durante la meiosis. Esto significa que los cromosomas, al **distribuirse independientemente** en los gametos. También ayuda a comprender cómo los genes se transmiten de una generación a otra y cómo la **recombinación cromosómica** durante la meiosis contribuye a la variabilidad genética. Sin embargo, aunque los cromosomas en sí se distribuyen independientemente, algunos genes ubicados cerca unos de otros en un mismo cromosoma tienden a heredarse juntos, lo que da lugar a los llamados **genes ligados** (fig. 9.5), que pueden encontrarse tanto en cromosomas autosómicos como en cromosomas sexuales.

Para investigar y comprobar estos conceptos, los científicos buscaron un organismo experimental que pudiera reproducirse rápidamente y ser sencillo de estudiar. Encontraron la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) (fig. 9.6), un insecto ideal para experimentos genéticos por su capacidad de producir una nueva generación cada 20 días, así como su simplicidad genética, pues cuenta con solo **cuatro pares de cromosomas**. Además, en algunos de sus tejidos, como las glándulas salivales, los cromosomas pueden alcanzar un tamaño 200 veces mayor que en otras células, facilitando su observación.

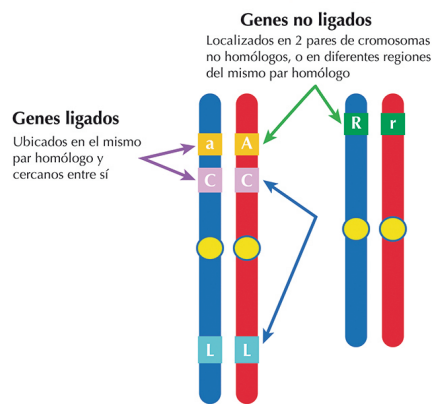


**Figura 9.6** Morgan utilizó una mutación para el color de ojos, en los cromosomas sexuales, para sus experimentos. El color rojo es la variación silvestre normal y los ojos blancos es la variación mutante.

alta probabilidad de recombinación durante la meiosis, separándose en diferentes gametos. Por otro lado, están los genes HLA (Human Leukocyte Antigen) están en el **cromosoma 6**, en una región llamada Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC), que codifican para sintetizar antígenos (proteínas) ayudan al sistema inmunológico a reconocer células propias y extrañas, están organizados en tres clases principales. Todos estos genes están muy próximos entre sí, lo que significa que suelen heredarse juntos y funcionan en conjunto para coordinar la defensa del cuerpo frente a patógenos y otros elementos extraños.

### Herencia ligada a cromosomas sexuales

Los **genes ligados al sexo** son un tipo específico de genes ligados que se encuentran en los cromosomas sexuales (X o Y), par 23. En humanos, la mayoría de estos genes están en el cromosoma X (800-900 genes), que contiene muchos más genes que el cromosoma Y (60-70). Debido a que los hombres tienen un solo cromosoma X (XY) y



**Figura 9.5** Los genes ligados están ubicados en el mismo par de cromosomas homólogos y cercanos entre sí, lo que facilita su herencia conjunta. En contraste, los genes no ligados se encuentran en cromosomas no homólogos o en diferentes regiones del mismo par homólogo, lo que permite su transmisión independiente durante la meiosis.

El embriólogo **Thomas Hunt Morgan**, en 1915, publicó el libro *El mecanismo de la herencia mendeliana*, donde interpretó las leyes de Mendel a la luz de la teoría cromosómica, utilizando sus investigaciones con la *Drosophila melanogaster*. Este trabajo le permitió demostrar que los genes están efectivamente en los cromosomas y que no todas las distribuciones de genes son independientes, ya que observó que algunos genes están ligados en un mismo cromosoma. También descubrió que, en ocasiones, pueden ocurrir **errores en la división del material genético**, como duplicaciones, translocaciones y deleciones, lo que lleva a alteraciones genéticas. En 1934, Morgan recibió el Premio Nobel por sus trabajos en genética con *Drosophila*.

### Genes ligados en autosomas

Un ejemplo clásico es el de los genes que controlan el **color y la forma de las semillas en guisantes**, estudiados por Mendel. En humanos, los genes INS (insulina) y HBB (hemoglobina beta) están ambos en el **cromosoma 11**, pero no necesariamente se heredarán juntos, ya que están relativamente alejados (500 kilobases de distancia, aprox.), lo cual permite una

las mujeres tienen dos (XX), los genes ligados al sexo muestran patrones de herencia diferentes en hombres y mujeres. Por ejemplo, trastornos como el **daltonismo**, **hemofilia** y **distrofia muscular de Duchenne**, causados por alelos recesivos en el cromosoma X, se presentan más comúnmente en hombres porque solo necesitan una copia del alelo mutado para que el rasgo se exprese, mientras que las mujeres son portadoras (heterocigoto), y solo presentarán la condición si son homocigotos recesivos.

La **hemofilia** (fig. 9.7) es una enfermedad caracterizada por la falta de adecuada **coagulación sanguínea**, causada por la deficiencia de una proteína llamada **factor antihemofílico**. En las personas que padecen esta enfermedad, la sangre no coagula correctamente, por lo que pueden experimentar hemorragias severas incluso por heridas menores. La hemofilia se hereda a través de un **gen en el cromosoma X**, lo que significa que, en la mayoría de los casos, las mujeres portan y transmiten la enfermedad, pero solo los hombres la manifiestan. Un caso histórico notable es el de la **reina Victoria de Inglaterra**, quien fue portadora y transmitió el trastorno a varios de sus hijos y nietos varones, lo que tuvo repercusiones significativas en las familias reales de España y Rusia.

El **daltonismo** (fig. 9.8) es una condición genética que provoca **ceguera para los colores rojo y verde**. Las personas con daltonismo tienen dificultad para distinguir entre estos colores, lo cual puede llevar, por ejemplo, a confundir una señal de tránsito roja con una verde. La ceguera al color afecta aproximadamente al 4% de los hombres y al 1% de las mujeres.

La **distrofia muscular de Duchenne** es una enfermedad genética causada por mutaciones en el **gen DMD**, que codifica la proteína distrofina y se encuentra en el cromosoma X, causando un agrandamiento de los músculos al inicio, seguido de un progresivo deterioro muscular. Se manifiesta generalmente alrededor de los seis años y es una enfermedad degenerativa que afecta principalmente a los músculos esqueléticos.



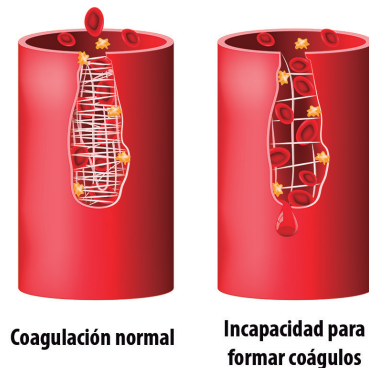
**Elaborar**

**Análisis del rasgo de color de ojos en la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)**

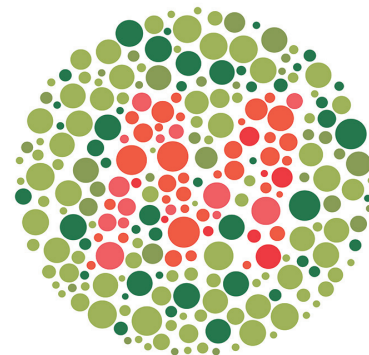
Este rasgo está ligado al cromosoma sexual X, donde el color de ojos rojo es el color dominante y más común en la naturaleza, representado por el símbolo  $X^R$  (donde "R" indica "Red" o rojo). Por otro lado, el color de ojos blanco es una mutación, y solo se expresa en condición recesiva, se representa con el símbolo  $X^w$  (donde "w" indica "white" o blanco).

Dado que las hembras tienen dos cromosomas X (XX), requerirían dos alelos recesivos para tener ojos blancos, mientras que, en los machos, al tener un solo cromosoma X, solo pueden heredar un alelo para el color de ojos ( $X^R Y$ , ojos rojos, o  $X^w Y$ , ojos blancos). Como los machos solo poseen un cromosoma X, cualquier alelo presente en este cromosoma se expresará en su apariencia o fenotipo, ya que no hay un segundo alelo en el cromosoma Y para enmascararlo.

- a. Supongamos que tenemos una pareja de progenitores, hembra de ojos rojos ( $X^R X^R$ ) y un macho de ojos blancos ( $X^w Y$ ), por lo tanto, estos son los posibles gametos que pueden producir, y a partir de ellos tener



**Figura 9.7** Al romperse un vaso sanguíneo, ocurre una cascada de señalizaciones para cerrar temporalmente la herida. En condición de hemofilia no ocurre adecuadamente, por lo que la persona puede sufrir pérdidas importantes de sangre.



**Figura 9.8** Parte de la prueba de Ishihara, permite identificar daltonismo, que afecta la percepción de colores, especialmente entre tonos rojos y verdes ¿qué imagen observas al centro?

descendencia. Llena el cuadro de Punnett para la generación filial 1 ( $F_1$ ), identifica si son hembras o machos y el color de ojos:

**Rojo**                      **Blanco**

♀                                      ♂

X X                                      X Y

Coloca dentro de cada casilla el color de ojos, y con base en la combinación de cromosomas sexuales, si es hembra o macho.

**F<sub>1</sub>**

b. Ahora, supongamos que hay un cruce entre 2 individuos de la  $F_1$ , por lo que se tendrá otra descendencia. Dibuja los cromosomas de los progenitores de  $F_1$  y luego llena el cuadro de Punnett para  $F_2$ .

**Cromosomas progenitores F1**

Dibuja los gametos con el cromosoma que portan. Coloca dentro de cada casilla el color de ojos, y con base en la combinación de cromosomas sexuales, si es hembra o macho.

**F<sub>2</sub>**

c. Llena la siguiente tabla con la información de los cuadros de Punnett  $F_1$  y  $F_2$ :

Generación	Genotipos posibles	Proporción de Genotipos	Fenotipos posibles	Proporción de Fenotipos
$F_1$				
$F_2$				

d. ¿Existen diferencias en la expresión de color de ojos entre los descendientes machos y hembras? ¿Por qué?

e. ¿Cómo afecta el hecho de que el gen esté ligado al cromosoma X en los resultados?





**Figura 9.9** Calvicie de patrón masculino causada por sensibilidad a la dihidrotestosterona (DHT), que reduce el tamaño de los folículos pilosos y debilita el crecimiento del cabello, provocando pérdida progresiva en áreas específicas del cuero cabelludo.

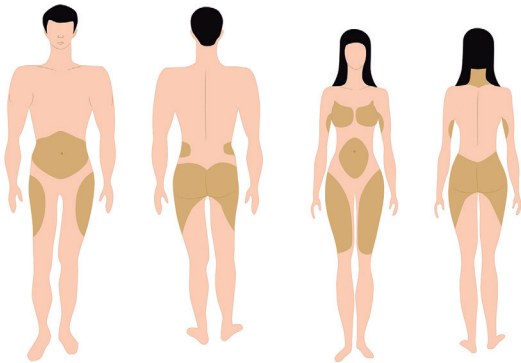
### Rasgos influidos por el sexo

Son rasgos autosómicos (cromosomas no sexuales) que pueden expresarse en ambos sexos, pero con distinta intensidad o frecuencia según el sexo, debido a la influencia de hormonas sexuales. Un ejemplo es la **calvicie de patrón masculino (fig. 9.9)**, cuya expresión es más intensa en los hombres debido a la acción de las hormonas masculinas, en especial la dihidrotestosterona (DHT). En las mujeres requerirían ambas copias, se puede manifestar en menor grado y con menor frecuencia. Por otro lado, está la **distribución de grasa corporal (fig. 9.10)**, influenciada por hormonas sexuales, como la testosterona y el estrógeno, las cuales influyen en cómo y dónde se distribuye. Los patrones son en las caderas en mujeres, o en el abdomen en hombres.

### Rasgos limitados por el sexo

También refiere a rasgos autosómicos que solo se expresan en un sexo, aunque ambos porten los genes, debido a la **influencia de hormonas sexuales** para activarse o manifestarse en mayor o menor grado, que por lo general limita el rasgo, dependiendo del sexo, en niveles normales de hormonas. Por ejemplo, el **crecimiento de la barba (fig. 9.11)**, ya que tanto hombres como mujeres poseen los genes que regulan el crecimiento del vello facial, en los hombres se activan debido a niveles elevados de testosterona.

En las mujeres, esos genes permanecen inactivos debido a las menores concentraciones de esta hormona. La **producción de leche en las glándulas mamarias (fig. 9.12)**, pues ambos sexos tienen los genes para la producción de leche, solo en las mujeres se activan debido a hormonas como la prolactina y la oxitocina, que se producen en mayor cantidad durante el embarazo y la lactancia.



**Figura 9.10** Distribución de grasa subcutánea en hombres y mujeres.



**Figura 9.11** La barba es influenciada por testosterona, mucho más elevada en hombres.



**Figura 9.12** La producción de leche materna es especializada para el sexo femenino.

### Interacción génica

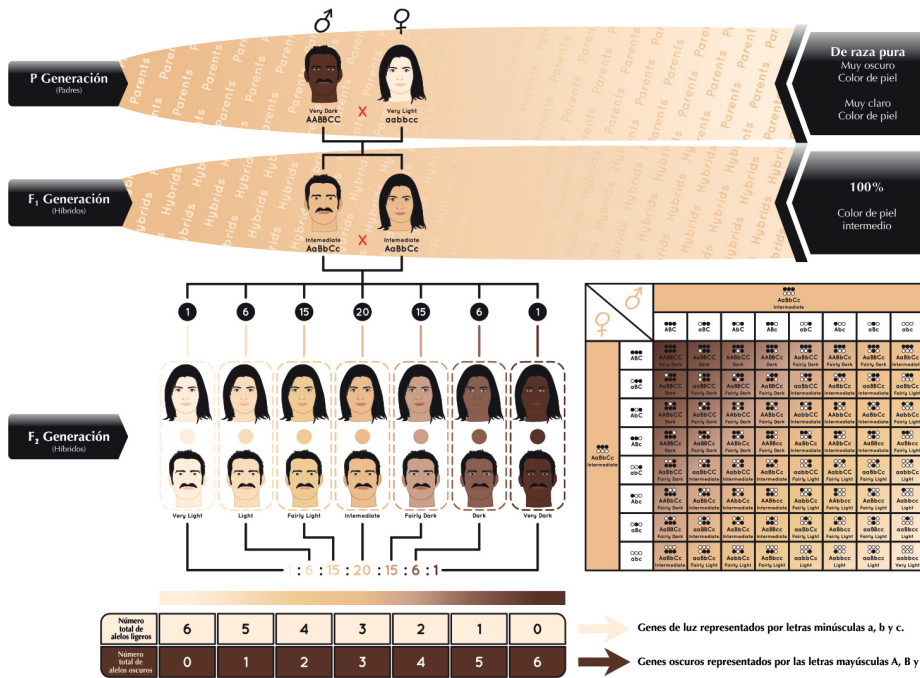
Se refiere a cuando varios genes colaboran para determinar un rasgo. En humanos, muchos rasgos importantes, como el color de la piel y la altura, son resultado de la interacción entre varios genes.

### Herencia poligénica

Este mecanismo de herencia se refiere a características determinadas por la acción combinada de varios genes, lo que produce una gran variabilidad en los fenotipos. A diferencia de los rasgos controlados por un solo gen, en los rasgos poligénicos, cada gen involucrado tiene un efecto aditivo, cuantos más genes participen, mayor será la variabilidad en los fenotipos. Ejemplos comunes de herencia poligénica incluyen la **altura**, el **color de piel**, el **color de ojos**, el **peso corporal** y el **tipo de cabello**.

El rasgo de **altura** está influenciado por alrededor de 400 genes que afectan el crecimiento de los huesos y otros tejidos. Algunos de estos genes son **FGFR3**, **GDF5** y **HMG2** que tienen funciones específicas relacionadas con el

desarrollo óseo; **FGFR3** regula el crecimiento de los huesos largos, y las variaciones en este gen pueden contribuir a diferentes longitudes; **GDF5**, por su parte, influye en la formación de cartílago y articulaciones, mientras que **HMGA2** se asocia con el crecimiento celular en diversas partes del cuerpo. Estas pequeñas contribuciones genéticas, al sumarse, determinan la altura final de una persona. Sin embargo, factores ambientales como la nutrición también pueden modificar el resultado, ya que una alimentación inadecuada impedirá que el potencial genético se exprese completamente.



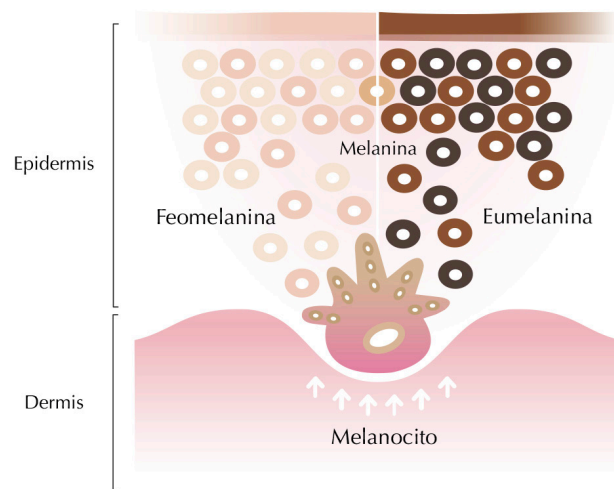
QR Video

HHMI Biointeractive: La biología del color de la piel: <https://youtu.be/e6wyo2Y-vjQ>

**Figura 9.13** Suponiendo que una generación parental (homocigota para alelos claros y oscuros) tiene descendencia ( $F_1$ ), estos serían de individuos heterocigotos. Si a su vez, heterocigotos tuvieran descendencia ( $F_2$ ), los individuos tendrían posibilidad de presentar una amplia de tonos de piel, resultado de la herencia poligénica.

La variedad de **color de la piel** (fig. 9.13) depende de la acción conjunta de al menos 100 genes. entre los genes principales para la pigmentación, es decir, que regulan la **producción de melanina** (fig. 9.14), se pueden destacar 3. El gen **MC1R** produce un receptor en la membrana de melanocitos, que, al activarse, favorece la producción de eumelanina (marrón-negro) sobre feomelanina (rojo-amarillo), lo cual oscurece el tono de piel y aumenta la protección contra la radiación UV. **OCA2** codifica una proteína importante para la producción y transporte de melanina en los melanocitos, afectando especialmente el color de ojos y piel, mientras que **TYR** (tirosinasa) es indispensable en las primeras etapas de síntesis de melanina. La variación en estos genes da lugar a una amplia diversidad de tonos de piel en la población.

**Figura 9.14** Los melanocitos producen feomelanina y eumelanina, pigmentos regulados por varios genes en un proceso de herencia poligénica que define los tonos de piel.





## Epistasis

La **epistasis** es una interacción genética en la que un gen (**epistático**), puede enmascarar o bloquear la expresión de otro gen (**hipostático**), que también influye en el mismo rasgo. Esto quiere decir que el fenotipo final no depende solo de cada gen por separado, sino de cómo interactúan entre ellos. Hay varios tipos de epistasis, con diferentes proporciones fenotípicas, llamadas proporciones epistáticas.



QR página web

US National Library of Medicine (NLM)  
El grupo sanguíneo Hh (Fenotipo bombay): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2268/>

En la **epistasis simple dominante** (12:3:1), un alelo dominante de un gen oculta el efecto del otro gen. En la **epistasis simple recesiva** (9:3:4), un alelo recesivo de un gen bloquea la acción del segundo gen. La **epistasis doble recesiva** (9:7) sucede cuando ambos genes, en su forma recesiva, producen el mismo fenotipo. En la **epistasis doble dominante** (15:1), cualquiera de los alelos dominantes de los dos genes genera el mismo efecto. Por último, en la **epistasis dominante-recesiva** (13:3), un alelo dominante de un gen y un alelo recesivo de otro producen el mismo fenotipo.

Un ejemplo en humanos es el **fenotipo Bombay**, un rasgo genético raro que afecta la expresión fenotípica de los grupos sanguíneos ABO, ocurriendo en 1 /10,000 individuos en India y 1 en un millón en Europa. En el sistema ABO, el **antígeno H** es el precursor sobre el cual actúan las enzimas de los genes **A** y **B** para agregar azúcares específicos, que confieren la identidad antigénica A o B. El gen **H** es dominante y común, permitiendo que la sustancia H esté presente en la mayoría de las personas. Sin embargo, en individuos homocigóticos **hh** (fenotipo Bombay), no se produce la sustancia H. Aunque hereden los genes A o B, no podrán expresar estos antígenos y se comportan como si fueran del grupo **O**, produciendo anticuerpos anti-A, anti-B y anti-H, y solo pueden recibir sangre de otro individuo Bombay. Esto es un caso de **epistasis simple recesiva**, donde el genotipo **hh** enmascara los efectos de los genes ABO, alterando la proporción esperada.



**Figura 9.15** El albinismo puede presentarse en organismos que normalmente sintetizan melanina pero que tienen un bloqueo en la ruta de síntesis de este pigmento.

El **albinismo** (fig. 9.15) causado por el gen recesivo de TYR (*tyr*) es un caso de epistasis simple recesiva, ya que la ausencia de tirosinasa bloquea completamente la síntesis de melanina, que es una ruta metabólica. Aunque existan otros genes que regulan el tipo y tono de pigmento, como OCA2 y MC1R, el genotipo *tyr/tyr* enmascara sus efectos, impidiendo cualquier producción de pigmento y, por lo tanto, cualquier variación en el color de piel, cabello u ojos.



**Figura 9.16** La calabaza es una planta con centro de origen en Mesoamérica y ha sido domesticada desde hace 8,000-10,000 años por culturas indígenas, quienes prefirieron ciertos pigmentos sobre otros.

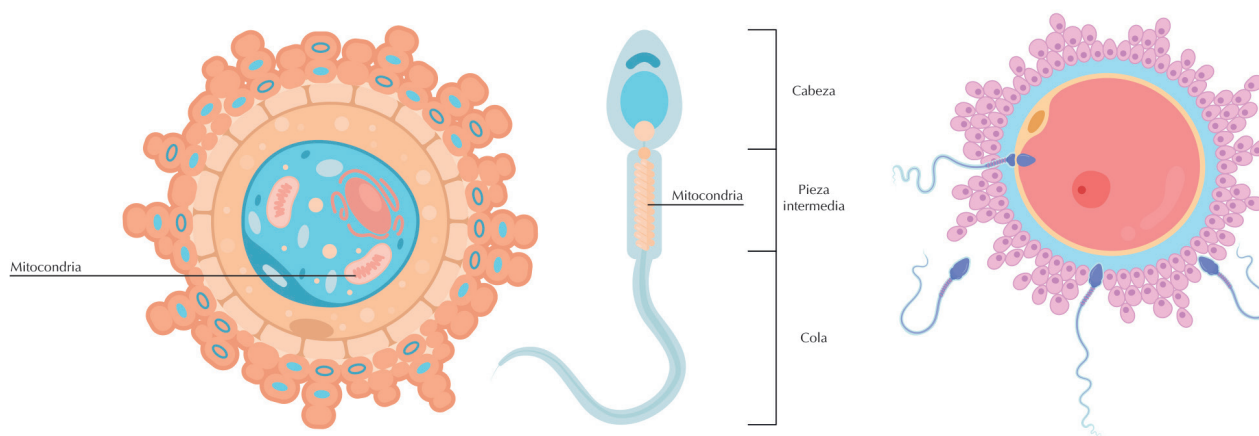
En las calabazas de *Cucurbita pepo* (fig. 9.16), el color blanco de la cáscara es el resultado de una **epistasis doble dominante**, la cual implica que si cualquiera de los genes relacionados con el color (A o B) tiene un alelo dominante (A\_ o B\_), se bloquea la producción de clorofila, resultando en una cáscara blanca (no es albinismo). Solo cuando ambos genes están en su forma recesiva (aabb) la cáscara será verde. La proporción epistática es 15:1, donde 15 de cada 16 plantas tendrán cáscara blanca y solo una será verde. Una cáscara blanca destaca en el entorno, atrayendo a animales dispersores de semillas y, además, reduce el daño solar en zonas cálidas. En cambio, el color verde, al mezclarse con el follaje, es menos visible. El color naranja es expresado por otros genes diferentes.



### Herencia mitocondrial (Materna)

También conocida como **herencia materna**, es un tipo de transmisión genética del ADN mitocondrial (ADNmt), un tipo de ADN circular, que contiene 37 genes, heredados exclusivamente vía madre-hijos (**fig. 9.17**). Esto se debe a que durante la fecundación solo permanecen las mitocondrias del óvulo, pues las mitocondrias del espermatozoide quedan fuera. Las mitocondrias son organelos responsables de producir energía en las células, y su ADN contiene genes importantes para la función celular. La madre puede heredar mutaciones en su ADNmt, como **neuropatía óptica hereditaria de Leber (LHON)**, que causa pérdida de visión, y el **síndrome de MELAS** (encefalomiopatía mitocondrial, acidosis láctica y episodios similares a un accidente cerebrovascular), que afecta el sistema nervioso y los músculos.

También pueden ocurrir enfermedades causadas por mutaciones en genes del ADN nuclear que afectan a las mitocondrias, pero no depende de este tipo de herencia.



**Figura 9.17** Observa la ubicación de las mitocondrias en ambos gametos, y al momento de la fecundación solo quedan las mitocondrias del óvulo, es decir, del lado materno.

El ADNmt permite trazar linajes maternos, pues su herencia no requiere recombinación (no se mezcla con el ADN paterno), por lo tanto, su secuencia cambia muy lentamente con el tiempo, solo por mutaciones, que son acumuladas, generando ramas o linajes genéticos conocidos como **haplogrupos mitocondriales**. Actualmente se utilizan para estudiar la distribución de poblaciones antiguas y los patrones migratorios humanos.

Por ejemplo, los haplogrupos **L** se encuentran en África, indicando el origen de la humanidad, mientras que otros haplogrupos como **H** y **J** son comunes en Europa, y **A**, **B**, **C** y **D** en Asia y las Américas.

### Análisis genético en humanos

Los árboles genealógicos son una herramienta útil para el análisis genético. Los genetistas los usan para estudiar cómo se transmiten rasgos y enfermedades a través de generaciones. Su función principal es **mapear patrones de herencia** para comprender la **predisposición genética** de una familia hacia ciertas características o condiciones. Los genetistas recopilan datos familiares sobre parentesco y salud, organizándolos en un **esquema gráfico**, tipo diagrama, que muestra relaciones entre miembros y patrones hereditarios, como la herencia dominante, recesiva o ligada al sexo. De esta manera, se puede predecir la probabilidad de que futuras generaciones lo hereden.

Esta análisis puede complementarse con estudios moleculares, como pruebas de ADN o secuenciación genética, para confirmar la presencia de mutaciones específicas y comprender mejor las bases genéticas de ciertas enfermedades. Los especialistas pueden informar sobre riesgos hereditarios y las posibles opciones de prevención.

## Herencia y Evolución Biológica

Para construir y leer estos árboles, se emplea una simbología estándar (fig 9.18) para representar a los miembros de la familia y sus relaciones: los **cuadrados** representan a los hombres y los **círculos** a las mujeres. Si están rellenos o sombreados indican que la persona tiene la condición o rasgo estudiado, mientras que los **símbolos vacíos** representan que no lo presenta. Cuando un símbolo está medio relleno o tiene un círculo en el centro, indica que la persona es **portadora**, ya sea en herencia autosómica o herencia ligada al cromosoma X, respectivamente. Para mostrar las relaciones familiares, se emplean **líneas horizontales** que unen a los padres y **líneas verticales** que conectan a los padres con sus hijos, formando cada generación. Los individuos se nombran con el número de generación (romano) y un número arábigo, numerado de izquierda a derecha, en cada generación. Por ejemplo, III-2.



### Elaborar

1. Analicemos el siguiente árbol genealógico de 4 generaciones, donde hay individuos portadores y afectados por el albinismo, un rasgo autosómico recesivo:

- El genotipo y fenotipo de los individuos de la generación I son:  
\_\_\_\_\_
- El de los hijos de generación I, (generación II):  
\_\_\_\_\_
- El de los hijos de la segunda pareja de la generación II:  
\_\_\_\_\_
- Quiénes son portadores: \_\_\_\_\_
- Quiénes presentan albinismo: \_\_\_\_\_

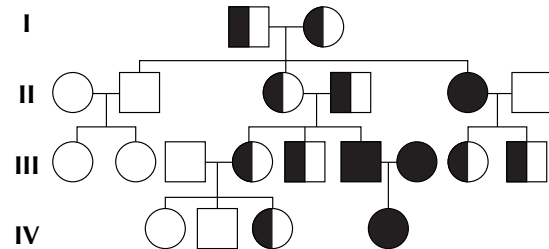
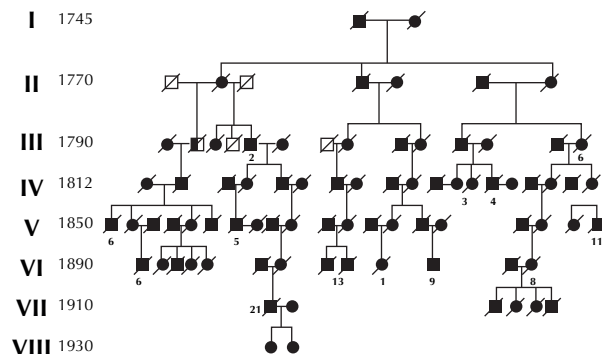


Figura 9.18 Simbología estándar en un árbol genealógico.

2. Analiza el siguiente árbol genealógico del seguimiento de la transmisión de la enfermedad de Alzheimer familiar de inicio temprano (EOFAD) causada por la mutación E280A, el cual es dominante, lo cual significa que una sola copia del alelo basta para desarrollar EOFAD. El estudio se realizó en Antioquia, Colombia, donde destacan veinticuatro familias afectadas, lo que sugiere una alta concentración de casos. En particular, los registros genealógicos de trece familias revelan un par de ancestros comunes que vivieron en 1745.



La enfermedad de Alzheimer (EA) es un trastorno cerebral que se caracteriza por la acumulación de placas de amiloide, la formación de estructuras conocidas como "ovillos", la pérdida de conexiones entre las neuronas y la muerte celular en el cerebro. Existen dos formas principales de Alzheimer: la de inicio temprano y la de inicio tardío. La forma de inicio temprano afecta a personas entre los 30 y 60 años y representa menos del 5% de todos los casos. La mayoría de los casos de inicio temprano tienen un origen genético y están vinculados a mutaciones en uno de estos tres genes: presenilina-1 (PSEN1), presenilina-2 (PSEN2) o la proteína precursora del amiloide (APP).

Observa e interpreta el árbol para determinar qué tipo de herencia está ocurriendo, de forma general.

- ¿Qué datos se están representando?
- Trata de explicar la herencia desde la primer pareja.
- Con los datos dados, ¿es posible saber si la mutación ocurrió antes de la primera pareja?
- ¿Qué pasó con la descendencia de los matrimonios con una pareja sin la condición EA?

### Preguntas de discusión más específicas

- A partir del árbol genealógico, ¿se puede inferir si la herencia de la mutación en el gen PSEN1 es dominante o recesiva? Explica tu razonamiento.
- Con base en el árbol genealógico, ¿es posible determinar si la mutación en PSEN1 es autosómica o ligada al sexo? Justifica tu respuesta.
- Dado que se ha establecido que la mutación en el gen PSEN1 es autosómica dominante, ¿la madre del hijo no afectado en la generación III (representado como cuadrado blanco) sería heterocigótica o homocigótica para la mutación? Explica.
- Calcula la probabilidad de que una pareja tenga hijos sin la mutación en los siguientes casos:
  - o Uno de los padres es homocigoto para la mutación y el otro no porta la mutación.
  - o Uno de los padres es heterocigoto para la mutación y el otro no porta la mutación.

Ambos padres son heterocigotos para la mutación.

- ¿Es posible determinar a partir de este árbol genealógico cuándo ocurrió la mutación inicial en el gen PSEN1? Justifica tu respuesta.
  - ¿Cómo lograron los investigadores construir el árbol genealógico si la mayoría de los familiares ya habían fallecido y no se disponía de su ADN para el análisis?
3. Como actividad adicional, se puede realizar la actividad de **pedigrís para determinar cómo se hereda la tolerancia/intolerancia a la lactosa**, para cual, primeramente, se sugiere ver el video de **¿Tienes lactasa? La coevolución de los genes y la cultura.**



QR página web

US National Library of Medicine (NLM) - Lalli et al. (2014) Origin of the PSEN1 E280A mutation causing early-onset Alzheimer's disease: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4019728/>

## Momento 3



### Evaluar

Resuelve la siguiente actividad que consta de 2 partes.

#### Parte 1

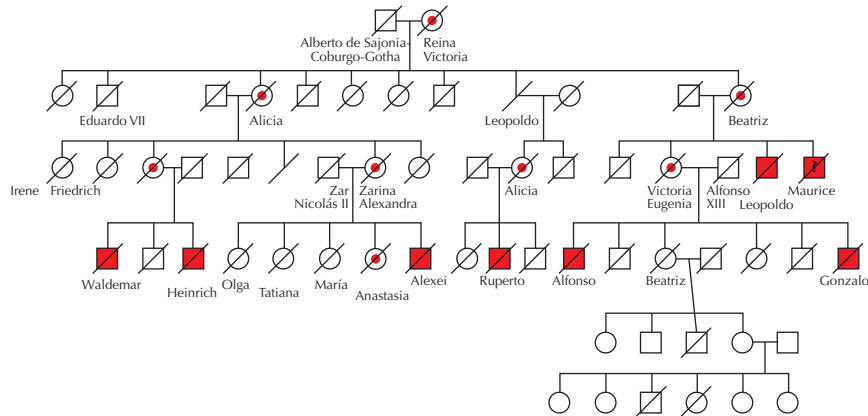
- Con la información que registraron de la actividad de "tipos sanguíneos en mis familia", elabora un árbol genealógico. Tal vez sea necesario buscar más información para tratar de que abarcar 3 generaciones, de ser posible. Anota los posibles alelos para cada individuo.
- Asimismo, indaga los tipos sanguíneos más comunes en Sinaloa y en México, junto con sus frecuencias aproximadas, y trata de explicar por qué ocurren estos porcentajes.
- Responde las siguientes preguntas para el análisis:
  - Explica la función de cada gen y los alelos implicados en los tipos ABO y Rh (positivo o negativo).
  - Indica las posibles combinaciones de estos dos sistemas y expliquen cómo contribuyen a la diversidad de tipos sanguíneos.
  - Explica los mecanismos de herencia que se manifiestan en el tipo sanguíneo (sistema ABO y en el factor Rh).



- d. En caso de una emergencia, ¿qué tipos de sangre podrías recibir y a quiénes podrías donarle?
- e. Toma como referencia la tabla de compatibilidad y explica por qué ciertos tipos de sangre pueden o no ser aceptados en donaciones, considerando tanto el sistema ABO como el factor Rh. Utiliza el concepto de antígeno.
- f. ¿Por qué es importante conocer esta información sobre compatibilidad sanguínea a nivel personal, familiar y comunitario?

Parte 2

- 4. Observa el siguiente árbol genealógico, mostrando la transmisión de hemofilia desde la Reina Victoria de Inglaterra hacia sus descendientes en las familias reales europeas. La transmisión a lo largo de las generaciones, ya que varias de sus hijas y nietas portadoras transmitieron el gen a sus propios descendientes en familias reales como la española, la rusa y la alemana.
- 5. Preguntas sobre la enfermedad de hemofilia (puedes encontrar la información en el artículo del QR).
  - a. ¿En qué cromosoma y gen ocurre el error para esta enfermedad?
  - b. ¿Qué molécula se afecta con este gen defectuoso y cuáles son sus consecuencias?
  - c. ¿Qué tipo de hemofilia es y qué tan grave es?
  - d. ¿Cuáles son los motivos de que esta enfermedad se haya dispersado en las casas reales?



Adaptado de: Genotype Analysis Identifies the Cause of the “Royal Disease” (2009). <https://doi.org/10.1126/science.1180660>. (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19815722/>).

- 6. Responde las siguientes preguntas para el análisis del árbol:
  - a. Si ninguno de los padres de la reina Victoria era portador ni tenía hemofilia, ¿cómo se podría explicar que ella haya sido portadora de esta condición?
  - b. ¿Por qué el hijo de Victoria, Leopoldo, presentó hemofilia y sus hermanas, Beatrice y Alice, no? Explica brevemente.
  - c. Explica el papel de los genes ligados al sexo (cromosoma X) en la herencia de la hemofilia y cómo esto difiere de las leyes mendelianas clásicas.

A manera de conclusión

- Compara la herencia de la hemofilia con la herencia de los tipos sanguíneos y menciona diferencias y similitudes entre estos dos mecanismos de herencia no mendelianos, especialmente considerando la ligación al sexo y la codominancia.
- ¿Qué importancia tiene el conocimiento sobre las enfermedades hereditarias como la hemofilia en la toma de decisiones familiares y personales?
- ¿Cómo ayuda el conocimiento de los mecanismos de herencia mendelianos y no mendelianos a entender mejor la genética humana y su impacto en la salud pública?

Prácticas de Laboratorio: Grupos sanguíneos.

**QR página web**  
 HHMI - Biointeractive:  
**pedigrís para determinar cómo se hereda la tolerancia/intolerancia a la lactosa.** <https://www.biointeractive.org/es/educator-resources/hoja-de-trabajo-sobre-pedigris-para-determinar-como-se-hereda-la>

**QR página web**  
 US National Library of Medicine (NLM) - Rogaev et al. (2009) Genotype analysis identifies the cause of the “royal disease”: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19815722/>



# Progresión de aprendizaje 10

## Momento 1

La variabilidad entre individuos de la misma especie se debe a factores genéticos que resultan del subconjunto de cromosomas heredados.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Comprender que todas las células contienen información genética en cromosomas y que cada cromosoma consta de una sola molécula de ADN muy larga, donde están las instrucciones para formar las características de las especies y que la información que se transmite de padres a hijos está codificada en las moléculas de ADN. Identifican que los genes son regiones del ADN que contienen las instrucciones que codifican la formación de proteínas, que realizan la mayor parte del trabajo de las células.

- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT4. Reconocer en un modelo como existen factores que intervienen en la modificación de comportamientos y características en los seres vivos.
- CT6. Describir las funciones de las estructuras internas y externas que ayudan a los organismos a sobrevivir, crecer y reproducirse.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones
- CT3. Medición
- CT4. Sistemas
- CT6. Estructura y función

### Prácticas de ciencia e ingeniería:

3. Planificar y realizar investigaciones.
5. Analizar e interpretar datos.
6. Construir explicaciones y diseñar soluciones.
8. Obtener, evaluar y comunicar información.



## Evaluación diagnóstica

1. Relaciona cada tipo de mutación con su descripción.

Tipo de mutación	Descripción
A. Sustitución.	1. Pérdida de uno o más nucleótidos en la secuencia. 2. Adición de uno o más nucleótidos en la secuencia. 3. Cambio de un nucleótido por otro en el ADN.
B. Inserción.	
C. Delección.	

- a. A-1, B-2, C-3
- b. A-2, B-3, C-1
- c. A-3, B-2, C-1

2. Las mutaciones siempre tienen un efecto negativo en el organismo.

- Verdadero.
- Falso.

3. Son agentes mutagénicos, excepto:

- a. Radiación ultravioleta.
- b. Virus.
- c. Agua potable.

4. La anemia falciforme es causada por una mutación en el gen HBB, donde aparece una adenina (A) en lugar de una timina (T). Este tipo de mutación corresponde a:

- a. Sustitución de un nucleótido.
- b. Inserción de varios nucleótidos.
- c. Delección de un segmento cromosómico.

5. Las mutaciones pueden ser \_\_\_\_\_ si no afectan la función de las proteínas.

- a. Beneficiosas.
- b. Neutras.
- c. Perjudiciales.

6. ¿Qué sucede cuando una mutación puntual introduce un codón de terminación (stop) en una secuencia genética?

- a. La síntesis de la proteína se detiene y resulta incompleta.
- b. La secuencia de la proteína cambia, pero funciona igual.

c. La mutación no produce efectos en la síntesis de la proteína.

7. En la herencia ligada al sexo, los genes están ubicados en los cromosomas \_\_\_\_\_. Un ejemplo de esta herencia en humanos es la/el \_\_\_\_\_.

Tipo de mutación	Descripción
A. Fenilcetonuria.	1. Expansión de trinucleótidos. 2. Mutación puntual. 3. Delección cromosómica.
B. Huntington.	
C. Síndrome de Maullido de gato.	

- a. A-3, B-2, C-1
- b. A-1, B-3, C-2
- c. A-2, B-1, C-3

8. Ordena cronológicamente el efecto de un mutágeno químico sobre el ADN.

1. Formación de una proteína defectuosa.
2. Interrupción en la función celular.
3. Alteración en la secuencia de bases nitrogenadas.

- a. 1-3-2
- b. 1-2-3
- c. 3-1-2

9. Algunas mutaciones que causan enfermedades genéticas no desaparecen de una población, debido a que:

- a. Pueden proporcionar ventajas en ciertas condiciones ambientales.
- b. Pueden heredarse de forma recesiva y no siempre manifestarse.
- c. Las poblaciones las mantienen debido a su alta frecuencia.

10. Si un cariotipo muestra una trisomía en el par 21, corresponde a una mutación de tipo:

- a. Cromosómica estructural.
- b. Génica.
- c. Cromosómica numérica.



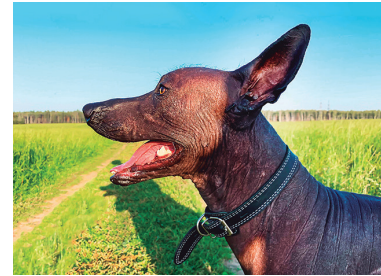
## Momento 2



## Enganchar

## Xoloitzcuintle: un perro muy mexicano

Hace aproximadamente 20,000 a 40,000 años, los primeros humanos comenzaron a convivir con lobos (*Canis lupus*), atrayendo a aquellos que buscaban refugio y alimento cerca de sus asentamientos. Este acercamiento inició un proceso de domesticación, con los lobos más dóciles adaptándose a la vida humana y eventualmente evolucionando hacia lo que hoy conocemos como perros (*Canis lupus familiaris*). Mucho tiempo después, una de las razas de perros fue el xoloitzcuintle o "xolo", una de las razas más antiguas de América, que probablemente apareció en Mesoamérica hace unos 3,500 años y se adaptó de manera única al entorno y la cultura de la región.



Variedad de xolo sin pelo, mostrando la falta de premolares.

En la civilización azteca, los xoloitzcuintles no eran simples mascotas, pues los aztecas creían que los xolos tenían el poder de proteger el hogar de los malos espíritus y actuaban como guías para las almas en el más allá, ayudando a los difuntos a cruzar al mundo de los muertos. Además, su calor corporal, especialmente apreciado en las noches frías, y la creencia de que podían absorber enfermedades como el reumatismo o el asma. Los xolos dormían con sus dueños.

Los xolos sin pelo (también existe la variedad con pelo) tienen una particularidad genética, debido a una mutación en el cromosoma 17, específicamente una delección de bases en el gen *FOXI3*, el cual participa en el desarrollo de los folículos pilosos y la formación dental. Estos individuos son heterocigotos para esta mutación dominante, ya que en homocigosis resultaría en problemas graves para el desarrollo embrionario (alelo letal). Este gen influye en 2 características: la falta de pelo y la ausencia de algunos dientes, especialmente los premolares. Aunque a simple vista esta mutación podría parecer una desventaja, favoreció su integración en la vida azteca, pues al no tener pelo, producen menos alérgenos y eran más cómodos para convivir en espacios cerrados. Actualmente, hay esfuerzos por conservar a esta raza.

**1. Con la guía de tu docente, discutan acerca del texto. Tomen como base en las siguientes preguntas:**

- a. ¿Por qué creen que los humanos comenzaron a convivir con lobos hace miles de años?
- b. ¿Cómo piensan que la falta de pelo en los xoloitzcuintles pudo haber sido una ventaja en la vida cotidiana de los aztecas?
- c. ¿Qué opinan sobre el hecho de que una sola copia de la mutación en el gen *FOXI3* permite que el xolo tenga las características sin pelo y sin algunos dientes? ¿Por qué creen que una doble copia de esta mutación puede ser letal?
- d. ¿Qué otros ejemplos conocen de animales (o personas) con mutaciones que les hayan dado características especiales o ventajas?
- e. Si la mutación que produce la falta de pelo en los xolos surgió de forma aleatoria, ¿por qué creen que se conservó en la especie?
- f. ¿Qué opinan sobre la creencia de los aztecas de que los xolos tenían poderes espirituales?
- g. ¿Creen que el hecho de que una mutación se conserve en una especie depende solo de la genética o también del entorno y la cultura?
- h. ¿Todas las mutaciones son ventajosas o beneficiosas, como el caso del xolo?



## Explorar



### QR archivo descargable:

Actividad "ratón de bolsillo de Biointeractive"  
<https://docs.google.com/document/u/2/d/1K9k2UbPcmU1TOyC5OjPOlgZeZCYTgkL/copy>

## El ratón de bolsillo

En esta actividad, se explorará la relación entre mutación y fenotipo utilizando el modelo del ratón de bolsillo. Los pasos desglosados de la actividad vienen en el archivo descargable, usen el código QR.

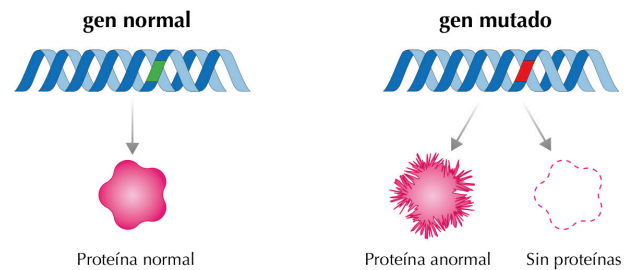
- Primero, realicen una analogía entre una célula eucariótica y un juguete en un contenedor de chocolate, donde cada parte del modelo representa una estructura celular para comprender los componentes de la célula y su función.
- Luego, observen un video sobre el ratón de bolsillo y algunas mutaciones que han ocurrido en su población.
- Posteriormente, respondan preguntas que los guían a identificar la relación entre el color del pelaje de los ratones y su entorno.
- Después, comparen secuencias de ADN del gen MC1R de ratones con pelaje claro y oscuro para observar cómo pequeñas variaciones genéticas impactan en la expresión del color del pelaje, explicando cómo una mutación puede influir en la adaptación.
- Al final, contesten preguntas y actividades de reflexión.



## Explicar

### Mutaciones

En los diferentes procesos celulares, sobre todo los que involucran a los ácidos nucleicos, como ADN y ARN, se utilizan mecanismos para regular y controlar que la información sea lo más precisa posible, manteniendo un correcto funcionamiento. Sin embargo, a pesar de estos mecanismos de control, pueden ocurrir errores en la secuencia de bases nitrogenadas del ADN o durante el ciclo celular. Estos errores se conocen como **mutaciones** (fig. 10.1), que son cambios en la secuencia genética que pueden suceder de manera espontánea durante la replicación del ADN o ser inducidos por factores externos, como radiaciones, sustancias químicas o agentes biológicos.



**Figura 10.1** Algunas mutaciones ocurren a nivel de nucleótidos que pueden expresar cambios en las proteínas o ninguna proteína.

Las mutaciones pueden tener diversos efectos en los organismos, que van desde cambios neutros, sin impacto en la función de una proteína, hasta alteraciones significativas que afectan la estructura y función de proteínas esenciales, lo cual puede llevar a la aparición de características nuevas o, por el contrario, a enfermedades genéticas. En general, dichos cambios pueden ser beneficiosos, perjudiciales o neutrales para el organismo, dependiendo de su naturaleza y el contexto en el que ocurran.

Las mutaciones se pueden clasificar de acuerdo con su origen, su extensión y el tipo de cambio que producen en el material genético. Entre los tipos principales se encuentran las **mutaciones puntuales**, que afectan solo un nucleótido, y las **mutaciones cromosómicas**, que involucran cambios más grandes en la estructura o número de cromosomas.

Es importante comprender cómo ocurren las mutaciones y cuáles son sus posibles consecuencias, ya que esto nos ayuda a entender procesos como la evolución, diversidad genética en los seres vivos y, por otra parte, la aparición

de enfermedades genéticas. Este conocimiento es relevante para campos como la genética, la medicina y la biotecnología, pues permite desarrollar técnicas para prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades genéticas, así como para mejorar características en organismos mediante ingeniería genética.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), factores ambientales y estilos de vida, como la alimentación, el ejercicio, el estrés y la exposición a radiación solar, juegan un papel importante en el desarrollo de hasta el 80% de los casos de cáncer. Las principales fuentes de sustancias cancerígenas incluyen el humo del tabaco, que contribuye a aproximadamente el 35-40% de los cánceres; la dieta, que se asocia con un 20-30% de los casos; la exposición ocupacional, que representa entre el 5-15%; y los contaminantes ambientales, con un 1-10%. Se estima que entre el 10% y el 20% de los cánceres son causados por factores genéticos hereditarios o infecciones virales específicas.

### Mutaciones génicas o puntuales

Las mutaciones génicas (fig. 10.2), también conocidas como mutaciones puntuales, son cambios en uno o en pocos nucleótidos de la secuencia de ADN. Estas alteraciones pueden ocurrir por distintos mecanismos: la omisión o deleción de nucleótidos implica que uno o más nucleótidos se pierden de la secuencia; la inserción agrega nucleótidos adicionales; la sustitución reemplaza un nucleótido por otro; la inversión cambia la dirección de un segmento de la cadena; y la repetición o duplicación hace que ciertos nucleótidos se repliquen de forma consecutiva. Además, durante el proceso de replicación del ADN, pueden ocurrir errores en la unión de los nucleótidos, lo que también da lugar a mutaciones puntuales.

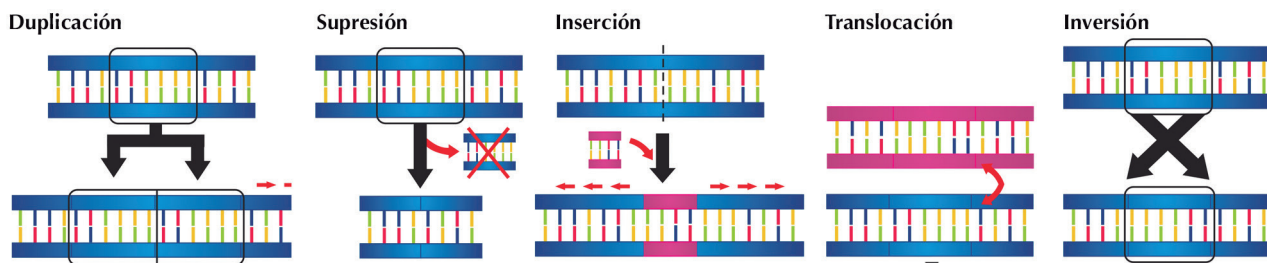


Figura 10.2 Distintos tipos de mutaciones puntuales, a nivel de secuencia de nucleótidos que tienen efectos en la expresión de proteínas.

Aunque existen mutaciones neutrales o incluso beneficiosas, la mayoría de las mutaciones que se investigan en genética médica son aquellas que se heredan y tienen efectos adversos para la salud. Estas mutaciones pueden alterar la función de proteínas críticas para el organismo y están asociadas a una variedad de enfermedades hereditarias, como algunos tipos de cáncer, enfermedades metabólicas y trastornos genéticos específicos. Los efectos de una mutación puntual dependen de la ubicación y el tipo de cambio en el ADN, ya que un solo cambio en un nucleótido puede alterar la secuencia de aminoácidos de una proteína, afectar su estructura y, en última instancia, comprometer su función.

Las mutaciones en el **gen PAH** causan **fenilcetonuria (PKU)**, una enfermedad genética en la que la fenilalanina no se descompone adecuadamente y se acumula en la sangre (fig. 10.3). Esto provoca toxicidad en el sistema nervioso, lo que puede causar daño cerebral y retraso mental si no se trata), donde el gen afectado está inhabilitado para producir fenilalanina-4-hidroxilasa (enzima PH4H) que descompone a la fenilalanina (un aminoácido), precursor de tirosina, y a su

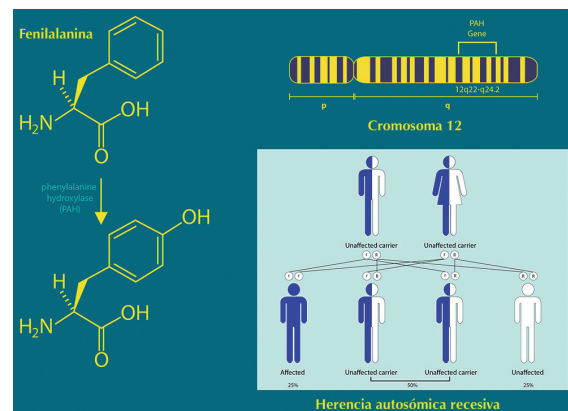
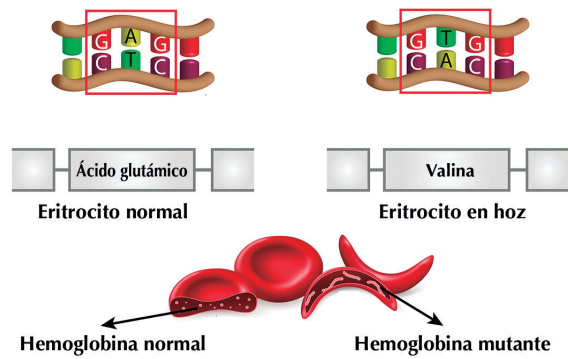
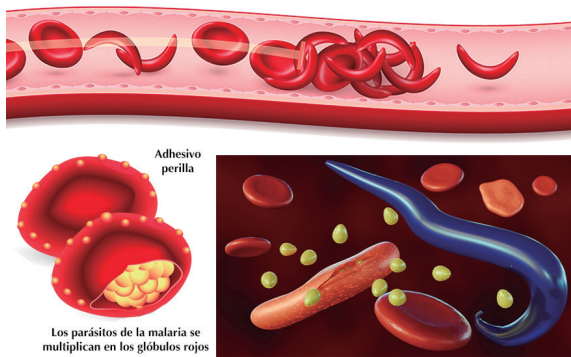


Figura 10.3 Herencia de la fenilcetonuria.



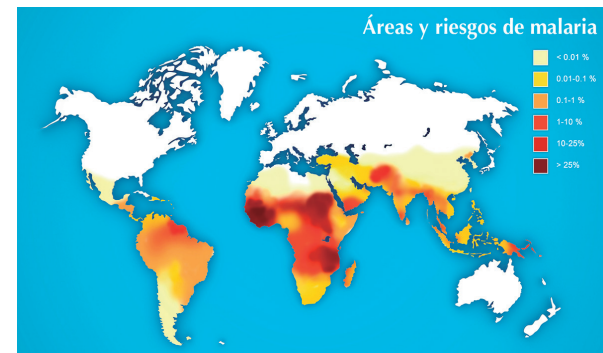


**Figura 10.4** La anemia falciforme consiste en el cambio de una sola base que modifica la estructura de la HBB, que a su vez modifica la estructura celular.

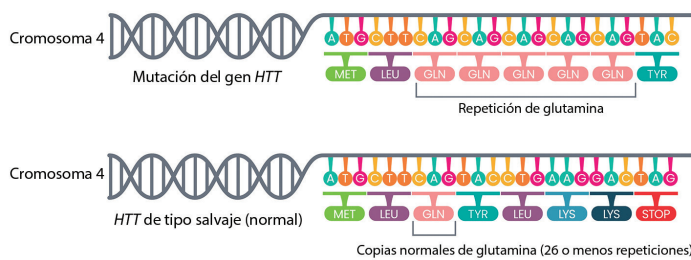


**Figura 10.5** Observa la forma y comportamiento de las células falciformes, células normales infectadas y *Plasmodium*.

Sin embargo, en regiones como África, el Mediterráneo y algunas partes de Asia (fig. 10.6), donde la malaria es endémica, esta mutación puede ser beneficiosa en personas heterocigotas para este gen, ya que en homocigosis puede tener muchas complicaciones de salud. Los individuos heterocigotos producirán glóbulos rojos normales, en su mayoría, aunque una fracción puede adoptar la forma de hoz (en condiciones de bajo oxígeno). Este rasgo confiere resistencia parcial al parásito *Plasmodium falciparum* (fig. 10.5), causante de la forma más grave de malaria, ya que los glóbulos rojos falciformes se descomponen más rápidamente, limitando la capacidad del parásito para reproducirse y propagarse en el cuerpo.



**Figura 10.6** Distribución global de riesgo de malaria.



La enfermedad de Huntington es otro trastorno causado por una mutación génica, en el cromosoma 4. La mutación implica una expansión anormal de repeticiones del trinucleótido CAG en el **gen de la huntingtina**. El diagnóstico de esta

**Figura 10.7** Compara el gen normal con el mutante, donde se observan repeticiones de CAG, generando la enfermedad de Huntington.

enfermedad incluye extraer una muestra de sangre para obtener ADN, identificar el gen afectado y determinar el número de repeticiones CAG. Adicionalmente, se realiza una valoración neurológica que incluye evaluación cognitiva, reflejos, equilibrio y movimientos, para confirmar la presencia y el impacto de la enfermedad.

Otras enfermedades causadas por mutaciones génicas incluyen la **fibrosis quística** y la **acndroplasia**. En cada caso, las mutaciones génicas pueden afectar diferentes sistemas del organismo, y su impacto depende de la proteína alterada y su función específica en el cuerpo.



## Elaborar

### Análisis de enfermedades genéticas: mutaciones heredadas

- Formen equipos de 3 a 4 personas.** Cada equipo investigará las siguientes enfermedades genéticas: fenilcetonuria, anemia falciforme, enfermedad de Huntington, fibrosis quística, acondroplasia y otras que sean de su interés.
- Para cada enfermedad genética, **indaguen** lo siguiente:
  - Tipo de mutación:** Traten de identificar el nombre del gen, si es mutación única o si presenta muchas, el tipo específico de mutación génica asociada a cada enfermedad. Expongan cómo afecta esta mutación al funcionamiento del gen involucrado y la proteína que se expresa.
  - Consecuencias:** Expliquen cómo estos cambios afectan la función del gen y, a su vez, la salud de la persona.
  - Modo de herencia:** Describan cómo se hereda cada mutación (dominante, recesiva, ligada al cromosoma X o Y).
- Investiguen la prevalencia de estos trastornos **en México** y en qué parte del mundo son más frecuentes. ¿Cuántos casos se registran aproximadamente al año? ¿Hay regiones donde una o más de estas enfermedades sean más comunes? ¿A qué factores podría deberse esta distribución?
- Análisis:**
  - ¿Qué factores genéticos, evolutivos o culturales pueden influir en que estos genes no hayan desaparecido de la población humana?

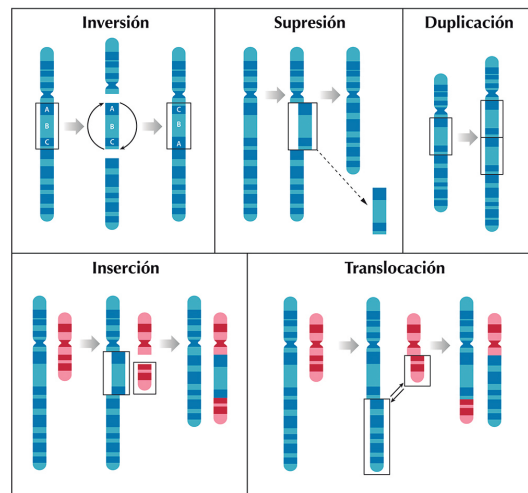
### Mutaciones cromosómicas

Son alteraciones que afectan la estructura o el número de cromosomas, causando cambios en la disposición genética y, a menudo, afectando los patrones hereditarios, así como a las características fenotípicas de un organismo. Estas mutaciones pueden dividirse en dos categorías: **estructurales** y **numéricas**.

Para diagnosticar y clasificar estas alteraciones, se utiliza una técnica llamada **cariotipo**, que consiste en organizar y visualizar los cromosomas de una célula para identificar posibles anomalías en su estructura o número, esto es, cuando la célula está en división.

#### Mutaciones cromosómicas estructurales

Estas mutaciones modifican la estructura de los cromosomas, lo cual altera el orden de los genes y puede interrumpir la correcta expresión genética. Las más comunes (fig. 10.8) incluyen:



**Figura 10.8** Representación de diferentes alteraciones estructurales del cromosoma, que pueden afectar el orden y la función de los genes.

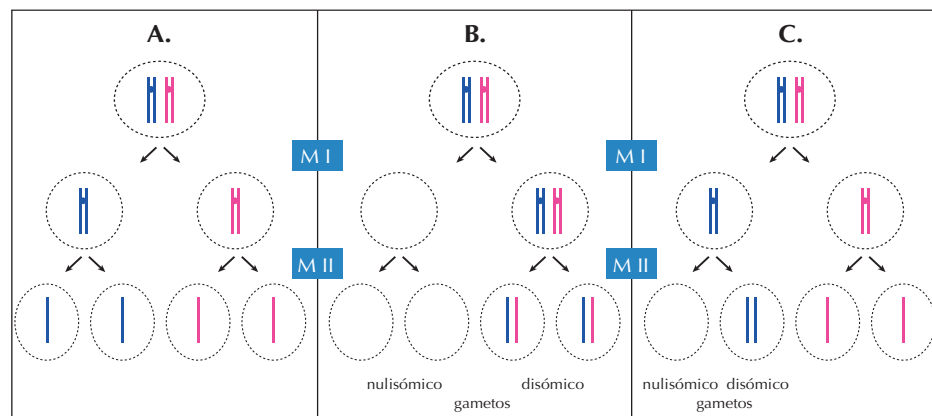
- **Inversión:** Ocurre cuando un segmento del cromosoma se rompe, gira 180 grados y se reinserta en la misma posición, cambiando el orden de los genes. Esto puede alterar la expresión genética si el cambio interrumpe genes o afecta la regulación de estos.
- **Deleción:** Es la pérdida de un segmento del cromosoma, lo que elimina información genética en esa región. Esto puede tener efectos graves si los genes perdidos son esenciales para el desarrollo o funcionamiento del organismo.
- **Duplicación:** Se da cuando una sección del cromosoma se repite, lo que provoca la presencia de copias adicionales de ciertos genes. La duplicación puede alterar el equilibrio de la expresión genética y, en algunos casos, causar enfermedades.
- **Inserción:** Consiste en la adición de un segmento de un cromosoma en otro, o dentro del mismo cromosoma, en una posición distinta. Esto cambia la cantidad de información genética y puede afectar la función de los genes cercanos al sitio de inserción.
- **Translocación:** Es el intercambio de segmentos entre cromosomas no homólogos. Este proceso puede alterar la función de los genes involucrados y puede causar enfermedades si interfiere con la expresión o regulación genética normal.

Un ejemplo es el **síndrome de Cri du Chat** o síndrome del maullido de gato, que se caracteriza por una **deleción parcial** en el brazo corto del cromosoma 5. Esta pérdida altera el desarrollo normal y causa síntomas como un llanto característico similar al maullido de un gato en los recién nacidos, ya que se afecta la laringe, hay retraso en el desarrollo, discapacidad intelectual y rasgos faciales distintivos.

### Mutaciones cromosómicas numéricas

La **no disyunción** es una alteración durante la división celular en la que los cromosomas homólogos (meiosis I) o las cromátidas hermanas (meiosis II) no se separan adecuadamente durante la formación de los gametos (fig. 10.9), aunque también puede ocurrir en células embrionarias tempranas. Si ocurre en meiosis provoca que las células germinales resultantes contengan una copia extra de uno de los cromosomas (disómicos) o, por el contrario, carezcan de uno (nullisómicos). La no disyunción ocurre con mayor frecuencia durante la **meiosis II** en la formación del **ovocito**. Luego, cuando ocurre la fertilización, se forma un cigoto con un número anormal de cromosomas, una condición conocida como **aneuploidía**. La mayoría son letales.

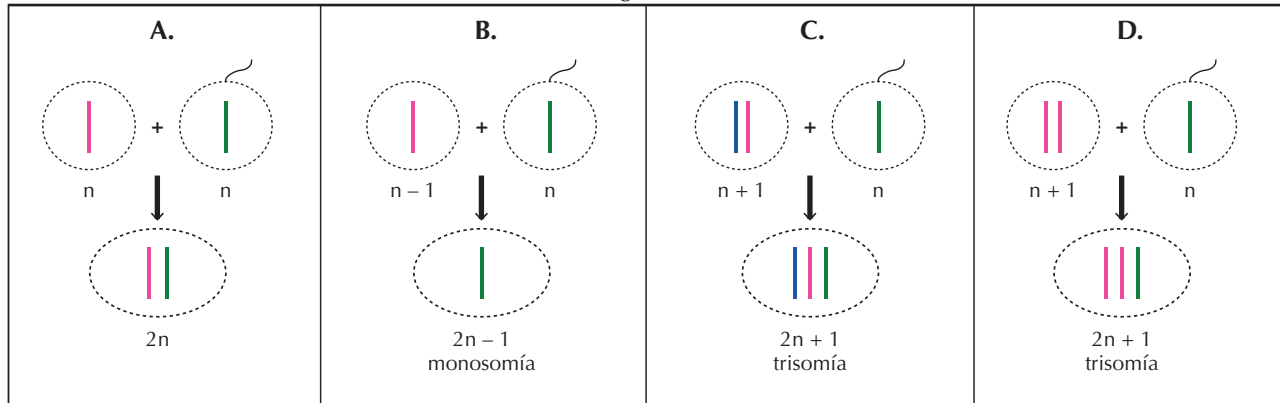
**Figura 10.9** Comparación de distribución de cromosomas en meiosis. En (A) se muestra una meiosis normal que produce cuatro gametos haploides. En (B) la no disyunción ocurre en meiosis I, generando gametos nullisómicos (sin uno de los cromosomas) y disómicos (con dos copias). En (C) la no disyunción ocurre en meiosis II, produciendo un gameto nullisómico, uno disómico y dos normales. Adaptado de Jackson et al. (2018). <https://doi.org/10.1042/EBC20170053>



Las aneuploidías más conocidas son las **trisomías** (un cromosoma adicional en alguno de los pares,  $n + 1$ ) y las **monosomías** (falta de un cromosoma,  $n - 1$ ). Estas alteraciones pueden presentarse tanto en autosomas (cromosomas no sexuales), como en cromosomas sexuales. En general, la monosomía en autosomas suele ser **letal**, ya que la pérdida de información genética impide el desarrollo embrionario. En cambio, algunas trisomías son **viables**, pues permiten el desarrollo del embrión, aunque a menudo resultan en problemas de desarrollo, presentando diversos síntomas, conocidos como **síndrome**.



El riesgo de tener un **feto trisómico** aumenta del 1.9% en mujeres de 25-29 años a más del 19% en mujeres mayores de 39 años. La deficiencia de ácido fólico, el tabaquismo, la obesidad y la irradiación de baja dosis con contaminantes radiactivos también aumentan este riesgo.



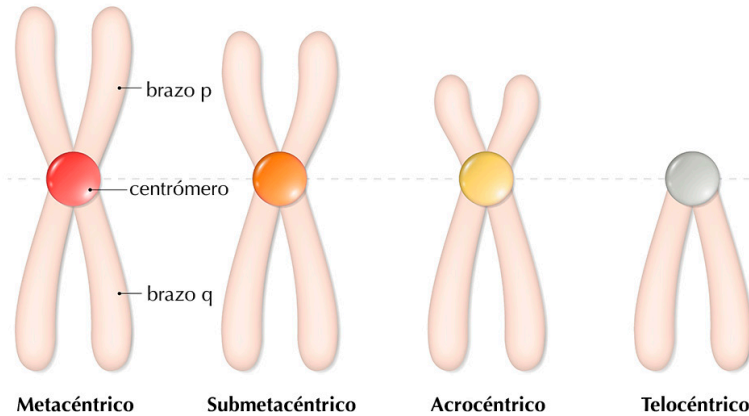
**Figura 10.10** Fecundación de gametos: (A) La fertilización de un óvulo normal con un espermatozoide normal produce un cigoto diploide ( $2n$ ). (B) Si se fertiliza un óvulo nullisómico, el cigoto resultante será monosómico ( $2n - 1$ ). (C) La fertilización de un óvulo disómico debido a no disyunción en meiosis I produce un cigoto trisómico ( $2n + 1$ ), con ambos cromosomas de abuelos maternos y uno paterno. (D) La fertilización de un óvulo disómico debido a no disyunción en meiosis II también produce un cigoto trisómico ( $2n + 1$ ), con dos cromosomas idénticos del mismo abuelo materno y uno paterno. Adaptado de Jackson et al. (2018). <https://doi.org/10.1042/EBC20170053>

Aneuploidía	Nombre común	Incidencia estimada entre nacidos vivos	Síntomas posibles
<b>Trisomía 13</b>	Síndrome de Patau	1:16000	Discapacidad intelectual grave, defectos cardíacos, anomalías en el cerebro o la médula espinal, ojos pequeños o mal desarrollados, dedos o dedos de los pies adicionales, labio leporino y paladar hendido, tono muscular débil.
<b>Trisomía 18</b>	Síndrome de Edwards	1:5000	Retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, defectos cardíacos y anomalías en otros órganos, cabeza pequeña y de forma anormal, mandíbula y boca pequeñas, puños con dedos superpuestos, discapacidad intelectual grave.
<b>Trisomía 21</b>	Síndrome de Down	1:800	Discapacidad intelectual leve a moderada, apariencia facial característica como rostro redondeado, ojos almendrados, tono muscular débil, manos pequeñas, defectos cardíacos, anomalías digestivas, hipotiroidismo, mayor riesgo de problemas de audición y visión, leucemia, enfermedad de Alzheimer de inicio temprano.
<b>Trisomía X</b>	Síndrome de Triple X	1:1000	Mayor estatura, mayor riesgo de dificultades de aprendizaje, retraso en el desarrollo del habla, lenguaje y habilidades motoras, tono muscular débil, problemas de comportamiento y emocionales, convulsiones, problemas renales.
<b>47,XXY</b>		1:1000	Mayor estatura, mayor riesgo de dificultades de aprendizaje, retraso en el desarrollo del habla, lenguaje y habilidades motoras, tono muscular débil, temblores en las manos, convulsiones, asma, escoliosis, problemas de comportamiento y emocionales.
<b>47,XXY</b>	Síndrome de Klinefelter	1:500 a 1:1000	Testículos pequeños, niveles bajos de testosterona, pubertad incompleta o retrasada, agrandamiento de mamas, menor vello facial y corporal, infertilidad, mayor estatura, mayor riesgo de cáncer de mama, trombosis venosa profunda, osteoporosis, retraso en el habla y el desarrollo del lenguaje, dificultades de aprendizaje.
<b>48,XXX</b>		1:18000 a 1:40000	Testículos pequeños, niveles bajos de testosterona, pubertad incompleta o retrasada, agrandamiento de mamas, menor vello facial y corporal, infertilidad, mayor estatura, temblores, problemas dentales, enfermedad vascular periférica, trombosis venosa profunda, asma, diabetes tipo 2, convulsiones, defectos cardíacos, retraso en el habla y el desarrollo del lenguaje, dificultades de aprendizaje.
<b>45,XO</b>	Síndrome de Turner	1:2500	Baja estatura, pérdida temprana de la función ovárica, infertilidad, ausencia de pubertad, cuello ancho, anomalías esqueléticas, problemas renales, defectos cardíacos.

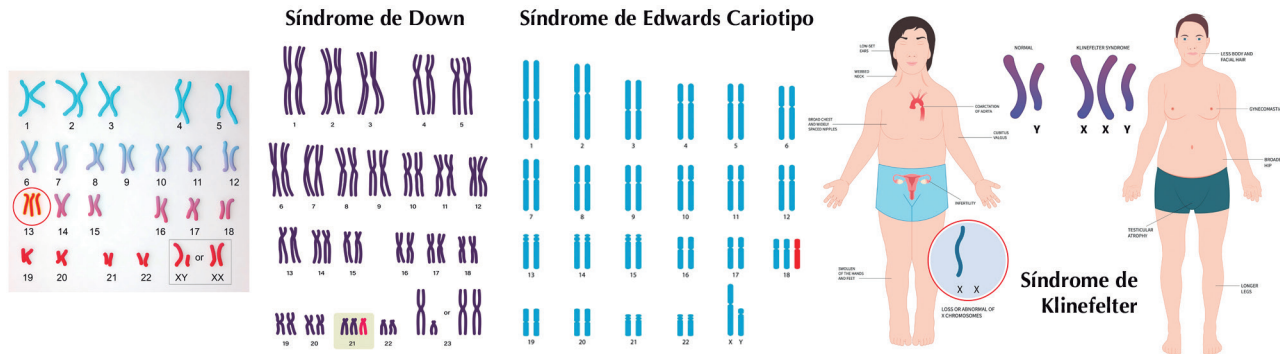
Adaptado de Jackson et al. (2018). <https://doi.org/10.1042/EBC20170053>

## Cariotipo humano

Las pruebas genéticas tienen sus raíces en la visualización de cromosomas completos mediante un proceso conocido como **cariotipo** o **cariograma** o **idiograma** (fig. 10.12). Este proceso generalmente requiere el cultivo de células (puede tardar de 1 a 2 semanas) y detiene las células en la metafase, la etapa del ciclo celular en la cual los cromosomas están duplicados y en su forma más condensada, por lo tanto, son más fáciles de visualizar. En los primeros análisis de cariotipos, los cromosomas capturados en la imagen se recortaban y organizaban según



**Figura 10.11** Observa la longitud de los brazos largos y cortos, así como su relación con el centrómero.



**Figura 10.12** Cariotipos de aneuploidías en autosomas y cromosomas sexuales.

su tamaño y la posición del centrómero: metacéntrico, submetacéntrico, acrocéntrico y telocéntrico (fig 10.11).

El cariotipo organiza los cromosomas en pares homologados según su tamaño, forma y posición del centrómero, dividiéndolos en autosomas (los primeros 22 pares) y cromosomas sexuales (par 23, XX en mujeres y XY en hombres). Mediante técnicas como el bandeo G, los cromosomas se tiñen para resaltar patrones de bandas que permiten identificar alteraciones numéricas, como trisomías o monosomías, y estructurales, como deleciones, duplicaciones o translocaciones. Esta organización facilita el diag-



QR Video

Biotube ciencia animada:  
Cariotipo  
<https://youtu.be/MXWXFUyChqM?t=42>



## Elaborar

nóstico de enfermedades genéticas, infertilidad, abortos recurrentes y anomalías detectadas en estudios prenatales.

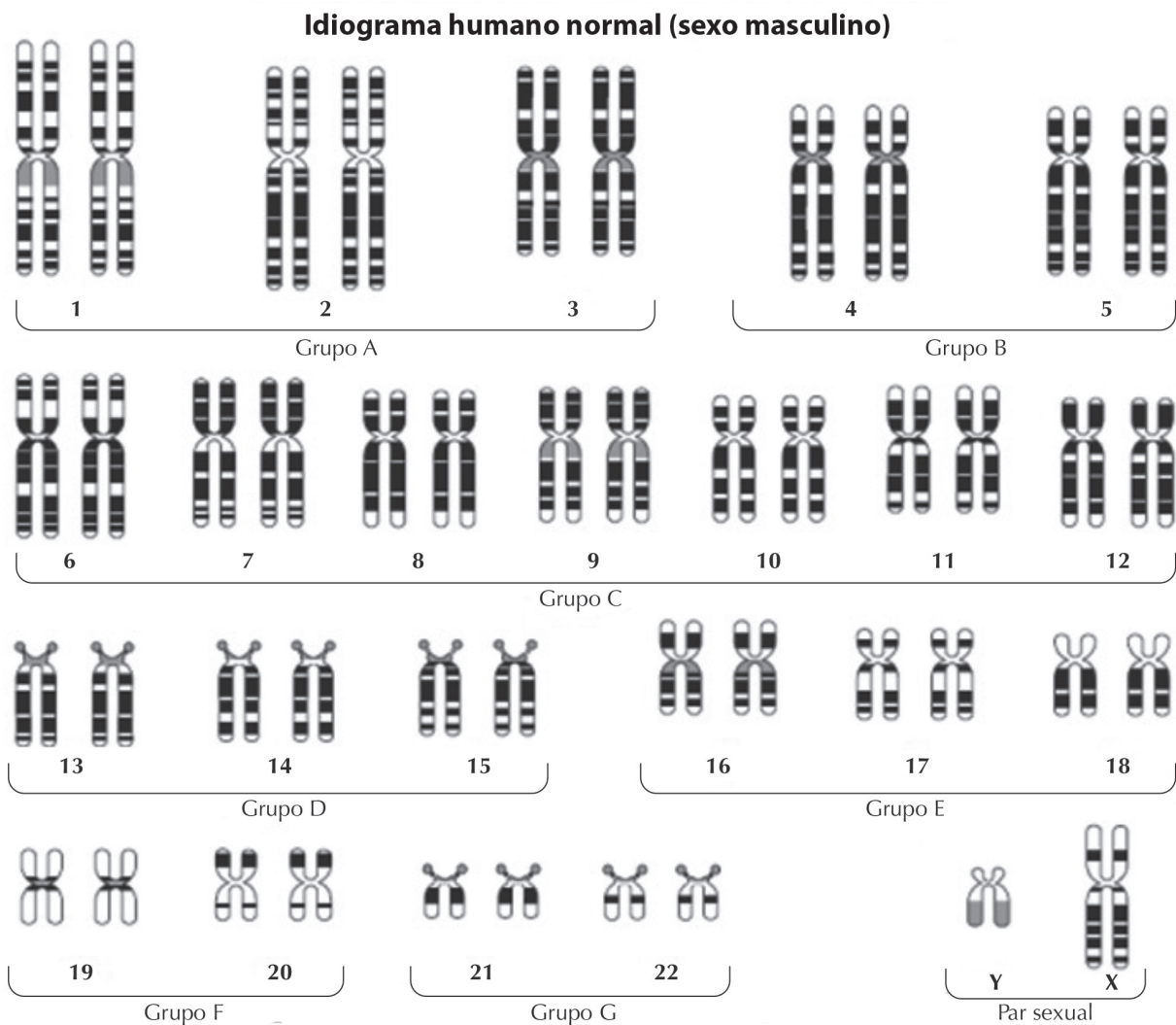
### Elaboración de cariotipo humano

Discutan en clase: ¿Qué es un cariotipo? ¿Para qué sirve? ¿Cómo se elabora y analiza?

**Materiales:** Imágenes de un cariotipo humano normal y diversos cariogramas, tijeras, resistol, reglas o guías para ordenar cromosomas por tamaño y forma, tabla para registrar observaciones.

#### Procedimiento

1. Analiza los cariotipos estándar proporcionados. Familiarízate con los grupos y características principales (ta-



#### Cariotipo estándar de un hombre

2. Elaboración del cariotipo:



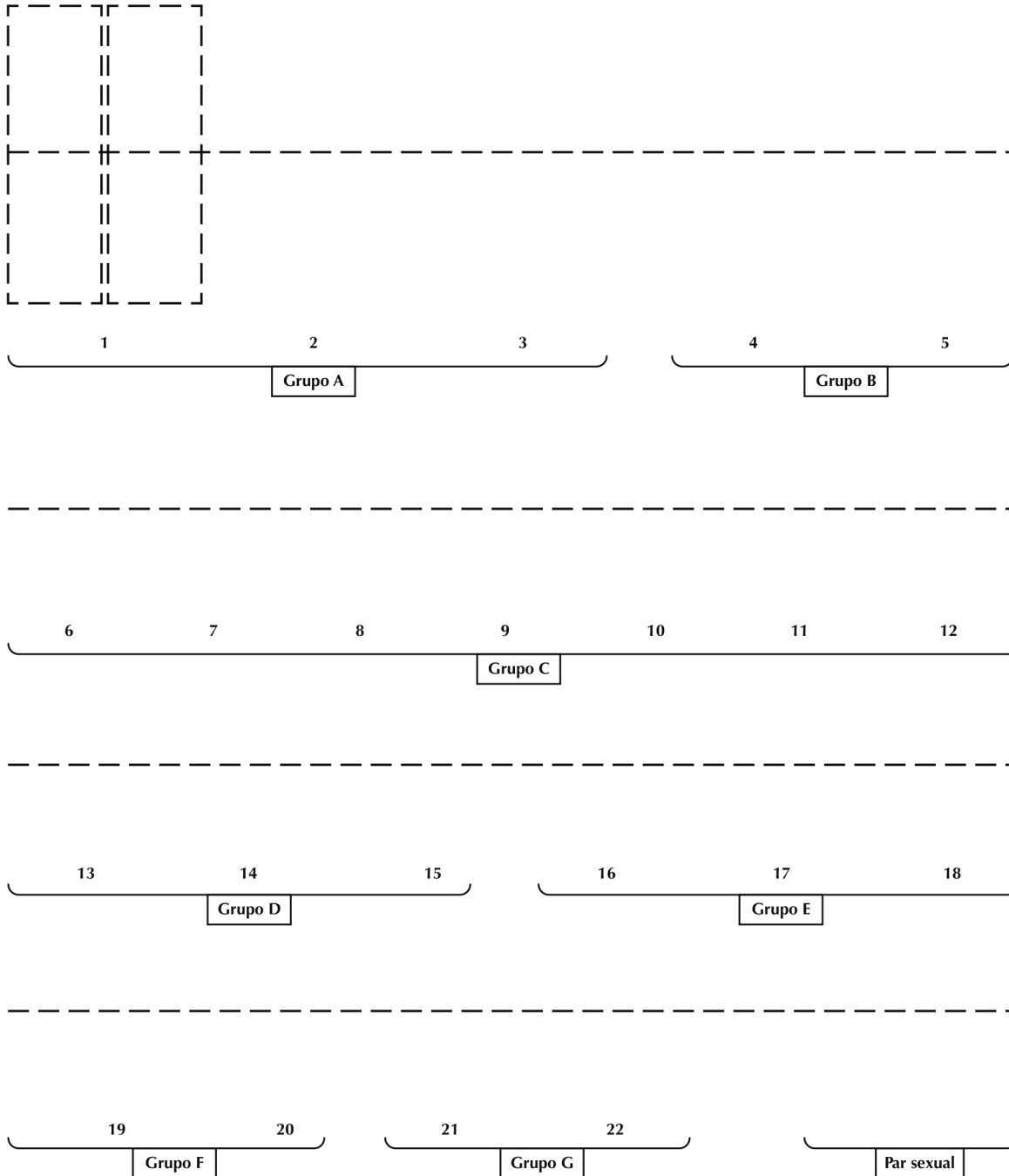
## Herencia y Evolución Biológica

- Se te proporcionará una "fotografía" de cromosomas de un individuo (1 y 2).
- Recorta los cromosomas y clasifícalos por tamaño y posición del centrómero, según el esquema estándar. Observa el cariotograma normal para guiarte en la organización de cromosomas.

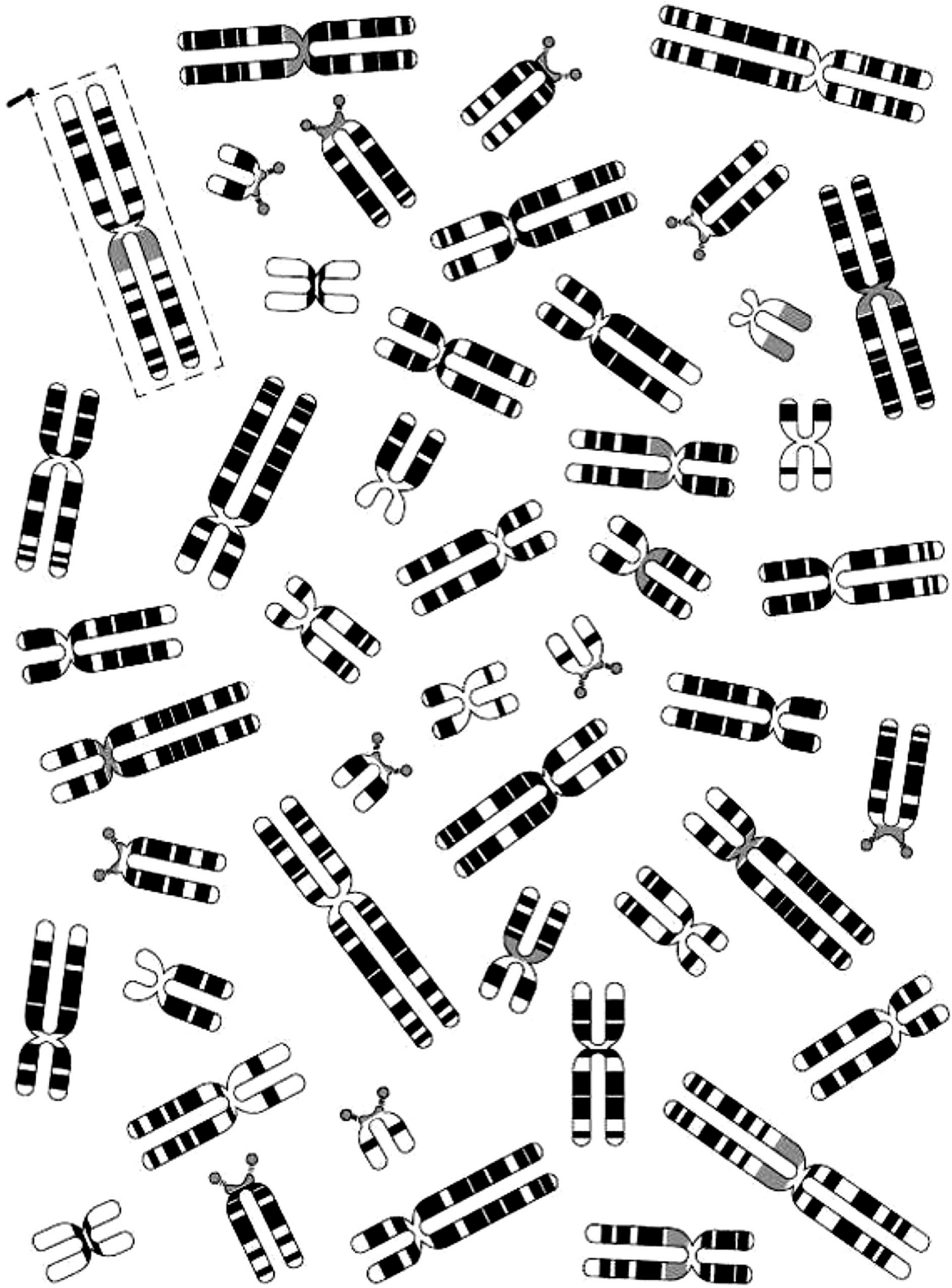
**Individuo 1.**

**Individuo 2.**

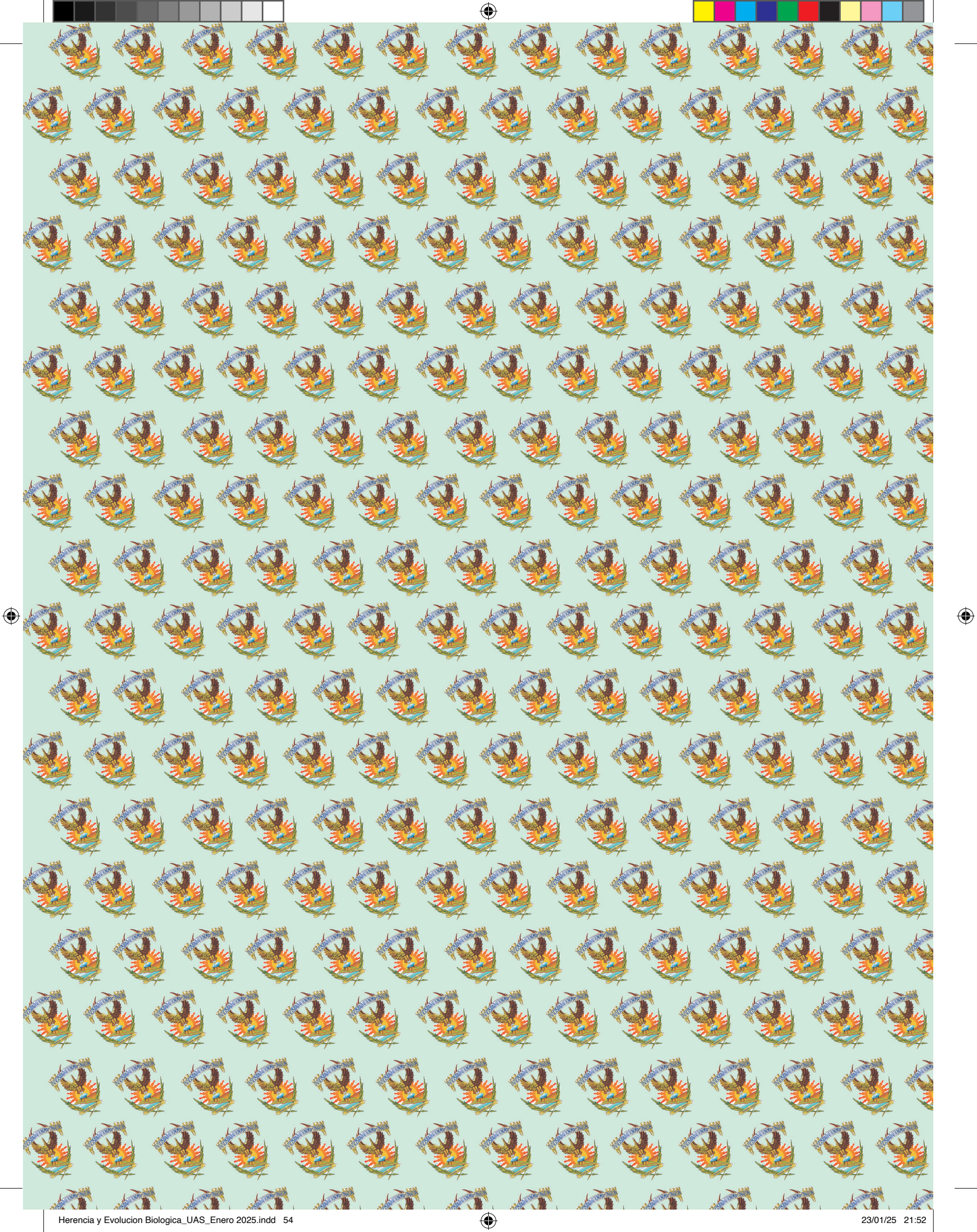
- Pega cada cromosoma en su posición correspondiente al **cariotipo del individuo 1 o 2**.



Individuo 1.

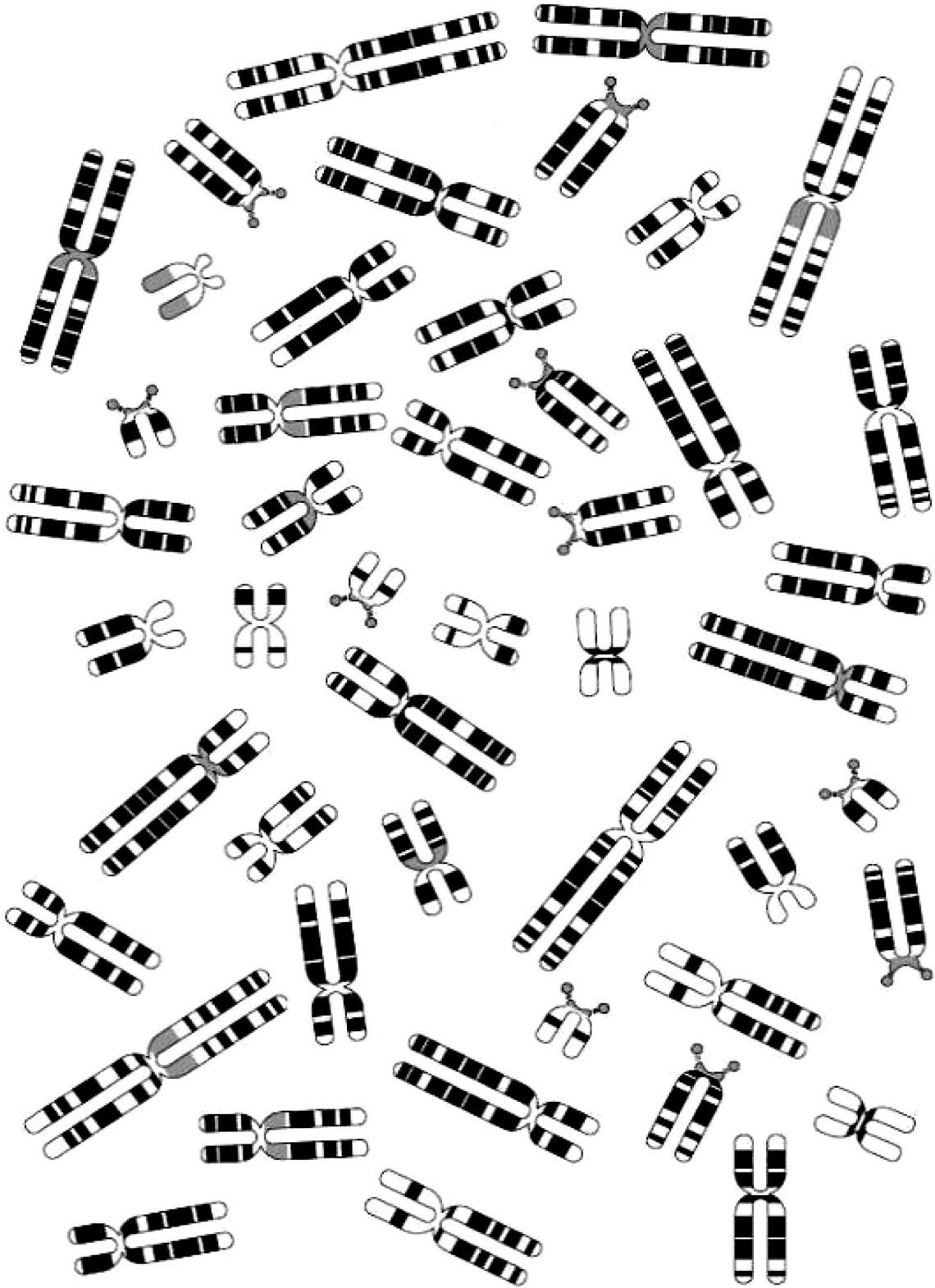




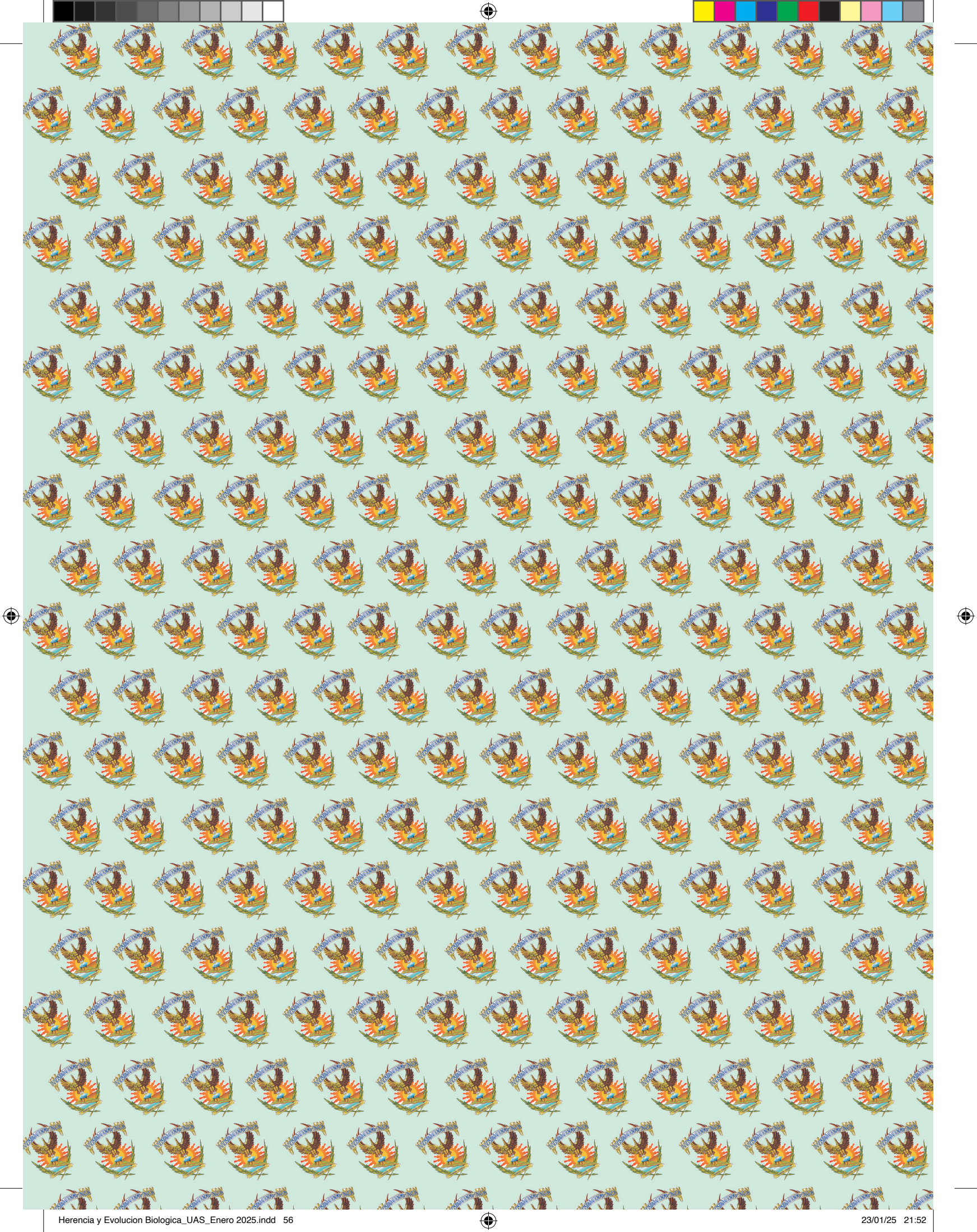




Individuo 2.









3. Análisis de cariotipo:

	Individuo 1	Individuo 2
a. Cromosomas en total:		
b. Autosomas en total:		
c. Cromosomas sexuales:		
d. Su cariotipo es:		
e. Tiene síndrome de:		

4. Preguntas de discusión:

- ¿En qué fase mitótica se obtienen los cromosomas para elaborar los cariotipos?
- ¿Por qué para ciertas condiciones se analizan cromosomas en los cariotipos y no en los genes?
- ¿Cuáles son las principales aplicaciones de los cariotipos en medicina?

5. Redacta tu conclusión un párrafo en tu cuaderno donde expliques:

- Las diferencias entre los síndromes relacionados con alteraciones autosómicas y sexuales.
- Avances en la sociedad y en la medicina gracias al análisis cromosómico.
- Tu opinión sobre el impacto ético de estos avances.

Momento 3



Evaluar

Los mutágenos (fig.10.13) son agentes que pueden alterar el material genético de un organismo, provocando mutaciones en el ADN. Estas mutaciones pueden ser perjudiciales, beneficiosas o neutras, dependiendo de su naturaleza y el contexto. Los mutágenos se clasifican en tres categorías principales: químicos, como el benceno o pesticidas; físicos, como la radiación ultravioleta o los rayos X; y biológicos, como ciertos virus o la edad. La exposición a mutágenos está relacionada con enfermedades genéticas, cáncer y otros problemas de salud.

Con la elaboración de la siguiente actividad, podrás identificar mutágenos presentes en tu entorno, comprender su impacto en el ADN y proponer estrategias para reducir la exposición a ellos, al mismo tiempo que establecerás relaciones entre las mutaciones y ciertas enfermedades genéticas.

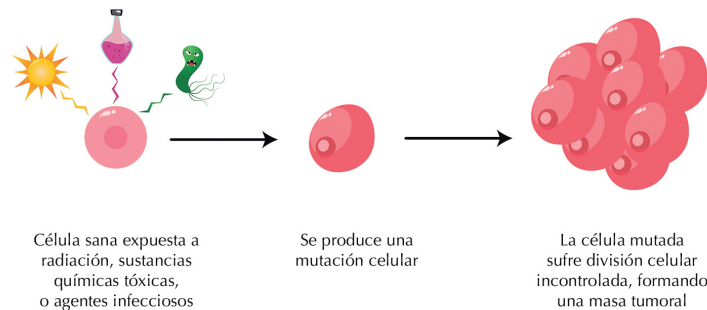


Figura 10.13 Diferentes factores pueden alterar la información genética, generando modificaciones importantes con impacto en la salud.



### 1. Indagación e identificación de mutágenos:

Investiguen qué son los mutágenos, cuáles son los más comunes y los posibles efectos de estos en el ADN. Realicen las siguientes actividades:

- Hagan una lista de mutágenos presentes en su entorno (casa, escuela y comunidad).
- Clasifiquen estos mutágenos en categorías como químicos, físicos o biológicos, e incluyan ejemplos específicos para cada categoría.
- Indiquen cómo pueden evitar o reducir la exposición a estos mutágenos en su vida diaria.

### 2. Elaboración de Infografía informativa:

Elaboren una infografía en formato digital o en cartulina donde resuman de manera clara y visual los puntos anteriores.

- Incluyan una definición breve de mutágenos y un esquema de los tipos (químicos, físicos y biológicos) con ejemplos para cada uno.
- Expliquen los posibles efectos de los mutágenos en el ADN y propongan medidas preventivas.
- Agreguen una sección donde mencionen brevemente una o dos enfermedades genéticas relacionadas con mutaciones, su prevalencia en México, el tipo de mutación y su modo de herencia.
- Pueden hacer la infografía de forma digital o en cartulina.

### 3. Presentación y reflexión grupal: Cada equipo presentará su infografía al resto de la clase. Durante la presentación, enfoquen su explicación en:

- Relación entre mutaciones y enfermedades genéticas: Expliquen cómo los mutágenos pueden inducir mutaciones que derivan en enfermedades genéticas.
- Datos relevantes sobre la prevalencia en México: Resalten los datos encontrados sobre enfermedades genéticas en el país.
- Análisis y conclusiones: Reflexionen sobre por qué algunas mutaciones permanecen en la población y cuál es el impacto de la exposición a mutágenos a largo plazo.

## Momento 1

Los individuos de una especie tienen genes similares, pero no idénticos. En la reproducción sexual, cada padre aporta la mitad de los cromosomas del individuo. La variabilidad de los rasgos entre los padres y su descendencia surge del conjunto particular de cromosomas heredados.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Comprender que todas las células contienen información genética en cromosomas y que cada cromosoma consta de una sola molécula de ADN muy larga, donde están las instrucciones para formar las características de las especies y que la información que se transmite de padres a hijos está codificada en las moléculas de ADN. Identificar que los genes son regiones del ADN que contienen las instrucciones que codifican la formación de proteínas, que realizan la mayor parte del trabajo de las células.

- CT1. Identificar los patrones en estructuras, funciones y comportamientos de los seres vivos, que cambian de manera predecible a medida que avanza el tiempo desde que nacen hasta que mueren. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que son necesarias para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores que interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT4. Reconocer en un modelo como existen factores que intervienen en la modificación de comportamientos y características en los seres vivos.
- CT5. Comprender que todos los seres vivos requieren de materia que transformarán en energía para realizar funciones específicas y necesarias para la vida.
- CT6. Describir las funciones de las estructuras internas y externas que ayudan a los organismos a sobrevivir, crecer y reproducirse.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones.
- CT2. Causa y efecto.
- CT3. Medición
- CT4. Sistemas
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía.
- CT6. Estructura y función



## Evaluación diagnóstica

- 1. ¿Cuál es uno de los principales objetivos de la biotecnología en el contexto ambiental?**
  - a. Crear nuevas especies sin evaluar los riesgos.
  - b. Usar el conocimiento genético para reducir la contaminación y manejar residuos.
  - c. Producir energía únicamente a partir de combustibles fósiles.
- 2. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de cómo la biotecnología puede ayudar en la gestión de desechos?**
  - a. Crear grandes vertederos para almacenar residuos.
  - b. Producir biogás a partir de desechos orgánicos utilizando biodigestores.
  - c. Reducir la cantidad de plástico fabricado.
- 3. ¿Qué herramienta de edición genética permite realizar modificaciones precisas en el ADN?**
  - a. La clonación reproductiva.
  - b. CRISPR-Cas9.
  - c. La selección natural.
- 4. ¿Qué es la biorremediación?**
  - a. El uso de organismos vivos para reducir o eliminar contaminantes en el medio ambiente.
  - b. Un proceso para aumentar la producción agrícola mediante fertilizantes químicos.
  - c. Un método para crear organismos modificados genéticamente en laboratorios.
- 5. La bioética en la biotecnología busca principalmente:**
  - a. Promover únicamente los beneficios económicos de las nuevas tecnologías.
  - b. Reflexionar sobre los efectos éticos y sociales de las innovaciones biotecnológicas.
  - c. Utilizar organismos modificados sin cuestionar los efectos en la biodiversidad.
- 6. ¿Cómo contribuye la biotecnología en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?**
  - a. Mediante el aumento de la producción de plásticos biodegradables.
  - b. Con el uso de biocombustibles y biorremediación en actividades industriales.
  - c. Solo mediante la eliminación de fábricas contaminantes.
- 7. La ingeniería genética puede influir en la evolución y adaptación de especies porque:**
  - a. Permite que las especies se adapten únicamente a su ambiente natural.
  - b. Modifica genes de organismos para adaptarlos rápidamente a nuevos entornos o condiciones.
  - c. No tiene impacto en la diversidad genética ni en la evolución.
- 8. Un ejemplo de biotecnología que apoya la sostenibilidad es:**
  - a. La creación de pesticidas más agresivos para erradicar plagas.
  - b. La producción de biocombustibles como alternativa a los combustibles fósiles.
  - c. La deforestación para cultivos genéticamente modificados.
- 9. ¿Qué aplicación tiene la biotecnología en la protección de recursos naturales?**
  - a. La extracción intensiva de minerales para investigación genética
  - b. La creación de organismos que ayudan en el tratamiento de aguas residuales
  - c. La producción de recursos solo para el uso en agricultura intensiva.
- 10. La edición genética con CRISPR podría ser utilizada para:**
  - a. Crear organismos transgénicos exclusivamente para el consumo humano.
  - b. Modificar genes defectuosos en humanos para tratar enfermedades genéticas.
  - c. Alterar el ambiente natural sin considerar los efectos a largo plazo.



## Momento 2



## Enganchar

Lee atentamente el contexto del dilema presentado sobre el uso de **CRISPR-Cas9** para la modificación genética en humanos con el fin de eliminar enfermedades hereditarias. Reflexiona sobre los posibles impactos y desafíos éticos que conlleva esta tecnología.

### Manipulación genética para la eliminación de enfermedades en humanos

#### Contexto del dilema:

Imagina que un equipo de científicos ha desarrollado una técnica avanzada de **edición genética utilizando CRISPR-Cas9** para eliminar genes responsables de ciertas enfermedades genéticas en los embriones humanos, como la fibrosis quística o la enfermedad de Huntington. Esta técnica permite modificar el ADN en etapas tempranas del desarrollo humano, asegurando que el bebé nacerá sin esos genes dañinos. Sin embargo, debido a su impacto, también existen riesgos de afectar otros genes y de introducir modificaciones en la línea germinal (células que se heredan a futuras generaciones).

Los científicos están divididos. Algunos sostienen que esta técnica debería usarse para prevenir sufrimiento y reducir el riesgo de enfermedades graves en los niños y sus futuras generaciones. Otros temen que esta tecnología se des controle y se utilice para modificar rasgos no relacionados con la salud, como la inteligencia o la apariencia física, creando desigualdad y transformando la sociedad de maneras difíciles de prever.



#### Preguntas para la discusión

1. ¿Es ético modificar el ADN de un embrión para eliminar enfermedades genéticas, sabiendo que estas modificaciones se transmitirán a futuras generaciones?
2. ¿Debería considerarse la edición de genes como un derecho a la salud o un riesgo innecesario?
3. ¿Se debe restringir el uso de la edición genética únicamente a enfermedades graves o debería permitirse también para rasgos físicos y cognitivos?
4. ¿Quién debería decidir qué rasgos son éticamente aceptables de modificar y cuáles no?
5. ¿Crees que esta tecnología podría hacer que las personas que no pueden acceder a la modificación genética sean discriminadas?
6. ¿Qué consecuencias puede tener este tipo de manipulación genética en la evolución humana?
7. ¿Cómo podría regularse este tipo de tecnología para evitar abusos?



## Explorar

### Elaboración de bioplástico casero

#### Objetivo:

Elaboración de bioplástico utilizando materiales caseros, y explorar cómo la biotecnología permite desarrollar alternativas más sostenibles a los plásticos convencionales.

### Materiales:

- 1 taza de agua.
- 1 cucharada de almidón de maíz (fécula de maíz o maicena)
- 1 cucharadita de vinagre blanco.
- 1 cucharadita de glicerina (opcional, se puede encontrar en farmacias; sirve para que el bioplástico sea más flexible).
- Sartén o cacerola pequeña.
- Cuchara o espátula para mezclar.
- Papel encerado o bandeja plana para verter el bioplástico.
- Colorante alimentario (opcional, para añadir color).



### Procedimiento:

#### 1. Preparación de la Mezcla:

- En una cacerola pequeña, vierte la taza de agua.
- Añade una cucharada de almidón de maíz y disuelve bien en el agua.
- Agrega la cucharadita de vinagre y la glicerina (si la tienes). La glicerina ayudará a que el bioplástico sea más flexible y menos quebradizo. Si deseas añadir color, agrega algunas gotas de colorante alimentario en este paso.

#### 2. Cocción de la Mezcla:

- Coloca la cacerola a fuego bajo y comienza a calentar la mezcla.
- Remueve constantemente con la cuchara o espátula para evitar que se pegue y se formen grumos.
- A medida que la mezcla se calienta, comenzará a espesar. Continúa removiendo hasta que tome una textura espesa, similar a un gel (esto tomará entre 5 y 10 minutos).
- Una vez que tenga una textura homogénea y gelatinosa, retírala del fuego.

#### 3. Formado del Bioplástico:

- Vierte la mezcla caliente sobre una bandeja plana o un papel encerado para que se enfríe. Puedes extenderla con la cuchara o espátula para darle el grosor deseado.
- Deja que la mezcla se enfríe y se endurezca, lo cual tomará alrededor de 30 minutos. Mientras enfría, la mezcla se solidificará formando una lámina delgada de bioplástico.

#### 4. Observación y Análisis:

- Una vez que esté completamente seco y sólido, retira el bioplástico de la superficie.
- Observa su textura, flexibilidad y dureza. Compáren los resultados en el grupo y discutan cómo podría usarse este tipo de bioplástico.



#### QR Video

Cómo hacer bioplástico casero | rápido y fácil.  
<https://www.youtube.com/watch?v=fHFX3gb7Yjk>





## Explicar

### Biotecnología e ingeniería genética

#### Biotecnología

La biotecnología y la ingeniería genética son campos de estudio que han revolucionado nuestra comprensión y manipulación de los organismos vivos. A través de técnicas avanzadas, estos campos permiten modificar organismos para mejorar sus características, producir medicamentos, y abordar desafíos globales como la seguridad alimentaria y las enfermedades.

La **biotecnología** es una disciplina antigua y moderna a la vez. Su origen se remonta a miles de años atrás, cuando los primeros agricultores domesticaron plantas y animales, usando el conocimiento intuitivo para mejorar los cultivos y criar animales más fuertes. Con el tiempo, esta práctica evolucionó hacia métodos más sofisticados, hasta llegar a la biotecnología moderna, que utiliza organismos vivos o partes de ellos para crear productos útiles, como medicamentos y alimentos. Hoy en día, la biotecnología es una de las ciencias más innovadoras, con aplicaciones que van desde la medicina hasta la agricultura y la conservación ambiental.

Hoy en día, la **biotecnología** se define como el uso de organismos, células y moléculas biológicas para crear productos útiles. La biotecnología moderna se ha vuelto mucho más avanzada con el desarrollo de la **tecnología del ADN recombinante** y la **ingeniería genética**, lo que permite no solo el uso de organismos vivos, sino también la manipulación directa de su material genético, el ADN.

#### ADN recombinante e ingeniería genética: las herramientas del siglo XXI

Con el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 por James Watson y Francis Crick, se abrió la puerta al conocimiento de cómo funciona la genética. A partir de ahí, la tecnología del ADN recombinante revolucionó la ciencia. Esta tecnología incluye un conjunto de métodos que permiten analizar y manipular el ADN en formas que eran impensables en la antigüedad. Algunas de las técnicas clave son:

- 1. Métodos para obtener fragmentos de ADN:** Permiten aislar partes específicas del ADN para estudiarlas o modificarlas.
- 2. Clonación del ADN:** Este método permite obtener múltiples copias idénticas de un fragmento de ADN, como un gen específico. Un ejemplo famoso de clonación es la oveja Dolly, el primer mamífero clonado a partir de una célula adulta.
- 3. Identificación de fragmentos específicos de ADN:** Estas técnicas permiten localizar y estudiar genes específicos, facilitando investigaciones en medicina y agricultura.
- 4. Secuenciación de ADN:** Al determinar el orden exacto de los nucleótidos (los bloques de construcción del ADN), los científicos pueden «leer» la información genética y comprender mejor las características codificadas en los genes.
- 5. Ingeniería genética o tecnología del ADN recombinante in vitro:** Esta técnica permite manipular genes de manera precisa, mejorándolos, modificándolos y combinándolos de formas que no ocurren naturalmente. Es así como se pueden «cortar y pegar» genes de diferentes organismos para crear nuevas combinaciones con propiedades específicas, como la resistencia a enfermedades en plantas.



**Figura 11.1** Biotecnología: impulsando un futuro donde la ciencia y la innovación se unen para mejorar nuestra calidad de vida y proteger el medio ambiente.



#### QR Video

La ingeniería genética cambiará todo para siempre – CRISPR  
<https://www.youtube.com/watch?v=NMic49qGt2g>

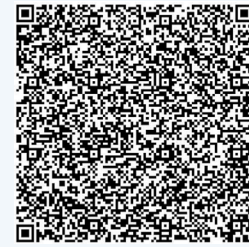


Una de las herramientas más revolucionarias en la ingeniería genética es **CRISPR** (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). Esta técnica permite realizar «ediciones» en el ADN de manera precisa, rápida y económica. Utilizando “tijeras moleculares,” CRISPR puede cortar y modificar el ADN en puntos específicos, permitiendo agregar, eliminar o modificar fragmentos de ADN. Esta herramienta se ha utilizado para investigar tratamientos para enfermedades genéticas, mejorar cultivos y estudiar la función de los genes.

### Potencialidades y aplicaciones de la biotecnología y la ingeniería genética

Las aplicaciones de estas tecnologías son vastas y cubren diversas áreas:

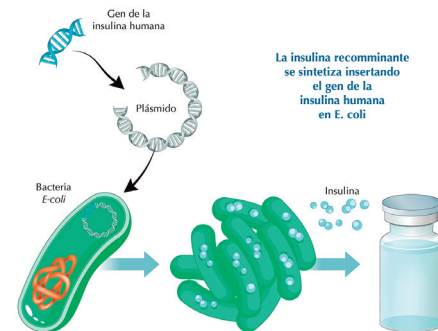
- **Medicina:** La tecnología del ADN recombinante ha permitido desarrollar la **insulina humana sintética** para el tratamiento de la diabetes, logrando que bacterias genéticamente modificadas produzcan insulina humana a bajo costo. También se han desarrollado terapias génicas que pueden corregir defectos genéticos directamente en el ADN de una persona, así como vacunas de ARN para combatir enfermedades.
- **Agricultura:** La biotecnología ha dado lugar a cultivos transgénicos, que contienen genes que los hacen resistentes a plagas, sequías y enfermedades, permitiendo aumentar la producción agrícola y reducir el uso de pesticidas. Esto se ha logrado insertando genes de otras especies, como genes que producen toxinas específicas contra plagas.
- **Industria y medio ambiente:** La biotecnología se aplica en el tratamiento de residuos a través de la **biorremediación**, que utiliza organismos para limpiar ambientes contaminados, como cuerpos de agua y suelos, y en la producción de biocombustibles para reducir la dependencia de combustibles fósiles.



QR archivo descargable:

Suena interesante: “Los virus modificados con CRISPR para acabar con infecciones urinarias”

### Insulina humana recombinante



**Figura 11.2** La insulina humana recombinante se sintetiza en laboratorio insertando el gen de la insulina humana en Plásmido de la bacteria *E. coli*.

### Reflexiones éticas y futuras en la biotecnología

La biotecnología y la ingeniería genética nos permiten explorar y modificar los cimientos mismos de la vida. A medida que avanzamos, es esencial no solo comprender el potencial de estas tecnologías, sino también reflexionar sobre sus implicaciones éticas. La capacidad de manipular el ADN y transformar organismos ofrecen grandes beneficios, soluciones a problemas complejos, pero también plantean preguntas éticas. ¿Hasta dónde debemos modificar organismos vivos? ¿Es aceptable modificar el ADN humano para prevenir enfermedades? Estas preguntas son el centro de la **bioética**, que invita a reflexionar sobre las implicaciones y los límites de estas tecnologías.

### Aplicaciones de la genética en biotecnología

Las aplicaciones de la genética en biotecnología han transformado áreas clave como la agricultura, la ganadería, la medicina, la industria, y el medio ambiente, cada una con descubrimientos y técnicas específicas que han mejorado la calidad de vida y la sustentabilidad de nuestros sistemas. A continuación, exploramos cada área en detalle:

#### 1. Biotecnología en agricultura

La biotecnología en agricultura comenzó con la domesticación y selección de cultivos hace miles de años, cuando los agricultores elegían las plantas con mejores características. Sin embargo, el verdadero cambio ocurrió con el descubrimiento de la manipulación genética en el siglo XX, que permitió desarrollar organismos genéticamente modificados (OGM). Estos organismos contienen genes de otras especies que les confieren características deseables, como resistencia a plagas o tolerancia a la sequía.

La biotecnología agrícola busca crear cultivos más nutritivos, productivos y sostenibles, adaptados a condiciones cambiantes como el cambio climático. Además, al reducir la necesidad de agroquímicos, contribuye a un enfoque de agricultura más ecológico.

### Alimentos transgénicos: comparación, beneficios y posibles desventajas

¿Qué son los alimentos transgénicos?

Los **alimentos transgénicos** son aquellos que han sido modificados genéticamente, es decir, en cuyo ADN se han introducido genes de otra especie para mejorar ciertas características, como la resistencia a plagas o la tolerancia a condiciones climáticas extremas. A diferencia de los **alimentos no transgénicos**, que no han sufrido modificación en su código genético, los transgénicos permiten controlar y potenciar aspectos específicos del cultivo de manera más directa y rápida que la selección natural o la hibridación tradicional.



**Figura 11.3** La modificación genética de los alimentos permite, por ejemplo, que un cultivo sea más resistente a plagas, tolerante a herbicidas o incluso más nutritivo.

*Beneficios de los alimentos transgénicos*

- **Aumento en la producción y seguridad alimentaria:** Al resistir mejor a plagas y enfermedades, los cultivos transgénicos permiten obtener mayores cosechas con menos pérdidas. Esto es especialmente útil en áreas donde el acceso a alimentos es limitado y se busca maximizar la productividad de la tierra disponible. Un ejemplo notable es el maíz Bt, que incorpora un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que le permite producir una proteína tóxica para ciertas plagas. Gracias a esta modificación, el maíz Bt reduce la necesidad de pesticidas, disminuyendo el impacto ambiental y aumentando la producción agrícola.
- **Resistencia a condiciones climáticas extremas:** Los transgénicos pueden ser modificados para tolerar sequías, salinidad y otras condiciones climáticas desfavorables, lo cual permite cultivar en tierras menos fértiles o en áreas afectadas por el cambio climático.
- **Enriquecimiento nutricional:** El desarrollo de alimentos transgénicos como el arroz dorado, que contiene vitamina A, ayuda a combatir deficiencias nutricionales en poblaciones que dependen de este alimento como base de su dieta, previniendo enfermedades como la ceguera en niños.

### Comparación con los alimentos no transgénicos

Características	Alimentos transgénicos	Alimentos no transgénicos
<b>Genética</b>	Modificados con genes externos para mejorar características específicas.	Su genética se mantiene sin intervención artificial directa.
<b>Rendimiento</b>	Mayor productividad y resistencia a plagas y sequías.	Pueden requerir más tierra y pesticidas para producir la misma cantidad.
<b>Impacto Ambiental</b>	Menor uso de pesticidas, pero posible riesgo a la biodiversidad.	Su impacto depende del manejo agrícola; menor riesgo de contaminación genética.
<b>Nutrición</b>	Puede enriquecerse con nutrientes adicionales (ej., arroz dorado).	La nutrición depende del tipo de alimento sin modificaciones adicionales.
<b>Costo</b>	Puede ser más caro al inicio, pero reduce costos de producción a largo plazo.	Generalmente menos costosos en su producción inicial.

*Posibles desventajas o riesgos de los alimentos transgénicos*

- **Riesgo para la biodiversidad:** Los cultivos transgénicos podrían cruzarse con especies silvestres, alterando los ecosistemas y reduciendo la diversidad genética. Esto podría afectar la flora y fauna local al crear “supermalezas” que resisten a herbicidas.
- **Dependencia de corporaciones agrícolas:** Las semillas transgénicas suelen ser propiedad de grandes empresas, lo que crea dependencia de los agricultores en cuanto a la compra de semillas y el uso de herbicidas específicos. Esto puede llevar a conflictos sobre los derechos de propiedad intelectual y control de los recursos agrícolas.

## Herencia y Evolución Biológica

- **Posibles efectos en la salud:** Aunque no se ha demostrado que los alimentos transgénicos sean perjudiciales, algunos estudios sugieren la necesidad de una evaluación a largo plazo sobre sus efectos en la salud humana, especialmente en el sistema inmune y la resistencia a antibióticos.
- **Impacto en la economía local:** Los alimentos transgénicos pueden afectar a los agricultores que usan métodos tradicionales, ya que la competencia con cultivos de mayor rendimiento puede reducir los precios del mercado, afectando la economía agrícola local.

Los alimentos transgénicos ofrecen beneficios claros en términos de seguridad alimentaria, reducción de pesticidas y resistencia a climas adversos. Sin embargo, también presentan desafíos éticos, ecológicos y económicos que deben ser gestionados con regulaciones adecuadas y políticas que promuevan un equilibrio entre innovación y sustentabilidad.



QR archivo descargable:

Biotecnología en la  
Agricultura  
[https://www.youtube.com/watch?v=h\\_jqiD6aelE&t=391s](https://www.youtube.com/watch?v=h_jqiD6aelE&t=391s)



### Elaborar

## Comprendiendo los alimentos transgénicos

1. Lee la sección del libro de texto sobre alimentos transgénicos, enfocándose en los beneficios, riesgos y aplicaciones de esta tecnología.
2. Elabora una tabla comparativa:
  - a. En el cuaderno, los estudiantes crearán una tabla con dos columnas:  
**Columna 1:** Beneficios de los alimentos transgénicos  
**Columna 2:** Riesgos y preocupaciones de los alimentos transgénicos
  - b. Completarán la tabla con al menos 3 puntos en cada columna, basándose en la lectura.
3. Reflexión final y discusión:
  - a. En grupos pequeños, los estudiantes compartirán sus tablas y discutirán:  
¿Qué beneficios consideran más relevantes y por qué?  
¿Cuáles de los riesgos mencionados les preocupan más?  
¿Estarían de acuerdo en consumir alimentos transgénicos? ¿Por qué?
4. Discutan de manera grupal:
  - a. Destaca los puntos clave de la actividad, fomentando una reflexión ética sobre el uso de la biotecnología en la alimentación.



### Explicar

## 2. Biotecnología en ganadería

*Biotecnología en ganadería: Innovación para la producción y la salud animal*

Desde tiempos antiguos, los humanos han practicado la **selección artificial** en la ganadería, eligiendo animales con características específicas, como resistencia, docilidad y alta producción de carne y leche. Con la llegada de la biotecnología moderna, estas prácticas se han vuelto más avanzadas y precisas. Uno de los momentos más importantes fue en 1996, cuando nació la oveja Dolly, el primer mamífero clonado a partir de una célula adulta.



Este logro marcó un hito en la biotecnología, abriendo la puerta a la clonación de otras especies y al desarrollo de técnicas que permiten la manipulación genética de animales.

En 1992, científicos de la Universidad de Cambridge introdujeron genes humanos en embriones de cerdo para producir proteínas que eviten el rechazo de órganos en trasplantes, un avance que amplió el potencial de la biotecnología en la medicina y la ganadería. En 1998, investigadores de la Universidad de McGill en Canadá identificaron el gen relacionado con la obesidad y la diabetes tipo 2 en ratones, proporcionando una base para estudios sobre enfermedades metabólicas.

### Aplicaciones en la ganadería

**Clonación de Animales:** La clonación permite crear copias genéticas exactas de animales con genes valiosos, como resistencia a enfermedades o alta productividad. Esto es útil para preservar y mejorar las características genéticas del rebaño. Por ejemplo, la clonación puede ser empleada para producir ganado resistente a enfermedades, optimizando la calidad y cantidad de carne y leche. Además, esta tecnología contribuye a la conservación de especies en peligro de extinción.

**Uso de marcadores genéticos:** Los **marcadores genéticos** son secuencias de ADN que permiten identificar características deseables, como resistencia a enfermedades o alta producción de leche. Al seleccionar y reproducir animales con los mejores genes, se optimiza la calidad del rebaño sin necesidad de manipulación directa del ADN. Un ejemplo de esta aplicación es el uso de marcadores para mejorar las razas de vacas lecheras, seleccionando aquellas con mayor capacidad de producción y resistencia a enfermedades.

**Animales transgénicos para producción de proteínas humanas:** En algunos casos, se han creado **vacas transgénicas** que producen proteínas humanas en su leche, como la lactoferrina, una proteína con propiedades antimicrobianas útil en medicamentos. Esta innovación permite la producción de proteínas terapéuticas sin necesidad de procesos industriales complejos, facilitando el acceso a tratamientos médicos.

**Animales para producción de órganos (Xenotrasplante):** Se han modificado genéticamente cerdos para que produzcan órganos compatibles para trasplantes humanos, disminuyendo el riesgo de rechazo. Este proceso, conocido como **xenotrasplante**, permite utilizar cerdos como "fábricas de órganos" para pacientes que requieren trasplantes, lo que representa una esperanza en la medicina de trasplante de órganos.

**Modelos genéticos para estudio de enfermedades:** Estos modelos genéticos son útiles para entender las bases de enfermedades en humanos y desarrollar tratamientos potenciales.

### Potencialidades de la biotecnología en ganadería

La biotecnología en ganadería tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y salud de la producción animal:

- **Producción sostenible y eficiente:** Al seleccionar y reproducir animales con características genéticas superiores, la ganadería se vuelve más productiva y requiere menos recursos para la crianza, lo que contribuye a una producción sostenible.
- **Reducción de enfermedades y uso de antibióticos:** La clonación de animales resistentes a enfermedades ayuda a reducir el uso de antibióticos, mejorando el bienestar animal y reduciendo el riesgo de resistencia bacteriana.



**Figura 11.4** Carne sintética cultivada en el laboratorio de biotecnología a partir de células madre adultas de vaca.



QR página web

Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242021000500004&script=sci\\_arttext&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242021000500004&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com)

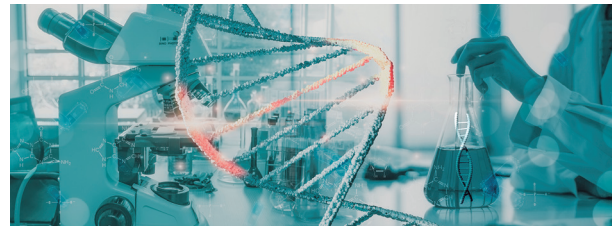
## Herencia y Evolución Biológica

- Seguridad alimentaria y salud Pública: Los avances en biotecnología ganadera ayudan a garantizar un suministro constante de alimentos de alta calidad y permiten producir proteínas terapéuticas en animales, lo cual puede mejorar el acceso a tratamientos médicos.

La biotecnología aplicada a la ganadería ofrece soluciones innovadoras y sostenibles que benefician tanto a la producción de alimentos como a la salud animal y humana. Al abordar los desafíos éticos y ecológicos, la biotecnología ganadera puede ser una herramienta poderosa para mejorar la seguridad alimentaria y apoyar el desarrollo de tratamientos médicos en un futuro próximo.

### Biología en medicina: transformando el futuro de la salud

La biotecnología aplicada a la medicina comenzó con el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 por James Watson y Francis Crick, lo que permitió entender cómo se transmite la información genética. Este hallazgo fue crucial para desarrollar la tecnología del ADN recombinante, que ha hecho posible la producción de medicamentos esenciales, como la insulina humana.



**Figura 11.5** Laboratorio de biotecnología molecular. La ingeniería del ADN permite avances revolucionarios en la medicina, para mejorar la calidad de vida.”

El siglo XXI ha traído consigo avances aún más sorprendentes. Herramientas como CRISPR, una técnica de edición genética de alta precisión, han revolucionado la biomedicina al permitir modificar genes específicos en el ADN, abriendo posibilidades para el tratamiento de enfermedades hereditarias, el cáncer y la medicina regenerativa. Además, el estudio del genoma humano y de bacterias patógenas ha proporcionado una comprensión profunda de las bases genéticas de enfermedades, lo que facilita el desarrollo de nuevos tratamientos.

#### Aplicaciones en la medicina:

- *Producción de Insulina recombinante:* Antes de la biotecnología moderna, la insulina se extraía de animales, un proceso costoso y menos eficiente. Con la tecnología del ADN recombinante, los científicos introdujeron el gen de la insulina humana en bacterias, permitiendo producir insulina sintética en grandes cantidades. Esta innovación ha hecho que el tratamiento de la diabetes sea accesible y seguro para millones de personas en todo el mundo.
- *Terapia génica:* La terapia génica busca corregir defectos genéticos en células somáticas para tratar enfermedades hereditarias, como la fibrosis quística y la distrofia muscular. La manipulación de genes permite reemplazar genes defectuosos por versiones funcionales, y aunque esta técnica está en desarrollo, ha mostrado resultados prometedores. A largo plazo, se espera que la terapia génica pueda prevenir la transmisión de enfermedades hereditarias mediante la modificación de células germinales.
- *Células madre y medicina regenerativa:* Las células madre tienen la capacidad de transformarse en cualquier tipo de tejido, lo que las hace útiles en la medicina regenerativa. Estas células pueden regenerar tejidos dañados, como hueso, hígado o piel, y tienen aplicaciones en tratamientos para enfermedades degenerativas como el Parkinson y el Alzheimer.
- *Vacunas de ARN y nuevas vacunas genéticas:* El desarrollo de vacunas basadas en ARN mensajero (ARNm) contra enfermedades como COVID-19 ha sido un hito reciente, permitiendo respuestas rápidas y efectivas frente a nuevas amenazas virales. Estas vacunas introducen ARNm en el cuerpo, instruyendo a las células para producir proteínas virales que activan el sistema inmunitario. Además, se están desarrollando vacunas genéticas contra enfermedades como la malaria, la encefalitis y el sida.
- *Fármacos basados en biotecnología:* La biotecnología ha hecho posible la obtención de medicamentos como la hormona de crecimiento y el interferón, utilizado para tratar el cáncer y enfermedades virales. Estos medicamentos biotecnológicos han demostrado ser efectivos y seguros en comparación con tratamientos tradicionales, ya que se producen a partir de proteínas humanas.

- *Diagnóstico precoz y bioinformática:* La terapia génica ha avanzado el diagnóstico precoz de enfermedades genéticas. Hoy en día, existen pruebas que identifican mutaciones genéticas asociadas al cáncer de mama y otros tipos de cáncer, así como enfermedades metabólicas y cardiovasculares. La bioinformática es fundamental en este proceso, ya que permite analizar y gestionar la información genética necesaria para la identificación de mutaciones y el desarrollo de terapias personalizadas.
- *Neurología molecular y enfermedades mentales:* En el campo de la neurología molecular, los estudios de neurotransmisores aplicados a enfermedades mentales degenerativas, como el Alzheimer y la enfermedad de Huntington, han permitido el desarrollo de tratamientos para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

### Potencialidades de la biotecnología en medicina

La biotecnología aplicada en medicina tiene un potencial transformador para mejorar los tratamientos y prevenir enfermedades. Algunas de sus principales ventajas incluyen:

**Terapias personalizadas:** Con el avance en la secuenciación del genoma y la bioinformática, es posible adaptar tratamientos a la información genética de cada persona, logrando una mayor eficacia y menores efectos secundarios.

- *Innovaciones en cáncer y enfermedades infecciosas:* La edición genética y la terapia génica están avanzando en el tratamiento de cánceres específicos y en la lucha contra enfermedades infecciosas. La identificación de proteínas que controlan el crecimiento tumoral permite diseñar terapias dirigidas que atacan las células cancerosas sin afectar el tejido sano.
- *Prevención de enfermedades hereditarias:* La posibilidad de intervenir en células germinales podría evitar la transmisión de enfermedades genéticas, mejorando la salud de las futuras generaciones.

A pesar de sus beneficios, la biotecnología en medicina enfrenta desafíos éticos y técnicos. Las terapias génicas, especialmente en células germinales, plantean preguntas sobre los límites de la manipulación genética y la “perfección” de características humanas. Además, la investigación en biotecnología médica requiere una inversión considerable en bioinformática y análisis de datos genéticos, necesarios para comprender las secuencias de ADN y desarrollar tratamientos seguros y efectivos.

La biotecnología aplicada a la medicina es un campo prometedor que ya ha revolucionado los tratamientos y el diagnóstico de enfermedades. A medida que continúan los avances, es crucial desarrollar esta tecnología de manera ética y segura para garantizar que sus beneficios lleguen a toda la sociedad y no se comprometan los valores éticos fundamentales.

### Biotecnología en la industria: Innovación para la sostenibilidad

La **biotecnología industrial**, o “biotecnología blanca,” ha tenido un impacto transformador en diversos sectores productivos al emplear microorganismos y procesos biológicos para optimizar y hacer más sostenible la producción industrial. Desde los primeros usos de la fermentación para elaborar productos como la cerveza y el vino, la biotecnología ha evolucionado para abarcar una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la fabricación de biocombustibles y bioplásticos, así como el tratamiento de residuos. Este enfoque promueve una producción industrial más ecológica, alineada con los principios de sostenibilidad y economía circular.

#### Aplicaciones en industria:

**Producción de biocombustibles:** La biotecnología ha permitido el desarrollo de **biocombustibles**, como el etanol, a partir de residuos vegetales mediante microorganismos genéticamente modificados. Este tipo de combustible es una alternativa a los combustibles fósiles, ya que proviene de fuentes renovables y su producción emite menos gases de efecto invernadero. Además, los **biodigestores** en el campo permiten la fermentación de



QR página web

Aplicaciones de la Genética en la Medicina: Avances y Beneficios

<https://apexbioetica.es/aplicaciones-de-la-genetica-en-la-medicina/>



## Herencia y Evolución Biológica

desechos orgánicos, como el estiércol, para generar biogás, que puede utilizarse para calefacción, calentamiento de agua y otros procesos industriales.

**Bioplásticos:** La biotecnología ha dado lugar a la producción de **bioplásticos** a partir de materiales renovables, como el almidón de maíz, los cuales son biodegradables y ayudan a reducir la contaminación por plásticos tradicionales. Estos plásticos tienen una amplia aplicación en la fabricación de envases y productos desechables, contribuyendo a disminuir la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente.

**Tratamiento de aguas y emisiones gaseosas:** La biotecnología industrial utiliza organismos aeróbicos y anaeróbicos para purificar aguas residuales de industrias petroquímicas, cerveceras y alimentarias. Estos organismos descomponen los contaminantes de manera similar a los procesos naturales en ríos y lagos, mejorando la calidad del agua. Asimismo, **biofiltros** y **biolavadores** se emplean para reducir las emisiones gaseosas al atrapar y degradar sustancias contaminantes antes de liberarlas al ambiente, ayudando a controlar la contaminación atmosférica.

**Producción de enzimas industriales:** La biotecnología permite la creación de enzimas específicas para diferentes industrias, como las de detergentes, alimentos y textiles. Estas enzimas mejoran la eficiencia de los procesos productivos, reducen la necesidad de químicos agresivos y minimizan el impacto ambiental de estos productos. Por ejemplo, en la industria de los detergentes, se emplean enzimas que permiten una limpieza eficaz a bajas temperaturas, lo cual ahorra energía.

**Gestión de residuos sólidos y generación de biogás:** La instalación de biodigestores permite aprovechar residuos sólidos municipales, ganaderos y agrícolas para producir biogás a través de bacterias metanogénicas. Este gas es una fuente de energía renovable y reduce las emisiones de dióxido de carbono y metano, ambos gases que contribuyen al efecto invernadero. Además, los residuos del biodigestor sirven como fertilizante natural, contribuyendo a la protección de mantos acuíferos al evitar el uso de fertilizantes sintéticos que contaminan las aguas subterráneas.

### Potencialidades de la biotecnología en industria

La biotecnología industrial aporta soluciones que favorecen una producción sostenible y ecoamigable, con impactos positivos en el medio ambiente y la economía:

- Reducción del impacto ambiental: Al utilizar materiales renovables y procesos biológicos, la biotecnología industrial disminuye las emisiones de contaminantes y el uso de recursos no renovables, contribuyendo a mitigar el cambio climático.
- Economía circular y aprovechamiento de residuos: La biotecnología permite aprovechar residuos orgánicos y convertirlos en energía y fertilizantes naturales, reduciendo el desperdicio y promoviendo un ciclo de producción más sostenible.
- Innovación en productos y procesos: La producción de enzimas y bioplásticos impulsa la innovación en diferentes industrias, optimizando los procesos y generando productos que se ajustan a las demandas de un mercado más consciente del impacto ambiental.

La biotecnología en la industria representa una poderosa herramienta para avanzar hacia una producción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Con aplicaciones en energía, gestión de residuos, fabricación de materiales biodegradables y tratamiento de agua y aire, esta disciplina impulsa una industria alineada con los principios de la economía circular, ayudando a enfrentar los retos ambientales y fomentando un desarrollo económico que beneficia a las generaciones actuales y futuras.

### Biorremediación y su impacto ambiental

La **biorremediación** es una técnica que utiliza organismos vivos, como bacterias, hongos y plantas, para reducir o eliminar contaminantes del medio ambiente. Este concepto tiene sus raíces en la naturaleza misma, donde microorganismos y plantas descomponen materia orgánica y reciclan nutrientes en ecosistemas acuáticos y terrestres. La aplicación de estos procesos naturales a problemas de contaminación comenzó a estudiarse en la década de

1970, cuando el aumento de residuos industriales y derrames de petróleo despertaron el interés por encontrar métodos sostenibles de limpieza ambiental.

Uno de los hitos históricos más relevantes fue el uso de bacterias en el tratamiento de aguas residuales, un método que imita el proceso natural de descomposición. Otro avance notable fue en 1989, cuando se aplicó biorremediación en el desastre del Exxon Valdez, uno de los mayores derrames de petróleo en la historia, en el cual se emplearon bacterias especializadas para descomponer los hidrocarburos, acelerando la recuperación del ecosistema marino en Alaska.

#### Entre las aplicaciones más comunes de la biorremediación se encuentran:

**1.** Reducción de contaminantes en suelos y aguas:

Microorganismos como bacterias y hongos descomponen compuestos orgánicos dañinos, incluidos hidrocarburos y pesticidas, en suelos y cuerpos de agua contaminados. Por ejemplo, en zonas petroleras como el Golfo de México, empresas especializadas emplean bacterias diseñadas para degradar petróleo y derivados, logrando recuperar suelos afectados y reduciendo el uso de solventes químicos que generan residuos adicionales.

**2.** Tratamiento de aguas residuales:

Los microorganismos también juegan un papel clave en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. En las plantas de tratamiento, bacterias descomponen la materia orgánica, reduciendo contaminantes y dejando el agua apta para su descarga o reutilización. En algunos municipios, se utilizan humedales artificiales con plantas acuáticas que absorben nutrientes y metales pesados, mejorando la calidad del agua de forma natural.

**3.** Fitorremediación:

Algunas plantas tienen la capacidad de absorber y acumular contaminantes del suelo y el agua, como metales pesados. Esta técnica se utiliza en áreas agrícolas afectadas por plomo y mercurio, donde plantas como el girasol y la mostaza india eliminan estos elementos tóxicos, limpiando el suelo y haciéndolo apto para cultivos a largo plazo.

**4.** Control de emisiones en plantas industriales:

La biorremediación no se limita a suelos y aguas; también se aplica en el aire. Algunas industrias emplean biofiltros que contienen microorganismos capaces de atrapar y descomponer sustancias tóxicas en las emisiones gaseosas. Este método es particularmente útil en plantas petroquímicas y de procesamiento de alimentos, donde contribuye a mejorar la calidad del aire local de manera eficiente y sostenible.

La biorremediación representa una solución eficaz y sostenible para el tratamiento de contaminantes en diversos entornos. Al emplear procesos biológicos naturales, no solo se reducen los niveles de contaminantes en suelos y aguas, sino que también se promueve la protección y recuperación de los recursos naturales. Esta técnica tiene el potencial de ser una herramienta clave en la gestión ambiental y en la restauración de ecosistemas, especialmente en un contexto de creciente preocupación por la contaminación y el cambio climático.

### Ética en la manipulación genética

La **manipulación genética** comenzó a desarrollarse en la segunda mitad del siglo XX con el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953, lo cual permitió a los científicos entender cómo se almacena y transmite la información genética. Este avance impulsó la creación de la **tecnología del ADN recombinante** en la década de 1970, que permitió manipular el material genético en organismos vivos, sentando las bases de la ingeniería genética moderna.

A finales del siglo XX, con la creación de los primeros **organismos genéticamente modificados (OGM)**, surgieron preguntas sobre el impacto de estos organismos en la agricultura, la salud humana y el medio ambiente. En 2012, la llegada de la tecnología **CRISPR-Cas9** revolucionó la edición genética al permitir realizar modificaciones en el ADN de manera precisa y a bajo costo. Esta herramienta ha abierto la posibilidad de editar genes en humanos para tratar enfermedades genéticas, pero también plantea dilemas éticos sobre los límites de la intervención humana en la genética.

## Herencia y Evolución Biológica

La manipulación genética plantea numerosos dilemas éticos, principalmente en dos áreas: la **modificación genética en humanos** y el **uso de organismos genéticamente modificados en agricultura**. A continuación, se exploran los riesgos y beneficios de estas aplicaciones.

### 1. Modificación genética en humanos

#### Beneficios potenciales:

- La modificación genética en humanos tiene el potencial de curar enfermedades hereditarias, como la fibrosis quística y la anemia falciforme. A través de la edición genética, se pueden corregir genes defectuosos y prevenir la transmisión de enfermedades a las generaciones futuras.
- La terapia génica también ofrece la posibilidad de personalizar tratamientos en función de la información genética del paciente, lo que podría mejorar significativamente la eficacia de los tratamientos y reducir los efectos secundarios.

#### Riesgos y dilemas éticos:

- **Eugenesia y “mejoramiento humano”:** Existe el riesgo de que la edición genética se utilice para fines de «perfeccionamiento» humano, es decir, para modificar características no médicas como la inteligencia, el aspecto físico o las habilidades. Esto plantea la posibilidad de una «eugenesia moderna,» en la que ciertos rasgos sean considerados «mejores» o «preferibles,» afectando la diversidad humana y creando posibles desigualdades.
- **Impacto en las generaciones futuras:** La edición de genes en células germinales (óvulos y espermatozoides) puede causar cambios hereditarios. Esto implica que cualquier modificación se transmitirá a las futuras generaciones, y las consecuencias de estas alteraciones pueden ser impredecibles. Esto plantea un dilema sobre la responsabilidad ética de modificar la línea genética humana y los riesgos asociados.
- **Consentimiento y autonomía:** En el caso de las modificaciones genéticas en embriones, el sujeto modificado no tiene la oportunidad de consentir estos cambios, lo cual abre una discusión sobre los derechos individuales y la autonomía en decisiones que afectan la vida.

### 2. Organismos Genéticamente Modificados (OGM) en agricultura

#### Beneficios Potenciales:

- Los OGM en agricultura han permitido el desarrollo de cultivos resistentes a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas, aumentando la producción de alimentos y reduciendo el uso de pesticidas. Esto no solo beneficia a los agricultores, sino también a la seguridad alimentaria en áreas con escasez de recursos.
- Algunos OGM, como el arroz dorado, han sido enriquecidos con nutrientes adicionales, como la vitamina A, para combatir deficiencias nutricionales en poblaciones vulnerables.

#### Riesgos y dilemas éticos:

- **Impacto en la biodiversidad:** Los OGM pueden cruzarse con especies silvestres y transmitirles características genéticas que no ocurren de forma natural, lo cual podría alterar los ecosistemas y reducir la biodiversidad. Esto plantea un riesgo para la estabilidad ecológica y para las especies nativas.
- **Monopolio corporativo y soberanía alimentaria:** La mayoría de las semillas transgénicas son propiedad de grandes corporaciones, lo que genera dependencia de los agricultores a estas empresas y pone en riesgo la soberanía alimentaria de los países. Este modelo de negocio puede afectar a los pequeños agricultores y plantea dilemas sobre la concentración de recursos agrícolas en manos de unos pocos.
- **Salud humana:** Aunque la mayoría de los estudios han demostrado que los OGM son seguros para el consumo humano, algunos sectores de la sociedad continúan preocupados por posibles efectos a largo plazo en la salud. Esto ha llevado a debates sobre la necesidad de etiquetar los productos que contienen OGM, de modo que los consumidores puedan decidir si desean o no consumirlos.

### Reflexión ética y responsabilidad en la manipulación genética

La manipulación genética abre posibilidades fascinantes para mejorar la salud humana, aumentar la producción de alimentos y proteger el medio ambiente. Sin embargo, estas oportunidades deben ser evaluadas a la luz de principios éticos, como el respeto a la autonomía, la justicia, la igualdad y la sostenibilidad.

Es importante que las decisiones en torno a la manipulación genética se tomen de forma responsable, considerando no solo los beneficios a corto plazo, sino también los efectos a largo plazo en la salud humana, la biodiversidad y la sociedad en general. Los científicos, legisladores y ciudadanos deben participar en un diálogo constante sobre los límites éticos de esta tecnología, para asegurar que se utilice de manera justa y sostenible.



En conclusión, la ética en la manipulación genética invita a los estudiantes a reflexionar sobre las implicaciones de esta tecnología en la vida humana y el medio ambiente. A medida que la biotecnología avanza, es crucial encontrar un equilibrio entre el progreso científico y el respeto por la diversidad biológica y los derechos humanos.



## Elaborar

### Mapa conceptual sobre las aplicaciones de la genética

Instrucciones:

1. Lectura e investigación previa:
  - Antes de realizar el mapa conceptual, revisa el contenido de tu libro de texto sobre las aplicaciones de la genética, enfocándote en áreas como la medicina, la agricultura, la industria y el medio ambiente.
  - Si es necesario, investiga información adicional en fuentes confiables para enriquecer tu conocimiento.
2. Organización de la información:
  - Enumera las principales aplicaciones de la genética que has identificado. Por ejemplo:
  - En medicina: Terapias génicas, insulina recombinante, vacunas de ARN.
  - En agricultura: Cultivos transgénicos, resistencia a plagas, mejora de rendimientos.
  - En la industria: Producción de biocombustibles, fabricación de enzimas industriales.
  - En el medio ambiente: Biorremediación, biodigestores, reducción de emisiones.
3. Creación del mapa conceptual:
  - Toma una hoja de papel (o utiliza una herramienta digital como Canva, PowerPoint o CmapTools).
  - En el centro de la hoja, escribe el concepto principal: "Aplicaciones de la Genética".
  - Desde el concepto principal, dibuja ramas que conecten a las diferentes áreas de aplicación: Medicina, Agricultura, Industria, Medio Ambiente.
  - A partir de cada área, añade subramas con ejemplos específicos de aplicaciones (por ejemplo, de "Medicina" puedes derivar "Terapia génica" y luego "Tratamiento de enfermedades genéticas").
4. Incorpora elementos visuales:
  - Añade íconos, colores o diagramas para hacer tu mapa conceptual más visual y atractivo.
  - Usa palabras clave en lugar de frases largas para resumir la información.
5. Revisión y reflexión:
  - Una vez terminado, revisa tu mapa conceptual y verifica que toda la información esté correctamente organizada y conectada.
  - Reflexiona sobre cuál de estas aplicaciones consideras más importante para el futuro y anótalo brevemente al margen del mapa.
6. Presentación del mapa:
  - Lleva tu mapa conceptual a la clase siguiente, donde lo compartirás con tus compañeros en grupos pequeños o en una presentación frente al grupo.
  - Durante tu presentación, explica las conexiones entre las diferentes aplicaciones de la genética y destaca su importancia para la humanidad y el ambiente.

Tiempo estimado para la actividad:

- En casa: 30-40 minutos para investigación y creación del mapa conceptual.
- En clase: 10 minutos para presentar y discutir en grupos.

Criterios de evaluación:

- Organización y claridad del mapa conceptual.
- Uso correcto de conceptos clave y ejemplos.
- Creatividad y presentación visual.
- Capacidad para explicar las conexiones entre las aplicaciones de la genética.

### Momento 3



### Evaluar

## Reforzando lo aprendido sobre biotecnología y sus aplicaciones

Creación y presentación de una Infografía sobre aplicaciones de la biotecnología

### Instrucciones para la actividad

#### Fase 1: Trabajo en casa (tarea)

1. El docente formará equipos de 3 a 5 integrantes (según el tamaño de la clase) y asignará a cada equipo uno de los siguientes campos donde se aplica la biotecnología:
  - Salud.
  - Agricultura.
  - Medio ambiente.
2. De manera individual leer el texto proporcionado sobre las aplicaciones de la biotecnología (libro de texto y páginas de internet), que incluya temas como:
  - Producción de insulina humana con bacterias transgénicas.
  - Cultivos transgénicos resistentes a plagas.
  - Uso de CRISPR para tratar enfermedades genéticas.
3. Cada equipo investigará más a fondo sobre la aplicación biotecnológica asignada.
  - a. Para guiar su investigación responderá a las siguientes preguntas y utilizarlas como base para su infografía:
    - ¿Qué problema específico se resuelve con esta aplicación biotecnológica?
    - ¿Cómo funciona la tecnología aplicada (de forma básica)?
    - ¿Qué ventajas e inconvenientes puede tener?
    - ¿Qué dilema ético o ambiental puede surgir?
  - b. Los equipos deben comenzar a diseñar una infografía que incluya:
    - Título claro.
    - Resumen del problema y solución.
    - Representación visual (diagramas, imágenes o gráficos simples).
    - Beneficio clave.
    - Un posible dilema ético o ambiental.
4. Formato sugerido para la Infografía:
  - Puede realizarse a mano en una hoja tamaño carta o con herramientas digitales como *Canva*, *PowerPoint* o *Google Slides*.

#### Fase 2: Exposición en el aula

1. Al inicio de la clase, cada equipo tendrá 10 minutos para ajustar detalles finales en su infografía y ensayar su presentación.
2. Presentaciones breves:

Cada equipo presentará su infografía al grupo en **4 minutos**, explicando:

  - La aplicación biotecnológica asignada.
  - Un beneficio clave de la aplicación.
  - Un posible dilema ético o ambiental asociado.
3. Durante las presentaciones, los demás equipos pueden tomar notas y hacer preguntas al final.
4. Discusión grupal:
  - a. De manera grupal, discutan la siguiente pregunta:
    - ¿Cuál de estas aplicaciones creen que será más importante en el futuro? ¿Por qué?
  - b. Cada equipo puede justificar su respuesta en función de lo aprendido y lo expuesto.



# Progresión de aprendizaje 12



## Momento 1

Las similitudes y diferencias anatómicas entre organismos actuales y fósiles permiten reconstruir la historia evolutiva e inferir las líneas de descendencia evolutiva.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Reconocer que la información genética y el registro fósil proporcionan evidencia de la evolución y comprende que este proceso es multifactorial y uno de esos factores es la selección natural que conduce a la adaptación, y que la adaptación actúa durante generaciones, siendo un proceso importante por el cuál las especies cambian con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT5. Diferenciar organismos que pueden tomar energía de su entorno para poder cumplir funciones que aportan a la dinámica del sistema que habitan.
- CT6. Fundamentar que todos los seres vivos están formados por estructuras fundamentales que son la base para la construcción de sistemas más complejos que integran niveles de organización.
- CT7. Examinar como los organismos responden a estímulos del medio que habitan, derivando esto en la posibilidad de romper con estados de equilibrio interno. Identificar el papel que juegan los cambios en un entorno para los seres vivos y como modifica esto el comportamiento, la densidad poblacional de un grupo de organismos, las interacciones y la descendencia en una especie.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones.
- CT2. Causa y efecto.
- CT3. Medición
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía.
- CT6. Estructura y función.
- CT7. Estabilidad y cambio.



## Evaluación diagnóstica

**Instrucciones:** Lee cada pregunta y selecciona la opción correcta.

- 1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la importancia del registro fósil en el estudio de la evolución?**
  - a. Los fósiles son restos de organismos modernos sin conexión con el pasado.
  - b. Los fósiles muestran cambios en las especies a lo largo del tiempo y ayudan a entender la evolución.
  - c. Los fósiles solo se encuentran en rocas volcánicas recientes.
- 2. ¿Cuál de los siguientes fósiles es considerado un fósil de transición entre reptiles y aves?**
  - a. Tiktaalik.
  - b. Archaeopteryx.
  - c. Australopithecus afarensis.
- 3. ¿Cuál es un ejemplo de un órgano vestigial en los seres humanos?**
  - a. Los riñones.
  - b. El apéndice.
  - c. El corazón.
- 4. ¿Qué función tenía el apéndice en los ancestros de los humanos?**
  - a. Ayudaba en la digestión de material vegetal.
  - b. Servía como órgano reproductor secundario.
  - c. Generaba energía química en la sangre.
- 5. ¿Cuál de las siguientes estructuras es un ejemplo de homología?**
  - a. Las alas de un murciélago y las alas de una mariposa.
  - b. Las extremidades delanteras de un humano, un ave y un caballo.
  - c. Las raíces de una planta y las patas de un perro.
- 6. ¿Cuál es un ejemplo de estructuras análogas?**
  - a. Las patas traseras de un caballo y las de un elefante.
  - b. Las alas de un insecto y las alas de un murciélago.
  - c. Los dientes de un león y los de un tiburón.
- 7. ¿Qué se observa en los embriones de vertebrados durante las primeras etapas de desarrollo?**
  - a. Similitudes estructurales, como la presencia de hendiduras branquiales y colas.
  - b. Embriones completamente desarrollados en todos los casos.
  - c. Estructuras únicas que no se relacionan con ningún ancestro común.
- 8. ¿Por qué las similitudes en los embriones de peces, aves y humanos son importantes?**
  - a. Indican que los vertebrados tienen un ancestro común.
  - b. Reflejan errores en el desarrollo de las especies modernas.
  - c. Explican cómo los embriones crecen en un ambiente similar.
- 9. Comparación de secuencias de ADN. ¿Qué significa que los humanos y los chimpancés comparten más del 98% de su ADN?**
  - a. Que los chimpancés y los humanos son la misma especie.
  - b. Que los humanos y los chimpancés comparten un ancestro común cercano.
  - c. Que los chimpancés evolucionaron directamente de los humanos.
- 10. ¿Qué representa un nodo en un árbol filogenético?**
  - a. Una extinción masiva en la historia evolutiva.
  - b. El punto donde dos especies comparten un ancestro común.
  - c. La distancia geográfica entre dos especies.

## Momento 2



### Enganchar

## El guardián del hielo

En 2020, en las heladas tierras de Siberia, un grupo de buscadores de colmillos de mamut hizo un hallazgo sorprendente: la momia de un cachorro de tigre dientes de sable, preservada en el permafrost durante aproximadamente 35,000 años. Este pequeño felino, de tan solo tres semanas de vida al momento de su muerte, fue encontrado con su pelaje marrón oscuro, bigotes y garras en un estado de conservación excepcional.

El cachorro pertenecía a la especie *Homotherium latidens*, conocida por sus adaptaciones únicas al frío extremo de la Edad de Hielo. A diferencia de los leones modernos, este tigre dientes de sable tenía un cuello más grueso, orejas más pequeñas y patas delanteras alargadas, características que le permitían moverse con agilidad sobre la nieve.

Este tipo de descubrimientos nos ofrecen una ventana al pasado, permitiéndonos observar de cerca de una criatura extinta, brindando información valiosa sobre cómo los organismos se adaptaron a su entorno y cómo evolucionaron a lo largo del tiempo.

Con la guía de tu docente, discutan acerca del texto. Tomen como base en las siguientes preguntas:

- ¿Qué diferencias y similitudes observas entre las características físicas del *Homotherium latidens* y los grandes felinos actuales? ¿Qué nos dicen estas diferencias sobre sus hábitos y hábitats?
- ¿Cómo crees que las condiciones climáticas extremas de la Edad de Hielo pudieron influir en las adaptaciones físicas del tigre dientes de sable?
- ¿Qué importancia tiene el hallazgo de fósiles tan bien conservados para nuestra comprensión de la historia natural y la evolución de las especies?
- Reflexionando sobre las adaptaciones del *Homotherium latidens*, ¿por qué piensas que esta especie no sobrevivió hasta nuestros días, mientras que otros felinos sí lo hicieron?



### Explorar

## Estudiando los fósiles

1. Observa las siguientes imágenes:

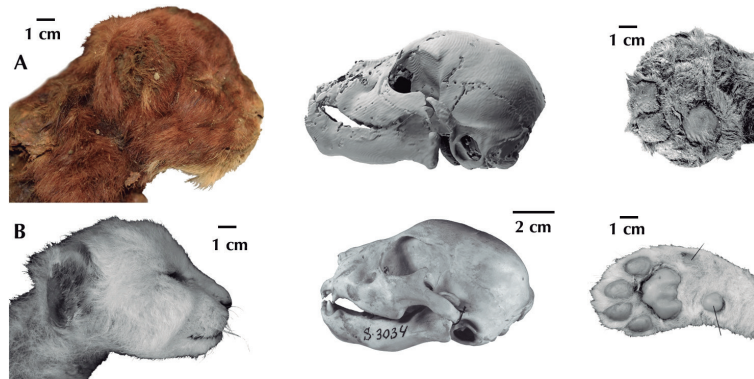


Figura 12.1 Comparación entre el cachorro de *Homotherium latidens* del Pleistoceno Superior (A) y un león moderno (*Panthera leo*) (B), mostrando diferencias en pelaje, cráneo y estructura. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-79546-1#Sec4>

- Después de analizar las imágenes responde en tu cuaderno las siguientes preguntas:
  - ¿Qué nos dicen los fósiles sobre el pasado?
  - ¿Por qué algunas especies tienen órganos que parecen no ser útiles hoy en día?
  - ¿Por qué las extremidades de un murciélago y un humano son similares si tienen funciones distintas?
  - Comenten sus respuestas ante el grupo.
- Con la guía de tu profesor reflexionen sobre:
  - ¿Qué relación pueden tener estas evidencias con el concepto de evolución?
  - ¿Cómo podríamos interpretar las similitudes y diferencias que observamos en estas estructuras?
- Finalmente elabora una conclusión.
  - Resumir brevemente que estas evidencias son clave para entender cómo las especies han cambiado a lo largo del tiempo y cómo están relacionadas entre sí.



### Explicar

## El registro fósil como evidencia de la evolución

### ¿Qué es un fósil?

Imagina viajar en el tiempo y presenciar un mundo habitado por criaturas que ya no existen. Hace millones de años, gigantescos reptiles dominaban la Tierra, mientras los primeros mamíferos comenzaban a emerger tímidamente. Aunque no podemos retroceder en el tiempo, las pistas de ese mundo perdido están justo debajo de nuestros pies, ocultas en las rocas.

Estos fragmentos del pasado son los **fósiles**, restos o impresiones de organismos que vivieron hace mucho tiempo y que se han preservado en las profundidades de la Tierra. Cada fósil es como una página de un libro que nos cuenta la historia de la vida, desde los primeros organismos unicelulares hasta los impresionantes dinosaurios y las especies que hoy conocemos. Son una evidencia tangible de cómo la vida ha cambiado y evolucionado a lo largo de millones de años.



#### QR archivo descargable:

Nuevos fósiles aportan una instantánea singular de la vida tras una extinción en masa

Artículo: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2019/10/nuevos-fosiles-aportan-instantanea-de-vida-tras-extincion-en-masa-dinosaurios>

En esta progresión, exploraremos cómo se forman los fósiles, qué secretos pueden revelarnos y por qué son una de las piezas más valiosas en el rompecabezas de la evolución.

Los fósiles son restos, huellas o impresiones de organismos que vivieron en el pasado y que se han conservado en las rocas. Son una de las principales evidencias del proceso evolutivo, ya que nos proporcionan información directa sobre formas de vida que existieron hace millones de años y nos ayudan a comprender cómo han cambiado las especies a lo largo del tiempo.

La formación de fósiles, conocida como **fósilización**, ocurre en condiciones muy específicas que permiten la preservación de los restos. Generalmente, un organismo debe quedar rápidamente enterrado bajo sedimentos, como arena o lodo, en un ambiente donde se reduzca la descomposición y se limite el acceso de depredadores. Con el tiempo, los minerales presentes en el agua subterránea reemplazan los tejidos orgánicos del organismo, convirtiéndolo en roca.

Hay diferentes tipos de fósiles, como:

- **Fósiles de cuerpo:** Incluyen partes del organismo como huesos, dientes o caparazones.



#### QR página web

FÓSILES 101  
<https://www.nationalgeographic.es/video/tv/fossil-101es>



- **Fósiles traza:** Huellas, madrigueras o coprolitos (excrementos fosilizados) que indican el comportamiento del organismo.
- **Inclusiones:** Organismos atrapados en ámbar o hielo, donde el material original se conserva casi intacto.

### Ejemplos de fósiles clave

A lo largo de los años, se han descubierto fósiles que han transformado nuestra comprensión de la historia de la vida. Uno de los más famosos es el **Archaeopteryx**, un fósil que muestra una combinación única de características de reptiles y aves.

- **Archaeopteryx:** Descubierto en Alemania en 1861, este fósil tiene rasgos reptilianos, como dientes y una cola larga, pero también presenta plumas, lo que indica su relación con las aves modernas. Es considerado un fósil de transición, ya que muestra cómo los dinosaurios pequeños y emplumados pudieron haber evolucionado hacia las aves.

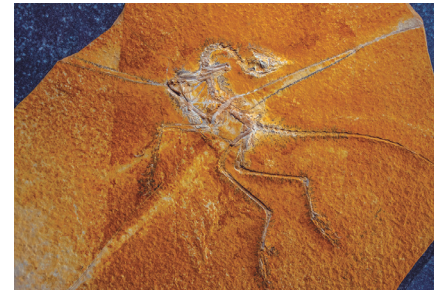


Figura 12.2 *Archaeopteryx* fósiles descubiertos en Alemania.

Otros ejemplos importantes incluyen:

- **Tiktaalik:** Un fósil que muestra la transición de peces a los primeros vertebrados terrestres.
- **Australopithecus afarensis (Lucy):** Un homínido que proporciona información clave sobre la evolución humana.

Estos fósiles nos muestran cómo los organismos antiguos se conectan con las especies actuales, evidenciando cambios graduales y acumulativos a lo largo del tiempo.



Figura 12.3 *Australopithecus afarensis*, uno de nuestros ancestros más antiguos.

### Interpretación de patrones evolutivos en fósiles

El registro fósil nos permite reconstruir la historia de la vida en la Tierra y observar patrones evolutivos importantes, como:

1. **Extinciones masivas y radiaciones adaptativas:** Los fósiles revelan períodos en los que muchas especies desaparecieron (extinciones masivas), seguidos de explosiones de diversidad biológica, donde nuevos grupos de organismos se desarrollaron rápidamente.

Ejemplo: La extinción masiva del Cretácico marcó el fin de los dinosaurios no avianos y permitió que los mamíferos dominaran.

2. **Evolución gradual y fósiles de transición:** Muestran cómo una especie puede transformarse en otra a través de cambios pequeños y acumulativos. Los fósiles de transición, como el **Archaeopteryx**, son clave para entender este proceso.
3. **Relaciones entre especies extintas y actuales:** Comparar fósiles con organismos modernos permite identificar características compartidas y rastrear la evolución de órganos o estructuras específicas. Por ejemplo: Las extremidades de los primeros tetrápodos, como el **Tiktaalik**, muestran cómo las aletas evolucionaron en patas para la vida terrestre.
4. **Cambios en las condiciones ambientales:** Los fósiles también revelan cómo los cambios en el clima y el ambiente han influido en la evolución. Por ejemplo, las capas de sedimentos marinos muestran evidencia de la transición de mares antiguos a desiertos actuales.



Figura 12.4 Tiktaalik, peces caminantes extintos, la evolución de los animales de cuatro patas.

El registro fósil es como un libro incompleto que narra la historia de la vida en la Tierra. Cada fósil encontrado es una página más que nos ayuda a entender cómo los organismos han cambiado y se han adaptado a lo largo del tiempo. Aunque no todos los organismos se fosilizan, los fósiles disponibles son una herramienta fundamental para estudiar la evolución y nos muestran la conexión entre el pasado y el presente.



## Elaborar

### Construyendo el registro fósil

En esta actividad simularán el proceso de formación de fósiles y analizarán cómo estos se interpretan en el contexto del registro fósil, reforzando conceptos clave sobre su clasificación y significado evolutivo.



- 1. Para iniciar, formen equipos de trabajo para la formación de fósiles. Por ejemplo:**
  - a. Equipo 1: Crear fósiles de cuerpo. Usarán arcilla para presionar figuras de plástico (hojas, conchas, huesos) y simularán el entierro bajo sedimentos.
  - b. Equipo 2: Crear fósiles de traza. Usarán palillos o herramientas para hacer huellas o madrigueras en la arcilla.
  - c. Equipo 3: Crear fósiles de inclusión. Insertarán figuras pequeñas en yeso o harina simulando ámbar o hielo.
- 2. De acuerdo al tipo de fósil a crear traer el material necesario como:**
  - a. Arcilla o plastilina (una por estudiante o grupo pequeño).
  - b. Pequeñas figuras de plástico que representen organismos (peces, hojas, conchas, etc.).
  - c. Yeso o harina (opcional para simular fósiles).
  - d. Palillos o herramientas pequeñas para trazar huellas.
  - e. Imágenes impresas o proyectadas de fósiles de cuerpo, trazas e inclusiones.
  - f. Fichas con descripciones de fósiles reales (por ejemplo, *Archaeopteryx*, *Tiktaalik*).
- 3. Para iniciar con la actividad en clase, explicar brevemente sobre los factores clave para la fosilización (apoyense en las imágenes e información solicitada) y la clasificación de los mismos:**
  - a. Rápido entierro.
  - b. Reemplazo de tejidos por minerales.
  - c. Condiciones especiales para fósiles de trazas o inclusiones.
    - Cada equipo procede a la creación del fósil de acuerdo a su clasificación y prepara una breve descripción del "fósil" que creó, explicando cómo se formó y su posible relación evolutiva.
    - Exponer las "creaciones fósiles" de cada equipo y discutir:
  - d. ¿Qué tipo de información proporciona este fósil sobre el organismo?
  - e. ¿Qué nos dice sobre el ambiente donde vivió?
  - f. ¿Cómo podría este fósil ayudar a entender la evolución de las especies actuales?
- 4. Relacionar los fósiles creados con ejemplos reales, como el *Archaeopteryx* o *Tiktaalik*.**
- 5. Reflexionen grupal:**
  - a. ¿Cómo contribuyen los fósiles a la construcción del registro fósil?
  - b. ¿Qué desafíos enfrentan los paleontólogos al interpretar fósiles incompletos?
    - Reforzar la idea de que el registro fósil es como un rompecabezas que nos conecta con el pasado.

#### Evaluación:

- a. Observación del proceso creativo y participación en las discusiones.
- b. Breves descripciones escritas de los fósiles creados.
- c. Reflexión oral o escrita sobre el significado del registro fósil en la evolución.



## Explicar

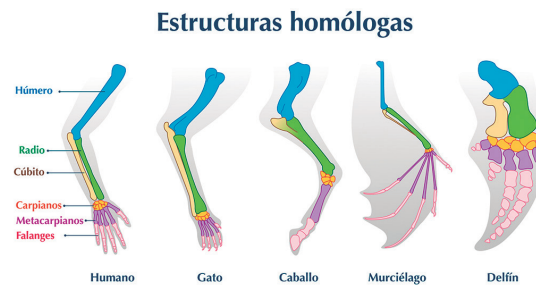
### Homologías y analogías

La diversidad de los seres vivos es producto de millones de años de evolución, un proceso que ha moldeado las características de los organismos en respuesta a sus necesidades y al ambiente en el que habitan. Para entender cómo los organismos han evolucionado y cómo se relacionan entre sí, es fundamental analizar dos tipos de estructuras anatómicas: **estructuras homólogas** y **estructuras análogas**. Estas estructuras son clave para comprender dos patrones evolutivos importantes: la **evolución divergente** y la **evolución convergente**.

#### a) Estructuras homólogas y evolución divergente

##### ¿Qué son las estructuras homólogas?

Las **estructuras homólogas** son aquellas que tienen un **origen evolutivo común**, es decir, provienen de un mismo ancestro, pero han evolucionado de forma diferente para adaptarse a diversas funciones y ambientes. Aunque su forma externa o su función actual puede ser distinta, la similitud en su estructura interna es evidencia de un **antepasado compartido**.



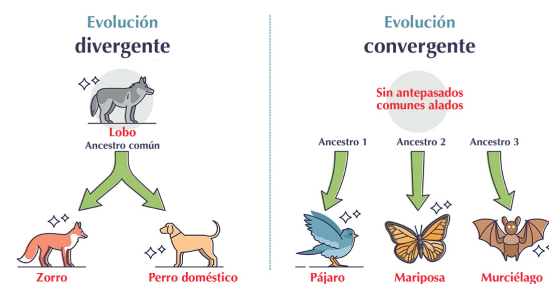
**Ejemplo:** Consideremos las extremidades de un ser humano, un delfín, un murciélago y un caballo. Aunque cumplen funciones distintas –manipular objetos, nadar, volar y correr, respectivamente–, todas comparten el mismo patrón estructural óseo: húmero, radio, cúbito, carpos y falanges. Esta semejanza indica que estos organismos descienden de un **ancestro común** que poseía una extremidad primitiva similar.

La aparición de estructuras homólogas es el resultado de la **evolución divergente**. Este proceso ocurre cuando una **especie ancestral** se diversifica en diferentes especies debido a la adaptación a distintos **nichos ecológicos**. A medida que estos organismos enfrentan ambientes variados, sus características se modifican para cumplir funciones específicas, pero conservan evidencia de su origen común.

#### b) Estructuras análogas y la evolución convergente

##### ¿Qué son las estructuras análogas?

Las **estructuras análogas** son aquellas que tienen funciones similares, pero no tienen un origen evolutivo común. En este caso, la similitud en la forma o función no se debe a una herencia compartida, sino a que los organismos han enfrentado presiones ambientales similares, lo que ha llevado a la **evolución de características parecidas de manera independiente**.



##### Ejemplo:

Las **alas** de un insecto y las alas de un ave permiten volar, pero su estructura interna es completamente diferente. Las alas de un ave están formadas por huesos, mientras que las alas de los insectos carecen de huesos y están compuestas por membranas delgadas.

La aparición de estructuras análogas es producto de la **evolución convergente**, un proceso en el cual organismos que **no están estrechamente relacionados** desarrollan características similares como respuesta a **presiones ambientales parecidas**. Esto ocurre cuando diferentes especies ocupan **nichos ecológicos similares**. La forma hidrodinámica de los cuerpos de los **delfines** (mamíferos) y los **tiburones** (peces) les permite desplazarse con eficiencia en el agua. Aunque no tienen un ancestro común cercano, la selección natural ha favorecido cuerpos aerodinámicos como una adaptación al medio acuático.



Diferencias clave entre estructuras homólogas y análogas

Característica	Estructuras Homólogas	Estructuras Análogas
Origen evolutivo	Común (mismo ancestro)	Independiente (diferentes ancestros)
Evolución	Evolución divergente	Evolución convergente
Ejemplo	Extremidades de humanos, murciélagos y delfines	Alas de insectos y aves
Función	Puede ser diferente	Similar
Estructura interna	Similar	Diferente

Importancia de las estructuras en el estudio de la evolución

El análisis de las estructuras homólogas y análogas permite a los científicos reconstruir las **relaciones evolutivas** entre los organismos y entender cómo han evolucionado a lo largo del tiempo.

- Las **estructuras homólogas** evidencian **divergencia evolutiva** y confirman la existencia de un ancestro común.
- Las **estructuras análogas** son un ejemplo claro de **convergencia evolutiva** y muestran cómo la selección natural puede conducir a soluciones similares ante desafíos ambientales.

El estudio de estas estructuras no solo nos ayuda a comprender cómo ha ocurrido la evolución, sino que también demuestra la **belleza y complejidad de la naturaleza**. La evolución es un proceso continuo que ha permitido a los organismos adaptarse a un mundo en constante cambio, ya sea siguiendo caminos diferentes divergencia o convergentes.

c) Órganos Vestigiales

Además de las estructuras homólogas y análogas, existen órganos vestigiales, que son restos de estructuras que en los ancestros tenían una función importante, pero que actualmente no tienen un uso aparente. Estos órganos son restos de características que fueron funcionales en los ancestros de la especie, pero que se han reducido o modificado debido a cambios en el comportamiento, el ambiente o las necesidades del organismo.

¿Sabías que llevas en tu cuerpo rastros de un pasado evolutivo que cuenta una historia fascinante? Algunos órganos y estructuras que poseemos hoy no tienen una función clara, pero fueron esenciales para nuestros ancestros. Desde un pequeño hueso en la base de nuestra columna hasta un órgano que alguna vez ayudó a digerir plantas, estos vestigios nos conectan con las formas de vida que vinieron antes que nosotros.

¿Por qué los humanos tenemos un coxis si no tenemos cola? ¿Qué papel jugaba el apéndice en nuestros ancestros? ¿Por qué las ballenas, los gigantes del océano, tienen restos de huesos pélvicos que no usan para caminar? Estas preguntas son clave para entender cómo la evolución ha moldeado la vida en la Tierra. Los órganos vestigiales son evidencia de nuestro pasado evolutivo y reflejan la adaptación constante de las especies a su entorno.

Son una evidencia clara del cambio evolutivo, ya que demuestran cómo las especies pueden retener vestigios de características que eran esenciales en el pasado, pero que ya no cumplen un propósito significativo en las condiciones actuales.

Ejemplos de órganos vestigiales:

1. Cosis humano o hueso caudal, es un vestigio de la cola que tenían los ancestros primates de los humanos. En especies como los monos o algunos mamíferos, las colas son fundamentales para el equilibrio, la locomoción o la comunicación. En los humanos actuales, el coxis ya no tiene esta función, aunque sigue desempeñando un papel menor como punto de anclaje para algunos músculos del piso pélvico.
2. Apéndice es una estructura tubular unida al intestino grueso. En los ancestros herbívoros de los humanos, este órgano era parte de un sistema digestivo especializado en la fermentación de celulosa para descomponer material vegetal. En los humanos modernos, el apéndice ya no tiene esta función digestiva significativa. Sin embargo, se ha sugerido que puede desempeñar un papel menor en el sistema inmunológico, especialmente en la población de bacterias intestinales beneficiosas.

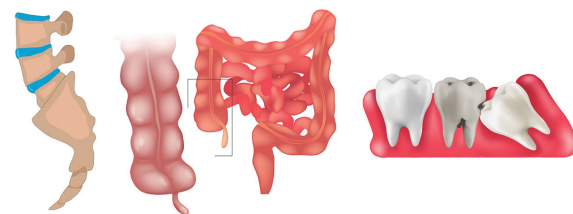
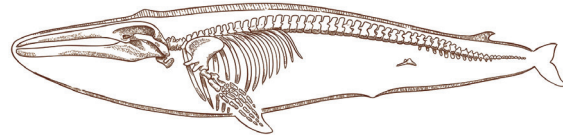


Figura 12.5 El cóccix, el apéndice y las muelas del juicio son vestigios de un pasado evolutivo en los humanos.

3. Huesos pélvicos en ballenas y otros cetáceos poseen pequeños huesos pélvicos que no están conectados a ninguna extremidad funcional. Estos huesos son vestigios de las extremidades traseras de sus ancestros terrestres. Aunque las ballenas han evolucionado para vivir en el agua, estos huesos permanecen como un recuerdo anatómico de su pasado terrestre. Investigaciones recientes sugieren que podrían tener una función secundaria en la reproducción, al actuar como puntos de anclaje para los músculos que controlan los órganos reproductivos.



Los órganos vestigiales reflejan la historia evolutiva de las especies, mostrando cómo las características anatómicas cambian en respuesta a nuevas demandas ambientales y adaptaciones. Debido a cambios en el ambiente y el comportamiento, estas estructuras se volvieron menos necesarias. Aunque estos órganos ya no tienen su propósito original, su presencia no representa un problema para el organismo, y en algunos casos, pueden adaptarse a funciones nuevas o secundarias.

El estudio de los órganos vestigiales es una ventana al pasado evolutivo de las especies. Nos ayuda a comprender cómo las adaptaciones responden a cambios en el ambiente y nos proporciona evidencia sólida de la evolución. Estos órganos son testimonios de cómo las especies han cambiado y continúan adaptándose a lo largo del tiempo.

La anatomía comparada nos permite reconstruir el árbol de la vida y entender cómo la evolución ha dado forma a los organismos a través de millones de años. Las estructuras homólogas, análogas y los órganos vestigiales son como pistas que nos guían en este viaje por la historia de la vida, mostrando cómo especies distintas están conectadas, cómo responden al ambiente y cómo adaptaciones antiguas aún perduran en nuestro cuerpo y el de otros organismos



Figura 12.6 El kiwi y el cormorán de las Islas Galápagos tienen alas vestigiales. Con ellas ya no pueden volar.



QR Video

Órganos vestigiales del cuerpo humano: qué son, y 10 ejemplos

[https://www.curiosamente.com/videos/12-vestigios-evolutivos-en-tu-cuerpo?utm\\_source](https://www.curiosamente.com/videos/12-vestigios-evolutivos-en-tu-cuerpo?utm_source)

"12 vestigios evolutivos en tu cuerpo"

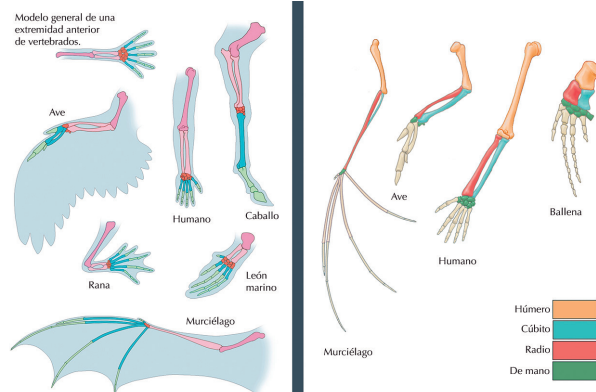


[https://www.curiosamente.com/videos/12-vestigios-evolutivos-en-tu-cuerpo?utm\\_source](https://www.curiosamente.com/videos/12-vestigios-evolutivos-en-tu-cuerpo?utm_source)



## Elaborar

1. Observa las siguientes imágenes:
2. Identifiquen las similitudes y diferencias. Escríbelas en tu libreta.
3. Clasifiquen cada ejemplo según su origen y función.
4. Elaboraren un mapa conceptual que relacione los conceptos de homología, analogía, evolución divergente y evolución convergente, integrando ejemplos de cada caso y presente



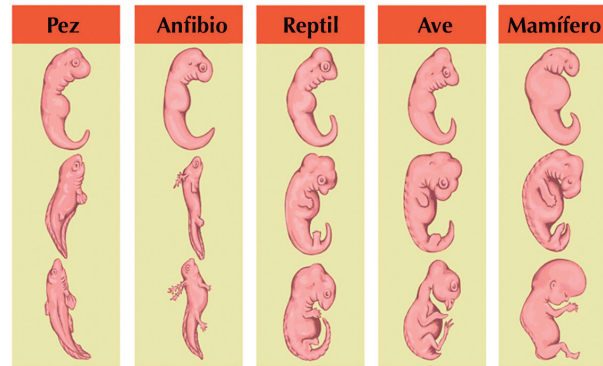
5. ¿Por qué es importante diferenciar entre estructuras homólogas y análogas para comprender la evolución? ¿Qué nos dice esto sobre la historia de la vida en la Tierra?



## Explicar

### Embriología Comparada

La embriología comparada estudia las similitudes y diferencias en el desarrollo embrionario de diferentes organismos. Durante las etapas tempranas del desarrollo, los embriones de vertebrados como peces, aves y humanos muestran sorprendentes similitudes, lo que sugiere un origen evolutivo común. Estas similitudes incluyen:



Origen evolutivo común, componentes embrionarios similares.

#### 1. Presencia de arcos branquiales (o faríngeos):

- En peces, estos arcos se desarrollan en branquias funcionales.
- En aves y humanos, evolucionan hacia estructuras diferentes, como el oído medio y ciertas glándulas.

#### 2. Tubo neural:

- Todos los vertebrados desarrollan un tubo neural en etapas tempranas, que se convertirá en el sistema nervioso central (cerebro y médula espinal).

#### 3. Cola embrionaria:

- Los embriones de vertebrados tienen una extensión caudal (cola), que en los peces se desarrolla en una cola funcional, mientras que en los humanos y aves desaparece o se transforma.

#### 4. Somitas:

- Estas estructuras segmentadas en los embriones se convierten en vértebras y músculos en los vertebrados adultos.

#### 5. Forma general del embrión:

- Durante ciertas etapas, los embriones de peces, aves y humanos tienen formas similares, lo que dificulta distinguir entre ellos sin observación detallada.



QR Video

Los embriones cuentan la evolución.  
[https://www.youtube.com/watch?v=fNIV3BIQx\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=fNIV3BIQx_Y)

Las similitudes en las etapas tempranas del desarrollo embrionario se interpretan como evidencia de que los vertebrados comparten un ancestro común. Esta idea es parte de la teoría de la descendencia con modificación propuesta por Charles Darwin.

- 1. Conservación de genes ancestrales:** Los genes responsables de controlar el desarrollo embrionario, como los genes Hox, son altamente conservados entre los vertebrados. Esto significa que estos genes han cambiado muy poco a lo largo de la evolución, reflejando su importancia para las funciones básicas del desarrollo.
- 2. Desarrollo divergente:** A medida que el embrión progresa, las diferencias específicas entre las especies se hacen más evidentes. Esto muestra cómo las características generales del ancestro común se han adaptado y especializado para satisfacer las necesidades de cada grupo de vertebrados.
- 3. Explicación evolutiva:** Las similitudes en los embriones reflejan patrones evolutivos: las especies que comparten características similares en etapas tempranas del desarrollo han heredado estas características de un ancestro común que vivió en el pasado.

La embriología comparada proporciona una ventana al pasado evolutivo de las especies. Las similitudes observadas en los embriones de vertebrados son un testimonio visual y biológico de la conexión entre todas las formas de vida. Entender cómo los genes y los procesos del desarrollo han sido conservados y adaptados a lo largo del tiempo nos ayuda a comprender la interconexión de la vida en la Tierra.



## Genética comparativa

La comparación de secuencias de ADN entre diferentes especies es una herramienta poderosa en biología para entender las relaciones evolutivas. El ADN contiene la información genética que determina las características de un organismo, y al comparar estas secuencias se pueden identificar similitudes y diferencias que revelan cómo están relacionadas las especies entre sí.

- **Similitudes en el ADN:** Cuanto más parecidas sean las secuencias de ADN entre dos especies, más cercanas están evolutivamente. Por ejemplo, los humanos y los chimpancés comparten aproximadamente el 98-99% de su ADN, lo que indica que tuvieron un ancestro común reciente.
- **Diferencias en el ADN:** Las diferencias en las secuencias de ADN reflejan los cambios acumulados a lo largo del tiempo debido a mutaciones, selección natural y otros procesos evolutivos.

El análisis del ADN también permite rastrear la historia evolutiva de genes específicos, proporcionando evidencia directa de cómo han evolucionado las especies.

## Ejemplos prácticos de genes compartidos entre especies

**Genes Hox:** Están presentes en casi todos los animales y regulan el desarrollo de estructuras a lo largo del cuerpo, como la formación de extremidades, segmentos corporales y órganos. A pesar de las diferencias externas entre especies como insectos, peces y mamíferos, los genes Hox funcionan de manera muy similar, lo que refleja su origen evolutivo común.

**Citocromo C:** Una proteína involucrada en la respiración celular. Su secuencia de aminoácidos es similar en organismos tan diversos como humanos y levaduras.

**Hemoglobina:** Presente en mamíferos y aves, muestra variaciones que reflejan adaptaciones específicas al transporte de oxígeno.

La comparación molecular y genética entre especies ha revolucionado nuestra comprensión de la evolución. Herramientas como la comparación de secuencias de ADN y los árboles filogenéticos permiten trazar las relaciones entre especies con precisión, proporcionando evidencia directa de la descendencia con modificación. Ejemplos como los genes Hox refuerzan la idea de que todos los organismos están conectados a través de un ancestro común, destacando la unidad y la diversidad de la vida en la Tierra.



Imagen tomada de <https://www.genome.gov/es/about-genomics/fact-sheets/Genomica-comparada>



QR página web

Genómica comparada  
<https://www.genome.gov/es/about-genomics/fact-sheets/Genomica-comparada>



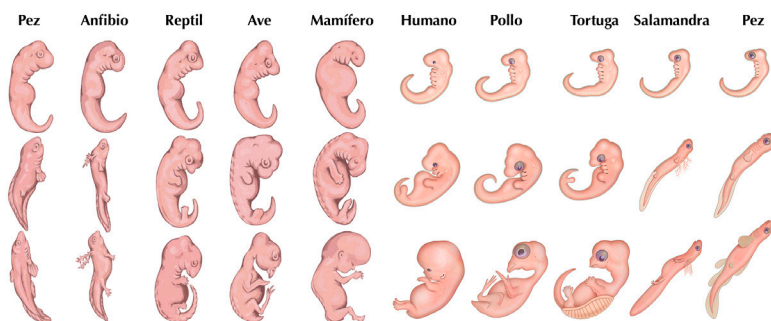
## Elaborar

## Explorando la embriología comparada y la genética comparativa

1. Observa las siguientes imágenes comparativas de embriones de peces, aves y humanos en etapas tempranas. Destaca las similitudes morfológicas como el tubo neural, la cola embrionaria y los arcos branquiales.

¿Qué semejanzas observas entre los embriones?

¿Por qué crees que estas estructuras están presentes en diferentes especies?

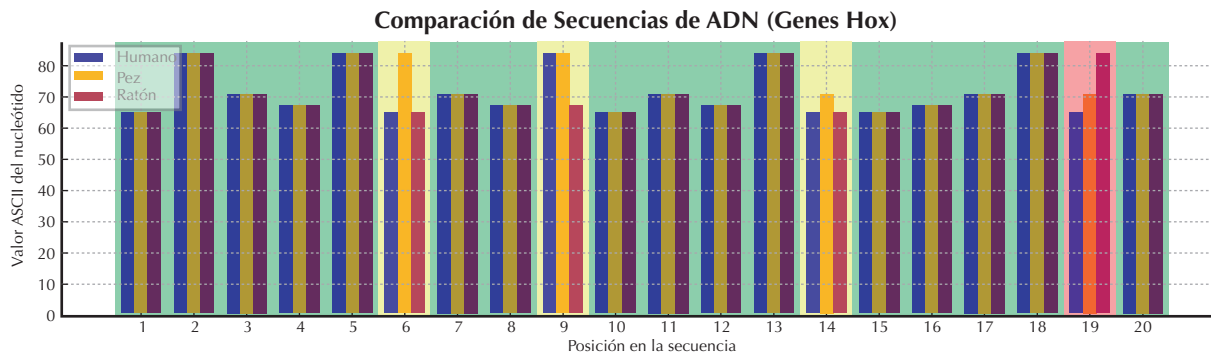


2. Formen equipos de trabajo. Analiza de nuevo las imágenes, lee las dos primeras columnas de la tabla siguiente: Estructura embrionaria y descripción. Completa la tabla marcando las diferencias en el desarrollo embrionario en cada vertebrado.

**Tabla comparativa de estructuras embrionarias comunes en vertebrados**

Estructura Embrionaria	Descripción	Desarrollo en peces	Desarrollo en aves	Desarrollo en humanos
<b>Arcos branquiales (faríngeos)</b>	Pliegues en la región de la garganta presentes en etapas tempranas del desarrollo.	Se desarrollan en branquias funcionales para la respiración acuática.		
<b>Tubo neural</b>	Estructura alargada que dará origen al sistema nervioso central.		Se convierte en la médula espinal y el cerebro de las aves.	
<b>Cola embrionaria</b>	Extensión caudal al final del embrión visible en etapas iniciales.			Se reduce y forma el coxis (hueso vestigial).
<b>Somitas</b>	Segmentos de tejido en el embrión que se distribuyen a lo largo del eje del cuerpo.			
<b>Forma general del embrión</b>	Apariencia externa del embrión en etapas tempranas.			

3. Ahora observa la siguiente imagen con las comparaciones de las secuencias de ADN de los genes Hox proporcionadas. Identificar las similitudes y diferencias.



### Guía para su interpretación:

Los colores indican niveles de conservación del ADN:

- Verde: Nucleótidos idénticos en las tres especies (regiones conservadas).
- Amarillo: Nucleótidos compartidos entre dos especies.
- Rojo: Nucleótidos diferentes en todas las especies.

### Datos clave para interpretación:

- Regiones conservadas (verde): Indican funciones esenciales que no han cambiado durante la evolución.
- Regiones diversificadas (amarillo y rojo): Señalan adaptaciones específicas a los entornos y estilos de vida de las especies.

### Secuencia de nucleótidos:

- Humano: ATGCTAGCTAGCTAACGTAG
- Pez: ATGCTTGCTAGCTGACGTGG
- Ratón: ATGCTAGCCAGCTAACGTTG

## Progresión 12. Variabilidad de características de una misma especie

5. Completa la tabla con tus observaciones:

Posición	Humano	Pez	Ratón	Similitud/Diferencia	Interpretación
1	A	A	A		
6				Similitud parcial (amarillo)	
9					Adaptación específica en cada especie.
14					
19					

6. Basado en los resultados de su análisis contesta:

- ¿Qué indica la similitud en las posiciones 1-5 entre las tres especies?
- ¿Por qué crees que estas regiones no han cambiado mucho a lo largo de la evolución?
- En las posiciones 6, 9 y 14, ¿por qué crees que dos especies tienen el mismo nucleótido mientras la tercera difiere?
- ¿Cómo podrían estar relacionadas estas diferencias con las adaptaciones al entorno de cada especie?
- ¿Qué nos dicen las similitudes y diferencias en estas secuencias sobre la relación evolutiva entre humanos, peces y ratones?
- ¿Por qué crees que los genes Hox son tan importantes en todas las especies?

7. Compartan sus observaciones y conclusiones sobre las similitudes embrionarias y genéticas ante el grupo

### Momento 3



### Evaluar

#### “Desentrañando el misterio de las especies perdidas”

“Hoy trabajaremos como biólogos evolutivos para reconstruir la historia de la vida.” Se ha encontrado una criatura fosilizada en un desierto remoto. Aunque está extinta, presenta características de varias especies modernas. Tu equipo ha sido convocado como expertos en evolución para determinar cómo está relacionada con los organismos actuales.

1. Al observar y analizar el fósil encontraron que tenía las siguientes características:

- Poseía huesos pélvicos vestigiales como los de una ballena.
- Su cráneo tiene similitudes con reptiles, pero sus extremidades delanteras parecen adaptadas al vuelo.
- Las primeras etapas de su desarrollo embrionario muestran un tubo neural y arcos branquiales.
- Su ADN comparte un 70% de similitud con los humanos y un 85% con los ratones.

Elabora una hipótesis sobre el fósil encontrado contestando los siguientes cuestionamiento:

- ¿Qué conclusiones pueden sacar sobre esta criatura?
- ¿Qué evidencias apoyan sus ideas?

Fase 1:

2. Formen equipos de trabajo para resolver este caso (apoyáte en la información en el libro). Su profesor indicará que equipo revisará cada evidencia en el caso, ejemplo:

**Equipo 1 y 2:**

- Fósiles: Analicen las características del fósil, como los huesos pélvicos vestigiales y las extremidades y respondan:



- ¿Qué características del fósil indican conexiones evolutivas?
- ¿Qué transición evolutiva evidencia cada característica?
- Dibujen cual sería la apariencia del fósil encontrado.

### Equipo 3 y 4:

- Embriología Comparada, analicen:
  - ¿Qué similitudes en las etapas tempranas del desarrollo observan en los embriones?
  - ¿Qué sugieren estas similitudes sobre las relaciones entre especies?Utiliza imágenes comparativas de embriones que resaltan estructuras comunes (tubo neural, cola embrionaria).

### Equipo 5 y 6:

- Genética Comparativa.
- Según la tabla de ADN ¿Qué especies tienen más similitudes genéticas con la criatura?
- ¿Qué diferencias genéticas podrían reflejar adaptaciones específicas?

### Equipo 7 y 8:

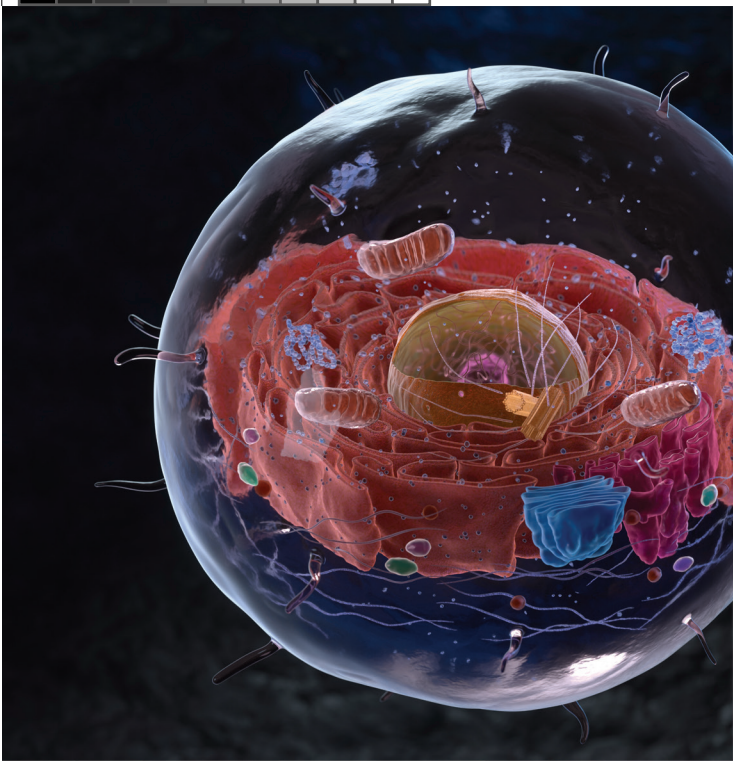
- Órganos Vestigiales.
  - ¿Qué órganos vestigiales se observan en el fósil?
  - ¿Qué indican estos órganos sobre su historia evolutiva?

### Fase 2:

- Cada equipo responde las siguientes preguntas:
  - ¿Qué similitudes observan entre el fósil y las especies actuales?
  - ¿Qué rol juegan las similitudes embrionarias en su análisis?
  - ¿Cómo explican las similitudes genéticas encontradas?
  - ¿Qué pueden inferir sobre el origen evolutivo de este organismo?
- Cada equipo presenta sus conclusiones al grupo, explicando cómo utilizaron las evidencias para resolver el caso.

Reflexionar grupalmente:

- ¿Qué evidencia fue más útil para llegar a sus conclusiones?
- ¿Cómo se complementan los fósiles, la embriología, la genética y los órganos vestigiales para entender la evolución?
- ¿Por qué es importante utilizar múltiples líneas de evidencia para reconstruir la historia evolutiva?



**Momento 1**

La información genética proporciona evidencia de la evolución. Las secuencias de ADN varían entre especies, pero existen similitudes que permiten inferir las líneas de descendencia entre organismos.

**Tiempo estimado:**

10 horas.

**Metas de aprendizaje:**

**Contenido Central (CC).** Reconocer que la información genética y el registro fósil proporcionan evidencia de la evolución y comprende que este proceso es multifactorial y uno de esos factores es la selección natural que conduce a la adaptación, y que la adaptación actúa durante generaciones, siendo un proceso importante por el cuál las especies cambian con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT5. Diferenciar organismos que pueden tomar energía de su entorno para poder cumplir funciones que aportan a la dinámica del sistema que habitan.
- CT6. Fundamentar que todos los seres vivos están formados por estructuras fundamentales que son la base para la construcción de sistemas más complejos que integran niveles de organización.
- CT7. Examinar como los organismos responden a estímulos del medio que habitan, derivando esto en la posibilidad de romper con estados de equilibrio interno. Identificar el papel que juegan los cambios en un entorno para los seres vivos y como modifica esto el comportamiento, la densidad poblacional de un grupo de organismos, las interacciones y la descendencia en una especie.

**Conceptos transversales (CT):**

- CT1. Patrones.
- CT2. Causa y efecto.
- CT3. Medición.
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía.
- CT6. Estructura y función.
- CT7. Estabilidad y cambio.



## Evaluación diagnóstica

**1. ¿Qué evento marcó el inicio de la formación de los océanos en la Tierra?**

- a. La aparición de los primeros organismos multicelulares.
- b. La condensación del vapor de agua en la atmósfera.
- c. La actividad volcánica intensa.
- d. El impacto de meteoritos.

**2. Los primeros organismos unicelulares surgieron hace aproximadamente:**

- a. 1,200 millones de años.
- b. 2,000 millones de años.
- c. 3,800 millones de años.
- d. 4,500 millones de años.

**3. Ordena cronológicamente los siguientes eventos:**

- \_\_ Evolución hacia organismos multicelulares.
- \_\_ Aparición de los primeros organismos unicelulares.
- \_\_ Formación de los océanos.

**4. Empareja cada teoría con su descripción:**

Teorías	Descripción
( ) Panspermia	a) Propone que la vida llegó a la Tierra desde el espacio exterior en forma de bacterias o moléculas orgánicas.
( ) Quimiosintética	b) Plantea que la vida se originó en las chimeneas hidrotermales del fondo oceánico.
( ) Hidrotermal	c) Sugiere que la vida se originó en un caldo primitivo en los océanos, bajo condiciones específicas.

**5. Según la teoría quimiosintética, ¿qué energía impulsó las reacciones químicas iniciales para formar moléculas orgánicas?**

- a. La energía solar.
- b. Rayos y actividad volcánica.
- c. Movimiento tectónico.
- d. Radiación cósmica.

**6. ¿Qué describe la teoría endosimbiótica?**

- a. El origen de los primeros organismos multicelulares.
- b. La relación simbiótica entre células procariontes para formar células eucariotas.
- c. La evolución de los mamíferos a partir de reptiles.
- d. La aparición de mitocondrias y cloroplastos a partir de virus.

**7. Completa la frase:**

Según la teoría endosimbiótica, las mitocondrias y los cloroplastos se originaron a partir de \_\_\_\_\_ incorporadas por una célula huésped.

**8. Según la teoría de Darwin, ¿qué ocurre con los organismos mejor adaptados a su ambiente?**

- a. Tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse.
- b. Desarrollan características favorables durante su vida.
- c. Eliminan la variabilidad genética en su población.
- d. No cambian a lo largo del tiempo.

**9. Los pinzones de Darwin son un ejemplo de selección natural. ¿Qué característica varió entre las diferentes especies de pinzones?**

- a. La longitud de las alas.
- b. La forma y tamaño de los picos.
- c. El color de las plumas.
- d. La capacidad de volar.

**10. Empareja el caso evolutivo con la teoría que mejor lo explica:**

Teoría	Caso evolutivo
a) Lamarckismo	( ) Pinzones de Darwin.
b) Darwinismo	( ) Cuello largo de las jirafas.
c) Neodarwinismo	( ) Resistencia a los antibióticos en bacterias.



## Momento 2

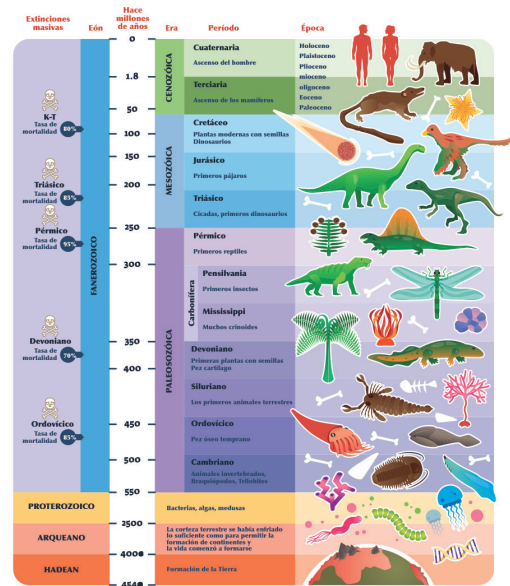


### Enganchar

#### Actividad “Viaje a los Orígenes de la Vida”

1. Observa la imagen.
2. Formen equipos de trabajo, comparten ideas y discuten cómo los eventos se relacionan con los procesos evolutivos, apoyense contestando con las siguientes preguntas:
  - a. ¿Por qué crees que la formación de los océanos fue importante para el origen de la vida?
  - b. ¿Cómo crees que los primeros organismos unicelulares sobrevivían en un ambiente primitivo?
  - c. ¿Qué diferencias principales hay entre organismos unicelulares y multicelulares? ¿Qué ventajas tiene cada uno?
3. Discutan de manera grupal sus respuestas y conclusiones.
4. De forma individual escribe una breve reflexión (media cuartilla) sobre:
  - a. La importancia de los océanos en el origen de la vida.
  - b. Cómo la transición de organismos unicelulares a multicelulares cambió el curso de la evolución.

## Línea del tiempo geológica



### Explorar

#### Actividad “Simulación de adaptaciones y cambios evolutivos”

**Propósito de la actividad:** Simular cómo diferentes formas de “picos” influyen en la capacidad de las aves para recolectar alimento en distintos ambientes. Relacionar la actividad con los pinzones de Darwin y cómo los picos adaptados a su alimentación específica determinaron su supervivencia en las Islas Galápagos.

##### 1. Materiales:

- Semillas pequeñas o granos (lentejas, frijoles, arroz, etc.).
- Pinzas para depilar o de cocina (simulan picos de aves).
- Cucharas, palillos y clips (opciones para simular picos alternativos).
- Un recipiente amplio (puede ser una bandeja o caja).
- Cronómetro o temporizador.
- Una hoja de papel para registrar datos.

##### 2. Desarrollo de la actividad.

###### Preparación:

- a. Llena el recipiente con las semillas o granos, distribuyéndolos de manera uniforme. Este representará un “entorno natural” con recursos alimenticios dispersos.
- b. Cada estudiante o grupo seleccionará un “pico” entre las herramientas disponibles (pinzas, cucharas, palillos, clips, etc.).
- c. Define un tiempo límite (1 minuto por ronda) para recolectar la mayor cantidad de semillas.

**3. Procedimiento:**

- Los estudiantes usarán su “pico” seleccionado para recolectar semillas dentro del tiempo establecido.
- Al finalizar cada ronda, contarán cuántas semillas lograron recolectar y registrarán los resultados en la hoja de datos.
- Repitan el experimento cambiando los “picos” o el tipo de semillas (pueden usar granos más grandes o pequeños para representar diferentes ambientes).
- Opcional: Introducir un “cambio ambiental” como mover las semillas a un recipiente más profundo o colocar obstáculos (como papel arrugado o cajas) para observar cómo afecta la eficiencia de cada “pico”.

**4. Análisis de resultados:**

- Cada grupo analizará sus datos:
  - ¿Qué «pico» fue más eficiente en recolectar semillas?
  - ¿Qué ocurrió cuando el ambiente cambió?
  - ¿Cómo influye la forma del «pico» en la capacidad de recolectar alimentos?

**5. Discusión reflexiva:**

- Relacionen los resultados con el concepto de selección natural:
  - En un entorno real, ¿qué ocurre con las aves que no pueden recolectar suficiente alimento?
  - ¿Cómo se vincula esta actividad con las ideas de Darwin sobre los pinzones?
  - ¿Qué adaptaciones similares conocen en otras especies animales o vegetales?



**Explicar**

**El Origen de la vida y la cronología geológica**

La historia de la vida en la Tierra está intrínsecamente ligada a los cambios geológicos y ambientales que ocurrieron en nuestro planeta desde su formación. Estos eventos moldearon las condiciones para que la vida emergiera, evolucionara y se diversificara. A continuación, se presentan los hitos clave en esta cronología:

• **Formación de los océanos**

Hace aproximadamente **4,400 millones de años**, después de la formación de la Tierra, el enfriamiento de su superficie permitió la condensación del vapor de agua, dando origen a los primeros océanos. Estas vastas masas de agua jugaron un papel crucial como caldo primigenio, un entorno donde los compuestos químicos interactuaron para dar lugar a las primeras moléculas orgánicas complejas.

• **Aparición de los primeros organismos unicelulares**

Hace unos **3,800 millones de años**, surgieron los primeros organismos unicelulares, llamados **procariontas**. Estas células simples, similares a bacterias actuales, carecían de núcleo definido y eran capaces de realizar procesos metabólicos básicos. Estas formas de vida se adaptaron a condiciones extremas, alimentándose de compuestos químicos y desarrollando capacidades como la fotosíntesis, que comenzó a liberar oxígeno al ambiente, transformando el planeta de manera gradual.

• **Evolución hacia organismos multicelulares**

Hace aproximadamente **1,200 millones de años**, algunos organismos unicelulares comenzaron a agruparse y cooperar, formando las primeras estructuras multicelulares. Este paso marcó un hito en la complejidad de la vida, permitiendo la especialización celular y sentando las bases para la evolución de plantas, animales y otros seres vivos complejos.

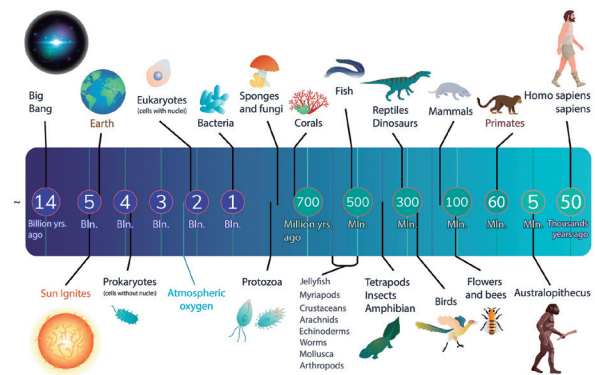


Figura 13.1 Escala de tiempo geológica.

## Teorías sobre el origen de la vida

La pregunta sobre cómo surgió la vida en la Tierra ha intrigado a la humanidad durante siglos, y aunque no existe una respuesta definitiva, diversas teorías científicas han intentado explicarlo. Estas teorías exploran cómo la materia inanimada pudo transformarse en sistemas vivos capaces de crecer, reproducirse y evolucionar. En este contexto, los científicos han desarrollado hipótesis que combinan principios de química, física y biología para entender este fenómeno. Desde la formación de moléculas orgánicas simples en los océanos primitivos hasta la posibilidad de que la vida haya llegado desde el espacio exterior, cada teoría aporta una perspectiva única respaldada por diferentes tipos de evidencia. A lo largo de esta progresión, exploraremos las principales hipótesis sobre el origen de la vida, discutiendo sus fundamentos, experimentos asociados y su impacto en nuestra comprensión de la evolución. Estas ideas no solo nos acercan al entendimiento del pasado remoto de nuestro planeta, sino que también nos plantean preguntas sobre la posibilidad de vida en otros lugares del universo.

A continuación, examinaremos algunas de las teorías más destacadas que intentan responder a este enigma fascinante.

### 1. Teoría quimiosintética (Oparin y Haldane).

- Propuesta por **Alexander Oparin** y **John B. S. Haldane** en la década de 1920, esta teoría sugiere que la vida se originó en los océanos primitivos bajo condiciones muy diferentes a las actuales.
- Plantea que la atmósfera primitiva de la Tierra era rica en gases como **metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua**, pero carecía de oxígeno libre.
- Estos compuestos reaccionaron entre sí, impulsados por fuentes de energía como rayos, actividad volcánica y radiación ultravioleta, formando moléculas orgánicas simples. Con el tiempo, estas moléculas se agruparon en estructuras más complejas, eventualmente dando lugar a células primitivas.

### 2. Teoría de la panspermia

- Propone que la vida no se originó en la Tierra, sino que llegó desde el espacio exterior en forma de esporas, bacterias o moléculas orgánicas transportadas por meteoritos o cometas.
- Algunos meteoritos encontrados en la Tierra contienen compuestos orgánicos complejos, lo que apoya la posibilidad de que estos elementos fueran las "semillas" que iniciaron la vida aquí.
- Aunque esta teoría explica cómo pudieron llegar las primeras moléculas orgánicas, no aborda cómo surgió la vida originalmente en el universo.

### 3. Teoría hidrotermal

- Sugiere que la vida pudo haberse originado en las **chimeneas hidrotermales** del fondo oceánico, donde el agua caliente rica en minerales se mezcla con agua fría del océano.
- En estos ambientes extremos, los compuestos químicos como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono pudieron interactuar para formar moléculas orgánicas.
- Estas estructuras proveían un entorno protegido y rico en energía, donde las primeras formas de vida podrían haber evolucionado.

## Teoría Endosimbiótica: Origen de las células eucariotas

La **teoría endosimbiótica** es una de las explicaciones más aceptadas sobre el origen de las células eucariotas, que son las células complejas con núcleo y organelos rodeados de membranas. Esta teoría fue propuesta por **Lynn Margulis** en la década de 1960 y sugiere que las células eucariotas evolucionaron a partir de relaciones simbióticas entre diferentes organismos unicelulares.



QR Video

¿Cuál es el origen de la vida? Teoría quimiosintética.  
[https://www.youtube.com/watch?v=5FP\\_15PSjAI](https://www.youtube.com/watch?v=5FP_15PSjAI)



¿Cómo apareció la primera célula? El Origen de la vida.  
<https://www.youtube.com/watch?v=U-7isjWsjvl>



### La fagocitosis simbiótica

La fagocitosis es un proceso en el que una célula engloba partículas grandes, como microorganismos o desechos, mediante la invaginación de su membrana plasmática, formando una vesícula. Según la teoría endosimbiótica:

1. Hace miles de millones de años, una célula procarionte primitiva, incapaz de realizar fotosíntesis o respiración celular, fagocitó bacterias más pequeñas que sí poseían estas capacidades.
2. En lugar de digerir a las bacterias fagocitadas, estas células establecieron una relación simbiótica:
  - Las bacterias proporcionaban energía a través de la fotosíntesis o la respiración celular.
  - La célula huésped ofrecía un ambiente protegido y acceso a nutrientes.

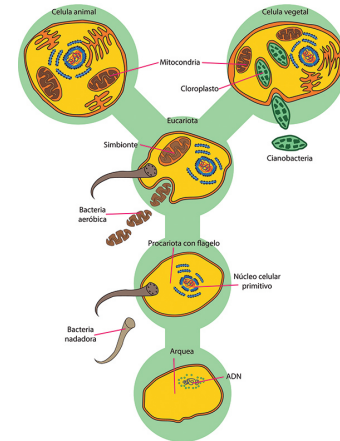


Figura 13.2 Teoría endosimbiótica.

### Integración de bacterias precursoras en mitocondrias y cloroplastos

Con el tiempo, las bacterias simbióticas se integraron permanentemente en la célula huésped, convirtiéndose en los organelos que conocemos hoy como mitocondrias y cloroplastos.

#### 1. Mitocondrias:

- Se originaron a partir de bacterias aerobias (similares a las actuales proteobacterias).
- Estas bacterias podían realizar respiración celular, un proceso eficiente para generar energía en forma de ATP.
- Las mitocondrias retienen algunas características bacterianas, como su propio ADN circular, ribosomas similares a los de bacterias y la capacidad de dividirse de manera independiente.

#### 2. Cloroplastos:

- Surgieron de bacterias fotosintéticas, como las cianobacterias.
- Estas bacterias tenían la capacidad de convertir luz solar en energía química mediante la fotosíntesis, produciendo oxígeno como subproducto.
- Al igual que las mitocondrias, los cloroplastos poseen ADN propio, ribosomas similares a los bacterianos y una doble membrana, evidencia de su origen endosimbiótico.

### Evidencias que sustentan la teoría Endosimbiótica

1. **ADN propio:** Tanto las mitocondrias como los cloroplastos tienen su propio ADN, que es circular, como el de las bacterias.
2. **Ribosomas Similares a los Procariontes:** Los ribosomas de estos organelos son más parecidos a los de bacterias que a los ribosomas del citoplasma eucariótico.
3. **División Independiente:** Mitocondrias y cloroplastos se dividen por fisión binaria, al igual que las bacterias.
4. **Doble Membrana:** La presencia de una doble membrana en ambos organelos sugiere un proceso de fagocitosis en su origen.
5. **Relaciones Simbióticas Actuales:** Existen ejemplos modernos de relaciones simbióticas similares, como las cianobacterias que viven dentro de ciertas especies de algas y corales.

La teoría endosimbiótica nos muestra cómo las relaciones simbióticas entre organismos primitivos impulsaron la complejidad celular, permitiendo el desarrollo de las células eucariotas que forman la base de toda la vida multicelular. La integración de bacterias precursoras como mitocondrias y cloroplastos marcó un cambio evolutivo fundamental, al proporcionar formas más eficientes de obtener energía y utilizarla para las funciones vitales. Este proceso destaca la importancia de la cooperación en la evolución de la vida.



## Elaborar

1. Formen equipos de trabajo, el docente asignará a cada equipo un tema (origen de la vida, teorías de la vida y teoría endosimbiótica).

### Equipo 1:

- a. Revisarán lista de eventos clave (formación de los océanos, aparición de organismos unicelulares y multicelulares, etc.).
- b. Traerán imágenes y recortes que representen cada evento.
- c. Organizarán los eventos en una línea de tiempo, ubicándolos en el orden correcto con las fechas aproximadas.
- d. Como producto final presentará su línea de tiempo y explicarán brevemente los eventos representados y responderán la pregunta cómo estos eventos se relacionan con la evolución de las formas de vida en la Tierra.

### Equipo 2:

- a. Revisarán las 3 teorías del origen de la vida.
- b. Investigarán y discutirán las características y evidencias de las teorías.
- c. Realizarán una presentación con los resultados investigados y darán su punto de vista de la que consideran queda una explicación más plausible para el origen de la vida.
- d. Permiten que los otros grupos hagan preguntas y refuten los argumentos, acerca de qué aspectos de cada teoría consideran más convincentes y por qué.

### Equipo 3:

- a. Construirán modelos de células utilizando plastilina y materiales disponibles (traer a la clase plastilina, palillos, bolitas de algodón, marcadores).
- b. Representarán una célula huésped y las bacterias precursoras que se convertirán en mitocondrias y cloroplastos.
- c. Simularán cómo las bacterias fueron fagocitadas y se integraron como organelos.
- d. Explicarán el proceso al resto del grupo, destacando las evidencias que respaldan esta teoría y relacionarán el modelo con la importancia de la endosimbiosis en la evolución celular.

2. Cada equipo presentará sus productos al grupo, permitiendo la participación del grupo.



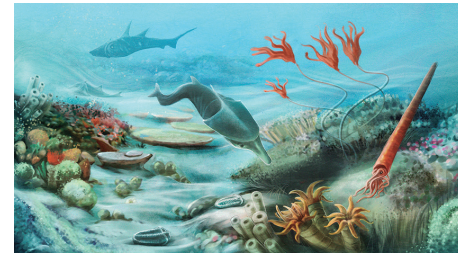
## Explicar

### Ancastro común

El concepto de **ancestro común** es fundamental para entender cómo todas las especies en la Tierra están relacionadas entre sí a través de la evolución. Este principio sostiene que todas las especies comparten un antepasado común, un organismo o población de seres vivos que vivió en el pasado y que dio origen a diferentes ramas de la vida que conocemos hoy. A lo largo del tiempo, las especies se diversificaron debido a cambios genéticos y ambientales, pero mantienen una conexión a través de su ascendencia común.

El análisis de las **secuencias genéticas** y las **proteínas** proporciona una de las principales evidencias de un ancestro común. Los seres vivos comparten una parte significativa de su código genético, lo que refleja una historia evolutiva compartida. Los estudios de genética molecular han mostrado que las diferencias genéticas entre especies no son tan grandes como podría pensarse, lo que sugiere que todas las formas de vida comparten un origen común.

Una de las formas más efectivas de estudiar las relaciones evolutivas entre especies es a través de la comparación de **secuencias de proteínas**. Las proteínas son moléculas fundamentales en las células, encargadas de una gran va-



riedad de funciones, como la estructura celular, las reacciones químicas y la transmisión de señales. Las proteínas están compuestas por cadenas de aminoácidos, y la secuencia en la que estos aminoácidos se organizan determina la función específica de la proteína.

### Similitudes genéticas en humanos, chimpancés y otras especies

El análisis de las secuencias de proteínas entre diferentes especies permite observar cuán similares o diferentes son. Al comparar las secuencias de proteínas de humanos, chimpancés y otras especies, los científicos han encontrado que:

#### 1. Humanos y chimpancés:

- Los seres humanos y los chimpancés comparten más del **98%** de su ADN. Esto significa que las secuencias de proteínas en ambas especies son extremadamente similares. De hecho, muchas proteínas en humanos y chimpancés tienen la misma secuencia de aminoácidos, lo que refleja un ancestro común relativamente reciente, que vivió hace unos 6 a 7 millones de años.
- Un ejemplo de similitud genética entre humanos y chimpancés es la **hemoglobina**, una proteína que transporta oxígeno en la sangre. La secuencia de aminoácidos en esta proteína es casi idéntica en ambas especies.

#### 2. Humanos y otras especies:

- A medida que comparamos a los humanos con otras especies más distantes, como los ratones, las secuencias de proteínas muestran una mayor divergencia. Sin embargo, todavía hay muchas similitudes, especialmente en proteínas esenciales para la vida, como las **enzimas que participan en el metabolismo celular**.
- Por ejemplo, las proteínas de **insulina** en humanos y ratones son bastante similares, lo que sugiere que ambos comparten un ancestro común más antiguo, pero mucho más alejado en el tiempo que el de los chimpancés.

Los avances en **bioinformática** han facilitado el análisis comparativo de secuencias de proteínas entre especies. Con programas informáticos, los científicos pueden alinear secuencias de proteínas y calcular las diferencias entre ellas. Algunas herramientas comunes incluyen:

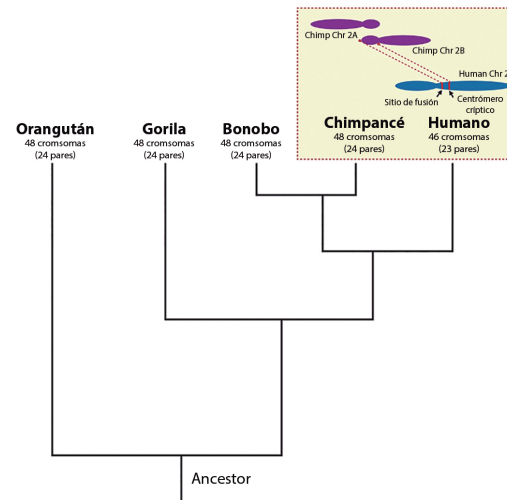
- **BLAST (Basic Local Alignment Search Tool):** Utilizada para comparar secuencias de ADN o proteínas con bases de datos de secuencias conocidas.
- **Phylogenetic Trees (Árboles Filogenéticos):** Permiten visualizar las relaciones evolutivas entre diferentes especies, mostrando cómo se diversificaron a partir de un ancestro común.

El análisis de las similitudes y diferencias en las secuencias genéticas y de proteínas no solo nos permite entender la relación entre especies, sino que también ayuda a esclarecer cómo los cambios genéticos a lo largo de generaciones pueden dar lugar a nuevas especies. Los pequeños cambios en las secuencias de proteínas pueden tener un gran impacto en las funciones biológicas, lo que lleva a la adaptación y la evolución de nuevas características.

Además, el estudio de las similitudes genéticas tiene aplicaciones prácticas en áreas como:

- **Medicina:** La comprensión de las similitudes y diferencias en las proteínas puede ayudar a desarrollar tratamientos para enfermedades humanas, aprovechando los modelos animales para pruebas de medicamentos.
- **Conservación:** El análisis de la diversidad genética entre especies también ayuda a identificar especies en peligro de extinción y a diseñar estrategias de conservación más efectivas.

El estudio de las secuencias genéticas y las proteínas es clave para comprender la **teoría de la evolución**. Las similitudes entre las proteínas de diferentes especies, como los humanos y los chimpancés, proporcionan evidencia de un ancestro común. Este análisis nos ayuda a rastrear la historia evolutiva de la vida en la Tierra y entender los procesos que han llevado a la increíble diversidad biológica que existe hoy.







## Elaborar

### Explorando el ancestro común y las similitudes genéticas

1. Analiza la siguiente tabla e identifican las diferencias y similitudes entre las secuencias (resaltando las bases comunes y las diferentes).

Organismo	Secuencia de ADN (simplificada)
Humano	GCTGCACGTGACAAGCTGC
Gallina	ACTGCATTGTGACAAGCTGC
Sapo	GAAGCACGTGAGGAAGCTCC
Chimpancé	GCTGCACGTGACAAGCTGC
Vaca	GCTGCACGTGATAAGCTGC

2. Completa la tabla (cuántas bases (letras de ADN: A, T, G, C) coinciden entre cada par de organismos) y registra las coincidencias:

Organismos comparados	Bases coincidentes	Diferencias
Humano - Gallina		
Humano - Sapo		
Humano - Chimpancé		
Humano - Vaca		

3. Identifica qué par de organismos tiene la mayor cantidad de coincidencias (relación más cercana) y cuál tiene la menor cantidad (relación más lejana).
4. Responde individualmente en base a su análisis:
  - a. ¿Cuál par de organismos está más relacionado genéticamente con base en la comparación de las secuencias?
  - b. ¿Cuál organismo está más alejado genéticamente?
  - c. ¿Consideras que esta técnica comparativa es adecuada para establecer una relación filogenética entre especies?
  - d. ¿Con esta técnica se podría determinar de qué organismos descendemos?
  - e. Desde tu punto de vista, ¿estos avances en el estudio de las relaciones evolutivas son benéficos o perjudiciales? ¿Por qué?



## Explicar

### Teorías de la Evolución

La evolución es un proceso dinámico y continuo que ha moldeado la biodiversidad en nuestro planeta desde sus orígenes. Este fenómeno explica cómo las especies cambian a lo largo del tiempo en respuesta a las presiones de su entorno, adaptándose para sobrevivir y originando nuevas formas de vida. La evolución no solo es el motor de la diversidad biológica, sino también una herramienta clave para comprender cómo todos los organismos están interconectados a través de un árbol filogenético que representa miles de millones de años de historia.

Desde los primeros intentos por comprender este proceso, diversas teorías han sido propuestas para explicar los mecanismos que lo impulsan. Entre ellas, destacan tres grandes enfoques que han marcado el desarrollo de la

biología evolutiva: el **Lamarckismo**, que propone la herencia de los caracteres adquiridos; el **Darwinismo**, que introduce la selección natural como fuerza principal de cambio; y el **Neodarwinismo**, que combina los principios de Darwin con los avances en genética moderna. Cada una de estas teorías ha aportado perspectivas únicas y evidencias científicas que nos han permitido profundizar en nuestra comprensión de la vida.

Más allá de las teorías, los ejemplos concretos de la evolución, como los pinzones de Darwin en las Islas Galápagos o los cambios en las polillas de Manchester durante la Revolución Industrial, ilustran de manera tangible cómo las especies responden a su entorno y evolucionan. Estos casos nos permiten observar la evolución en acción, evidenciando que no es solo un concepto del pasado, sino un proceso que sigue actuando hoy en día.

A medida que exploramos estas teorías y ejemplos, no solo aprenderemos sobre los mecanismos que impulsan la evolución, sino que también reflexionaremos sobre la importancia de este conocimiento para comprender mejor la historia de la vida en la Tierra y su impacto en la biodiversidad actual. La evolución, como eje central de la biología, nos invita a mirar hacia el pasado para entender el presente y anticipar el futuro de la vida en nuestro planeta.

### 1. Lamarckismo

Propuesta por **Jean-Baptiste Lamarck** a principios del siglo XIX, esta teoría fue una de las primeras en abordar la evolución de las especies.

#### Principales ideas:

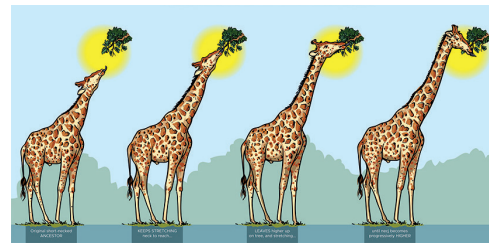
- 1. Uso y desuso:** Lamarck sugería que los órganos que se usan con frecuencia se desarrollan más, mientras que los que no se usan tienden a atrofiarse.
- 2. Herencia de los caracteres adquiridos:** Los rasgos que un organismo desarrolla durante su vida, como resultado del uso o desuso de órganos, se heredan a la descendencia.



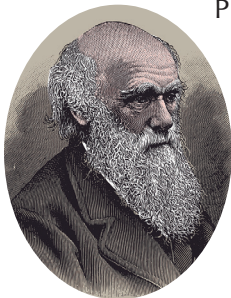
Jean Baptiste Lamarck.

**Ejemplo clásico:** Lamarck explicó el cuello largo de las jirafas argumentando que sus antepasados estiraban el cuello para alcanzar hojas altas, lo que provocó que este se alargara progresivamente y se heredara a las siguientes generaciones.

**Críticas:** Aunque innovadora en su época, esta teoría fue descartada porque los caracteres adquiridos durante la vida no se transmiten genéticamente.



### 2. Darwinismo



Charles Darwin.

Propuesto por **Charles Darwin** en su obra *El origen de las especies* (1859), es una teoría que marcó un antes y un después en el estudio de la biología y la comprensión de la evolución. En esta teoría, Darwin introduce el concepto de **selección natural**, un proceso mediante el cual los organismos con características más favorables para su entorno tienen mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Estas características ventajosas se heredan a las generaciones futuras, mientras que las menos adaptadas tienden a desaparecer.

La teoría de Darwin se basa en tres principios fundamentales: la **variación** entre los individuos de una población, la **lucha por la existencia** debido a los recursos limitados, y la **supervivencia del más apto**, donde aquellos con adaptaciones ventajosas tienen mayor éxito reproductivo. Este enfoque revolucionario no solo explicó la diversidad de formas de vida en la Tierra, sino que también proporcionó un marco lógico para entender cómo las especies cambian y evolucionan a lo largo del tiempo. Aunque en su momento enfrentó resistencia, el Darwinismo se consolidó como una piedra angular de la biología evolutiva.

**Principales ideas:**

- 1. Variabilidad:** Dentro de una población, los individuos presentan variaciones heredables.
- 2. Supervivencia del más apto:** Las variaciones que confieren ventajas en un entorno aumentan las probabilidades de supervivencia y reproducción.
- 3. Selección natural:** Las características favorables se transmiten a las siguientes generaciones, mientras que las desfavorables tienden a desaparecer.

**Ejemplo clásico:** Darwin estudió los **pinzones de las Islas Galápagos**, observando que las diferentes especies tenían picos adaptados a su alimentación (semillas, insectos, frutas). Estos cambios, según Darwin, surgieron por variaciones al azar que fueron seleccionadas naturalmente en función del entorno.

**3. Neodarwinismo**

También llamado **síntesis moderna de la evolución**, es una teoría que amplía y moderniza las ideas propuestas por Charles Darwin al incorporar los avances en genética, especialmente los principios de la herencia descubiertos por Gregor Mendel. Esta teoría integra la selección natural, planteada por Darwin, con el conocimiento sobre cómo las características se transmiten de generación en generación a través de los genes. En el Neodarwinismo, se reconoce que las **variaciones genéticas** surgen por mutaciones y recombinaciones durante la reproducción, proporcionando el material sobre el cual actúa la selección natural.

El Neodarwinismo explica cómo las características favorables pueden propagarse en una población y cómo las diferencias genéticas entre especies reflejan relaciones evolutivas. Además, esta teoría resolvió problemas que el Darwinismo original no abordaba, como los mecanismos precisos de la herencia. La síntesis moderna se convirtió en un pilar de la biología evolutiva, uniendo la teoría de la evolución con disciplinas como la genética molecular y la biología de poblaciones, lo que permitió un entendimiento más completo de los procesos evolutivos.

**Principales ideas:**

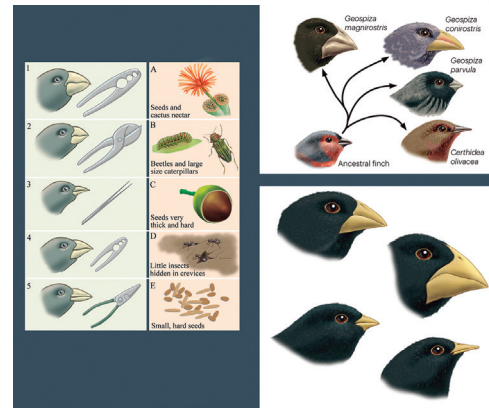
- 1. Mutaciones y recombinación genética:** Las variaciones genéticas surgen a través de mutaciones y combinaciones al azar durante la reproducción.
- 2. Selección natural:** Las mutaciones beneficiosas aumentan la probabilidad de supervivencia y reproducción, mientras que las perjudiciales se eliminan.
- 3. Aporte de la genética:** La genética moderna explica cómo se transmiten los rasgos favorables y cómo las poblaciones evolucionan a nivel genético.

**Ejemplo clásico:** La resistencia de las bacterias a los antibióticos. Cuando una población de bacterias es expuesta a un antibiótico, las mutaciones genéticas al azar pueden hacer que algunas bacterias sean resistentes. Estas sobreviven, se reproducen y dominan la población.

**Casos evolutivos concretos**

**1. Evolución de los Pinzones de Darwin**

- **Contexto:** En las Islas Galápagos, Darwin observó pinzones con una gran diversidad en la forma y tamaño de sus picos.
- **Evolución:** Los picos estaban adaptados al tipo de alimento disponible en cada isla (por ejemplo, picos gruesos para semillas duras y picos largos para insectos).
- **Significado:** Este caso ilustra cómo la selección natural puede llevar a la diversificación de especies a partir de un ancestro común.



**Figura 13.3** Selección y adaptación natural. Las teorías de Darwin. Variedades adaptativas de finches en las Islas Galápagos.



QR Video

“Evolución y Selección Natural [Adaptación y Éxito Reproductivo]”

<https://www.youtube.com/watch?v=JViyf6E1EkU>



“Selección Natural y Adaptación”

<https://www.youtube.com/watch?v=WxG61ZD2nn0>



### 2. El Ornitorrinco

- **Contexto:** El ornitorrinco es un mamífero que pone huevos y tiene características únicas, como un pico similar al de un pato.
- **Evolución:** Representa un caso de **evolución mosaico**, donde diferentes rasgos evolucionaron de manera independiente:
  - El pico se adaptó para buscar alimento en ríos y lagos.
  - Su capacidad de poner huevos refleja una herencia ancestral compartida con los reptiles.



Las teorías evolutivas y los casos concretos nos ayudan a comprender cómo las especies cambian con el tiempo y se adaptan a sus entornos. Mientras que el Lamarckismo abrió la discusión, el Darwinismo y el Neodarwinismo explicaron con mayor precisión los mecanismos de la evolución, basándose en la selección natural y la genética

La **selección natural** y la **adaptación** son procesos fundamentales en la evolución, que explican cómo las especies cambian a lo largo del tiempo para ajustarse mejor a su entorno. Estos conceptos, introducidos por Charles Darwin, son esenciales para entender la diversidad de formas de vida en nuestro planeta.

### Selección natural

La selección natural es el proceso por el cual los individuos con características favorables para un ambiente específico tienen mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Este mecanismo actúa sobre la variabilidad genética presente en una población y lleva a la perpetuación de los rasgos ventajosos en generaciones sucesivas.

#### Principales elementos de la selección natural:

1. **Variación:** Dentro de una población, los individuos presentan diferencias en sus características, como tamaño, color, forma, etc. Estas variaciones son heredables.
2. **Lucha por la supervivencia:** Los recursos como alimento, agua y espacio son limitados. Esto genera una competencia entre los individuos.
3. **Ventajas adaptativas:** Algunos individuos poseen características que los hacen más aptos para sobrevivir en el entorno (por ejemplo, un camuflaje eficiente o una mayor velocidad para escapar de depredadores).
4. **Reproducción diferencial:** Los individuos mejor adaptados tienen más probabilidades de sobrevivir y dejar descendencia que hereda esas características favorables.
5. **Cambio a lo largo del tiempo:** Con el tiempo, la población cambia, y los rasgos favorables se vuelven más comunes, mientras que los menos útiles tienden a desaparecer.

### Adaptación

La adaptación es el resultado de la selección natural y se refiere a las características físicas, fisiológicas o de comportamiento que aumentan las probabilidades de supervivencia y reproducción de un organismo en su ambiente.

#### Tipos de adaptaciones:

1. **Adaptaciones estructurales:** Cambios en la forma o estructura del cuerpo. Ejemplo: El cuello largo de las jirafas, que les permite alcanzar las hojas de los árboles altos.
2. **Adaptaciones fisiológicas:** Modificaciones en procesos internos del organismo. Ejemplo: La producción de veneno en serpientes para capturar presas.
3. **Adaptaciones de comportamiento:** Cambios en la forma en que los organismos actúan. Ejemplo: Las aves migratorias que viajan a climas más cálidos durante el invierno.

#### Proceso de adaptación:

- La adaptación no ocurre de manera inmediata, sino a lo largo de generaciones, como resultado de pequeños cambios acumulativos en la población.
- Las adaptaciones son específicas del ambiente; un rasgo que es ventajoso en un entorno puede no serlo en otro.

## Ejemplos de selección natural y adaptación

### 1. Las polillas de Manchester (*Biston betularia*):

Durante la Revolución Industrial en Inglaterra, las polillas que vivían en zonas rurales eran mayoritariamente de color claro, lo que les permitía camuflarse en los troncos de los árboles cubiertos de líquenes. Sin embargo, con el aumento de la contaminación, los troncos se oscurecieron debido al hollín, favoreciendo a las polillas de color oscuro, que eran menos visibles para los depredadores. Como resultado, la población de polillas oscuras aumentó, un caso clásico de selección natural en acción.



Polillas de Manchester.

### 2. Los pinzones de Darwin:

En las Islas Galápagos, Darwin observó que los pinzones tenían diferentes formas y tamaños de picos, adaptados a los tipos de alimento disponibles en sus respectivas islas. Por ejemplo, los pinzones con picos robustos podían romper semillas duras, mientras que los de picos largos y delgados podían extraer insectos de grietas. Este caso demuestra cómo la selección natural conduce a la especialización de las especies en su nicho ecológico.

### 3. Los camellos y el desierto:

Los camellos poseen adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permiten sobrevivir en ambientes desérticos:

- **Estructurales:** Jorobas para almacenar grasa como fuente de energía.
- **Fisiológicas:** Capacidad de resistir largos periodos sin agua y orinar en pequeñas cantidades para conservar líquidos.



La selección natural y la adaptación son motores del cambio evolutivo. Estos procesos aseguran que las especies que mejor se ajustan a su entorno prosperen, mientras que las que no pueden adaptarse enfrentan la extinción.



## Elaborar

## “Explorando las Teorías de la Evolución”

1. Formen equipo para realizar la actividad.
2. Cada equipo analiza las siguientes afirmaciones o ejemplos relacionados con las teorías.
  - “Una planta desarrolla raíces más profundas para alcanzar el agua y transmite esa característica a su descendencia.”
  - “Los organismos con características más adecuadas para su entorno sobreviven y se reproducen.”
  - “Las mutaciones genéticas proporcionan variaciones sobre las que actúa la selección natural.”
  - “El cuello de la jirafa se alargó porque las jirafas estiraron su cuello para alcanzar las hojas altas.”
  - “Las mutaciones aleatorias en el ADN generan variaciones en una población.”
3. Después de dar lectura y analizar las afirmaciones deberán discutir a qué teoría pertenece y justificar el porque de su elección.
4. Presenta sus resultados al grupo. El docente corrige o complementa las respuestas.
5. Finalmente reflexiona sobre lo siguiente:
  - ¿Cuál de las teorías crees que explica mejor el proceso de evolución? ¿Por qué?
  - ¿Qué diferencias fundamentales identificaste entre el Lamarckismo, el Darwinismo y el Neodarwinismo?
  - ¿Cómo crees que estas teorías se relacionan con la diversidad de formas de vida actuales?

### Momento 3



### Evaluar

## “El Árbol de la Vida: Conectando conocimientos”

### Propósito:

Construir de manera colaborativa un “Árbol de la Vida” que relacione todos los temas: origen de la vida, teorías del origen, teoría endosimbiótica, selección natural, adaptación y casos evolutivos.

### Materiales:

- Papel kraft o cartulina grande (para el árbol).
- Cartulinas o papel de colores (para hojas, ramas y raíces).
- Marcadores, lápices de colores y pegamento.
- Imágenes o recortes relacionados con los temas (pueden incluir microorganismos, pinzones, mitocondrias, etc.).
- Tarjetas con preguntas reflexivas y situaciones relacionadas con cada tema.

#### 1. Preparación del Árbol:

- a. Formen equipos de trabajo
- b. Dibujen en una cartulina grande un árbol con raíces visibles, un tronco y ramas.
- c. Divida el árbol en tres secciones:
  1. Raíces: Representarán el origen de la vida y las teorías que lo explican.
  2. Tronco: Representará la teoría endosimbiótica como la base para la evolución celular.
  3. Ramas y hojas: Representarán la selección natural, la adaptación y los casos evolutivos.

#### 2. Cada equipo escribe o dibuja los eventos relacionados con el origen de la vida en las

Raíces del árbol.

- Incluyen conceptos como la formación de los océanos, aparición de organismos unicelulares, y las teorías discutidas.

Tronco:

- Este grupo dibuja representaciones de células primitivas y explica cómo la teoría endosimbiótica conecta las raíces (origen) con las ramas (diversidad).
- Usan imágenes o recortes para ilustrar mitocondrias y cloroplastos.

Ramas y hojas:

Cada rama representa un caso evolutivo o una adaptación. Ejemplo:

Rama 1: Pinzones de Darwin (variedad de picos).

Rama 2: Ornitorrinco (adaptaciones únicas).

Rama 3: Polillas de Manchester (cambio en coloración).

Las hojas contienen explicaciones sobre cómo la selección natural y la adaptación influyen en estos casos.

#### 3. Presentación:

Cada equipo presenta su árbol de la vida, explicando cómo sus contribuciones se relacionan con las demás.

Por ejemplo:

- ¿Cómo se conecta el origen de la vida con la evolución celular?
- ¿Cómo la selección natural influye en la diversidad observada en las ramas del árbol?

#### 4. Al finalizar de la exposición de manera individual elabora una reflexión final dando respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué conceptos les parecieron más interesantes o sorprendentes?
- ¿Qué relaciones entre los temas identificaron durante la actividad?
- ¿Cómo creen que la evolución sigue actuando hoy en día?



# Progresión de aprendizaje 14

## Momento 1

La evolución es una consecuencia de la relación entre cuatro factores: potencial reproductivo, variabilidad genética, interacciones intraespecíficas e interespecíficas, y selección natural.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Reconocer que la información genética y el registro fósil proporcionan evidencia de la evolución y comprende que este proceso es multifactorial y uno de esos factores es la selección natural que conduce a la adaptación, y que la adaptación actúa durante generaciones, siendo un proceso importante por el cuál las especies cambian con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT5. Diferenciar organismos que pueden tomar energía de su entorno para poder cumplir funciones que aportan a la dinámica del sistema que habitan.
- CT6. Fundamentar que todos los seres vivos están formados por estructuras fundamentales que son la base para la construcción de sistemas más complejos que integran niveles de organización.
- CT7. Examinar como los organismos responden a estímulos del medio que habitan, derivando esto en la posibilidad de romper con estados de equilibrio interno. Identificar el papel que juegan los cambios en un entorno para los seres vivos y como modifica esto el comportamiento, la densidad poblacional de un grupo de organismos, las interacciones y la descendencia en una especie.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones
- CT2. Causa y efecto
- CT3. Medición
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía
- CT6. Estructura y función
- CT7. Estabilidad y cambio

### Prácticas de ciencia e ingeniería:

2. Desarrollar y usar modelos.
4. Usar las matemáticas y el pensamiento computacional.
6. Construir explicaciones y diseñar soluciones.
8. Obtener, evaluar y comunicar información.



## Evaluación diagnóstica

1. Relacione cada mecanismo de microevolución con su descripción:

Tipo de mutación	Descripción
1. Selección natural.	a. Cambios aleatorios en una población pequeña.
2. Flujo génico.	b. Cambios en la frecuencia de alelos por adaptación.
3. Deriva genética.	c. Alteración aleatoria en la secuencia de ADN.
4. Mutación.	d. Introducción o salida de alelos por migración.

- a. 1b, 2d, 3a, 4c.
- b. 1a, 2c, 3b, 4d.
- c. 1c, 2a, 3d, 4b.
- d. 1d, 2b, 3c, 4a.

2. Las mutaciones generan \_\_\_\_\_ que son esenciales para que otros mecanismos de microevolución, como \_\_\_\_\_, actúen en la población.

- a. flujo génico; selección natural
- b. deriva genética; mutaciones
- c. variabilidad genética; selección natural
- d. adaptaciones; cuello de botella

3. Son afirmaciones acerca de los mecanismos de microevolución, **excepto**:

- a. La deriva genética afecta más a poblaciones pequeñas.
- b. El flujo génico puede aumentar la diversidad genética de una población.
- c. Las mutaciones pueden ser ventajosas, perjudiciales o neutras.
- d. La selección natural siempre favorece a los organismos más grandes.

4. Es el caso que representa especiación alopátrica:

- a. Plantas en un mismo ecosistema que desarrollan barreras reproductivas.
- b. Una población de mariposas separada por la construcción de una carretera.
- c. La poliploidía en una población de plantas de trigo en una zona árida.
- d. Cruces entre individuos de diferentes especies que resultan infértiles.

5. Clasifique cada mecanismo de aislamiento reproductivo según sea Precigótico (Pr) o Poscigótico (Po):

- Diferencias de horario de reproducción
- Esterilidad de híbridos

• *Polinizadores específicos*

- a. Po, Pr, Pr
- b. Pr, Pr, Po
- c. Po, Po, Pr
- d. Pr, Po, Pr

6. La \_\_\_\_\_ ocurre cuando las frecuencias alélicas cambian debido al azar en una población reducida, mientras que la (el) \_\_\_\_\_ actúa como un filtro que favorece características ventajosas.

- a. selección natural; mutación
- b. deriva genética; selección natural
- c. mutación; flujo génico
- d. flujo génico; deriva genética

7. Las orquídeas desarrollan estructuras especializadas para ser polinizadas solo por ciertas especies de insectos, corresponde a coevolución de tipo:

- a. antagónica
- b. mimética
- c. mutualista
- d. divergente

8. Es el resultado más probable de un evento que produzca cuello de botella:

- a. Aumento en la variabilidad genética entre los organismos.
- b. Reducción de la población y pérdida de diversidad genética.
- c. Introducción de nuevos alelos en la población resultante.
- d. Incremento en la adaptación de todos los individuos.

9. Ejemplo que demuestra selección natural:

- a. Los ratones de pelaje oscuro sobreviven mejor en suelos volcánicos porque se camuflan.
- b. Una población de flamings migra hacia un hábitat más cálido en invierno para alimentarse.
- c. Algunas plantas desarrollan hojas más grandes debido a mutaciones genéticas.
- d. Los insectos cruzan barreras geográficas para encontrar nuevos recursos.

10. Evento que ocurriría si dos subpoblaciones separadas por una barrera geográfica vuelven a mezclarse:

- a. Se genera una nueva especie instantáneamente.
- b. La especiación simpátrica ocurre de inmediato.
- c. Ambas subpoblaciones se extinguen.
- d. Se recupera la variabilidad de ambas poblaciones.

## Momento 2



### Enganchar

## La evolución en la era de los humanos

La evolución de las especies es un proceso que toma miles o incluso millones de años. A través de mecanismos como la selección natural, las especies logran adaptarse a los cambios en su entorno. La mariposa monarca (*Danaus plexippus*) es un ejemplo emblemático de este equilibrio natural. Esta especie tiene más de 2 millones de años de existencia y ha desarrollado un comportamiento migratorio asombroso: un viaje anual de más de 4,000 kilómetros desde América del Norte hacia los bosques de México, una hazaña que ocurre desde hace al menos 10,000 años.

Además de su importancia ecológica, las mariposas monarca tienen un profundo significado cultural en México. En varias tradiciones indígenas, especialmente en comunidades purépechas, se les asocia con las almas de los difuntos. Su llegada anual a los bosques de Michoacán coincide con la celebración del Día de Muertos, un evento en el que se cree que las mariposas portan los espíritus de los ancestros que regresan a visitar a sus familias.

Sin embargo, la explosión de actividades humanas, especialmente desde el siglo XX, ha puesto en peligro este delicado equilibrio. La destrucción de hábitats, el uso masivo de pesticidas y el cambio climático son solo algunas de las presiones que han llevado a un marcado declive de la población de mariposas monarca. Se estima que su número ha disminuido en más del 80% en las últimas dos décadas. Una amenaza particular es la mortalidad durante la migración, donde hasta 2.1 millones de mariposas mueren cada año al ser atropelladas por vehículos en rutas migratorias.

El ritmo al que los humanos están transformando el planeta supera la capacidad de las especies para adaptarse. Mientras que la evolución requiere miles de años para que una especie pueda responder a cambios significativos, el impacto humano ocurre en cuestión de décadas, dificultando que las mariposas y muchas otras especies puedan adaptarse y sobrevivir.

**Con la guía de tu docente, discutan acerca del texto. Se sugieren estas preguntas:**

- ¿Cómo crees que el comportamiento migratorio de las mariposas monarca está relacionado con su proceso de evolución?
- ¿Crees que tiene el mismo impacto las muertes de mariposas por depredadores naturales que las muertes por choques contra automóviles?
- ¿Qué soluciones sugieren para reducir las muertes de mariposas en las rutas migratorias?
- Desde tu perspectiva, ¿cómo podría equilibrarse la necesidad de desarrollo humano con la protección de la biodiversidad?
- ¿Qué papel tiene el respeto y la valoración de las tradiciones culturales en la conservación de la biodiversidad?



MEDIO AMBIENTE CONANP

<https://www.habitatcan.org/images/migrationmap.jpg>

Foto <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=3421852407849848&id=208581735843614&set=a.210487145653073>

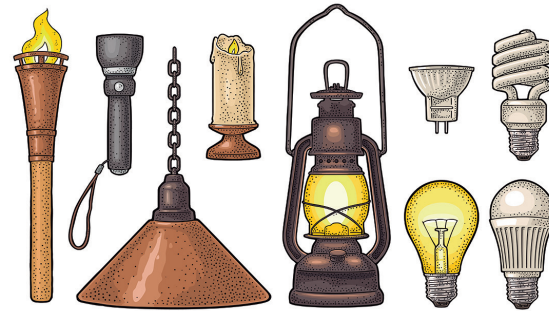




### Explorar

A lo largo del tiempo, las lámparas han cambiado y mejorado para adaptarse a las necesidades humanas, pasando de diseños simples a modelos más complejos y eficientes. Este proceso puede compararse con cómo los seres vivos cambian poco a poco a lo largo de generaciones. En esta actividad, exploraremos cómo pequeñas modificaciones pueden generar grandes avances, usando las lámparas como ejemplo de “evolución” en el diseño.

- Observa el siguiente conjunto de lámparas y ordénalas según cómo crees que han evolucionado, desde las más antiguas hasta las más modernas.
- Ahora analiza los componentes de cada una: identifica los materiales principales de cada lámpara, cuál es su fuente de luz (combustible, electricidad), menciona diferencias en diseño, eficiencia y complejidad entre las lámparas.



Con la guía de tu docente, discutan en clase las siguientes preguntas:

1. ¿En cuál o cuáles características te basaste para ordenarlas cronológicamente?
2. ¿Qué cambios pequeños puedes observar entre las lámparas que podrían haber llevado a grandes mejoras en su funcionamiento?
3. ¿Por qué crees que se hicieron esos cambios en lugar de mantener el diseño original?
4. ¿Qué factores (necesidades humanas o del entorno) pudieron influir en el desarrollo de las lámparas?
5. Si cada lámpara representa un paso en una línea de tiempo, ¿cómo describirías el proceso de “evolución” en este caso?
6. ¿Crees que este tipo de evolución podría tener un límite? ¿Por qué?
7. ¿cómo relacionarías esta evolución con la de los seres vivos?



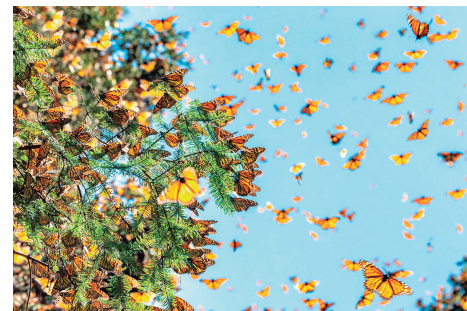
### Explicar

## Evolución: procesos micro y macro

### Microevolución

Desde la perspectiva evolutiva, es fundamental diferenciar los procesos microevolutivos (cambios dentro de una población) de los cambios macroevolutivos (transformaciones a gran escala que conducen a la formación de nuevas especies o grupos taxonómicos). Esta distinción permite comprender el proceso de especiación, es decir, la formación de nuevas especies.

La microevolución se refiere a los cambios que ocurren dentro de una población, la cual se define como un grupo de organismos de la misma especie con capacidad de reproducirse entre sí y compartir un acervo génico común (**fig. 14.1**). Normalmente comparten tiempo y espacio. Estos cambios, como ya se ha estudiado, ocurren a nivel genético y están determinados por las presiones selectivas del ambiente, tales como la competencia por recursos como alimento, hábitat o pareja, entre otros factores.



**Figura 14.1** Porción de una población de mariposas monarca en bosques de México.

Por tanto, la microevolución puede definirse como la variación en la frecuencia de los alelos dentro del acervo génico de una población a lo largo del tiempo. Este proceso está impulsado por mecanismos como la selección natural, la deriva genética, las mutaciones y el flujo génico. Al estudiar estos cambios, se puede entender cómo las poblaciones se adaptan a su entorno y cómo estos pequeños cambios contribuyen, a lo largo del tiempo, a procesos evolutivos mayores, como la generación de nuevas especies.

Tomemos de ejemplo a las mariposas monarca (*Danaus plexippus*), las cuales han desarrollado adaptaciones, a nivel genético, para resistir las toxinas de las plantas de algodoncillo (*Asclepias spp.*), su principal fuente de alimento durante la etapa larvaria (fig. 14.2). Estas adaptaciones han surgido como respuesta a la presión selectiva del ambiente, ya que las orugas que mejor toleran las toxinas tienen mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Con el tiempo, la frecuencia de los alelos asociados con esta resistencia aumentó dentro de las poblaciones de monarcas.



Figura 14.2 Larvas de monarca alimentándose de algodoncillo (milkweed).



### Elaborar

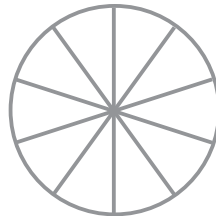
**Detección de cambios microevolutivos:** Analiza el siguiente ejemplo de una población de mariposas monarca en un bosque de Michoacán y contesta las preguntas en tu cuaderno.

En esta población estudiada se encontraron dos variantes génicas relacionadas con el color de sus alas. Colorea los porcentajes a cómo se sugieren en cada evento.

- **Naranja brillante:** Ayuda a advertir a los depredadores sobre su toxicidad.
- **Naranja opaco:** Ofrece mejor camuflaje en áreas urbanas o degradadas.

Evento 1

- **Naranja brillante (80%)**
- **Naranja opaco (20%)**

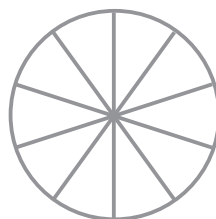


**Reflexión:** ¿Por qué crees que una variante génica puede ser más común que otra en un bosque denso?

Un año después, el bosque sufre deforestación, y encuentras que las frecuencias génicas han cambiado:

Evento 2

- **Naranja brillante (60%)**
- **Naranja opaco (40%)**



**Reflexión:** ¿Qué crees que pudo haber causado este cambio en las proporciones? ¿Qué ventajas podría tener cada variante en el nuevo entorno?

Si esta tendencia continúa, ¿qué esperas que pase en las siguientes generaciones?

- ¿Qué pasará con la diversidad genética de las Monarcas si este cambio persiste por varias generaciones?
- ¿Cómo afectará esto a otros organismos que dependen de ellas (como las plantas polinizadas o los ecosistemas en México)?
- ¿Qué relación tiene este cambio en las frecuencias génicas con el concepto de microevolución?
- ¿Por qué es importante entender este fenómeno para proteger a las Monarcas?





- Explica los cambios que observas en el genotipo y fenotipo de la primera a la segunda generación.

---



---



---

### Flujo génico o migración

El **flujo génico** es el movimiento de alelos entre poblaciones causado por la inmigración (llegan) y emigración de individuos (se van). Este proceso actúa como un factor homogeneizador, especialmente cuando dos poblaciones están geográficamente separadas, siempre que los individuos migrantes se reproduzcan sexualmente, facilitando el intercambio de alelos. Este mecanismo es especialmente importante en poblaciones pequeñas, donde la introducción de nuevos alelos puede contrarrestar la pérdida de diversidad genética.

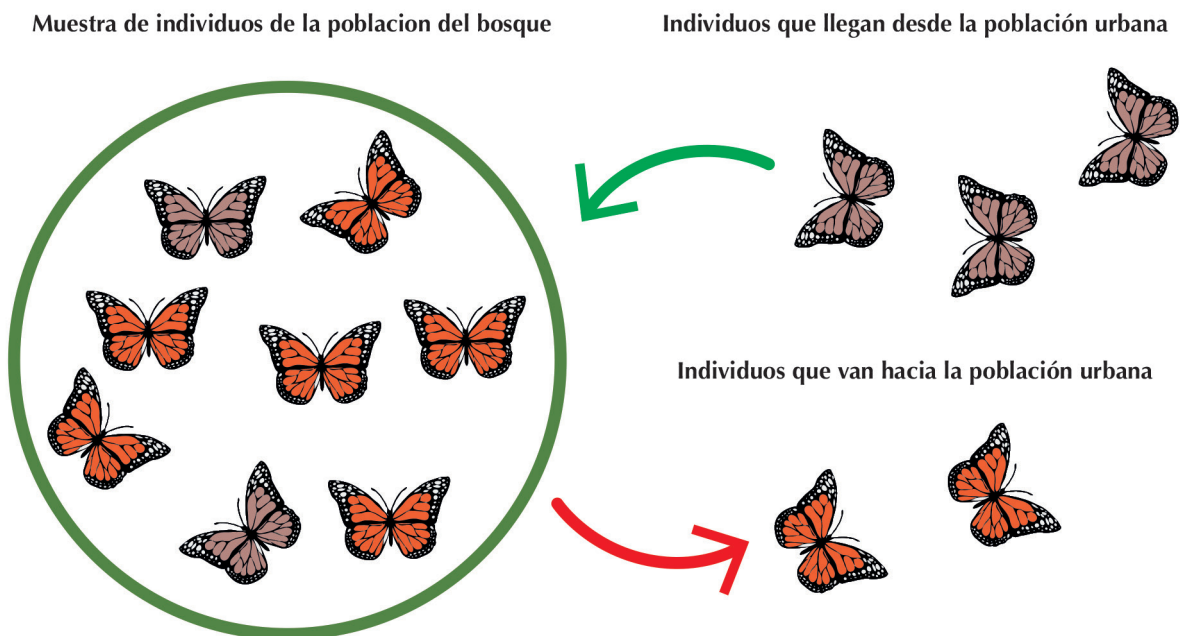
*Tras la deforestación, algunas mariposas con alas naranja opaco pudieron llegar desde poblaciones urbanas cercanas, introduciendo su alelo en la población del bosque. Este flujo génico diversificó la composición genética de la población del bosque y facilitó la propagación del alelo naranja opaco.*



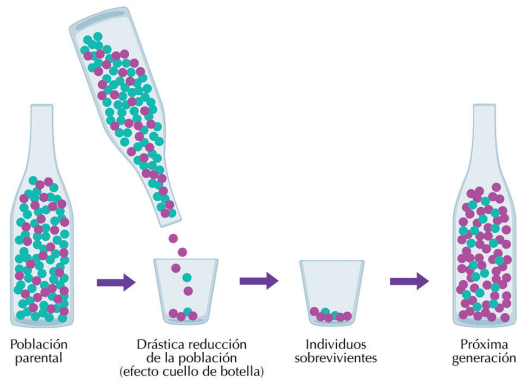
### Elaborar

**Análisis de cómo la migración altera la variabilidad genética de poblaciones.**

- Observa las imágenes representativas de migración y discutan las preguntas acerca de lo que ocurrió.



- En equipos, discutan qué pasa en la frecuencia alélica de la población de monarcas del bosque una vez que llegan individuos con alelos para el color naranja opaco.
- También discutan qué pasa si después de un tiempo, una parte de la población del bosque con alelos para naranja brillante dejan la población y se van a otra.



**Figura 14.3** La deriva genética se puede comprender a través de los efectos de cuello de botella y efecto fundador de los individuos sobrevivientes.

### Deriva genética o desplazamiento genético

Este mecanismo describe cambios aleatorios en las frecuencias génicas, especialmente en poblaciones pequeñas o aisladas. No depende de ventajas adaptativas, sino del azar. Existen eventos que reducen drásticamente el tamaño de una población y pueden amplificar su efecto, como desastres naturales o la actividad humana.

El fenómeno de reducción de población se conoce como **cuello de botella (fig 14.3)**, ya que disminuye la variabilidad genética debido a determinado evento. Además, si los sobrevivientes fundan una nueva población, el proceso se llama **efecto fundador**, y las frecuencias alélicas de los fundadores pueden no reflejar las de la población original.


*La deforestación o incendios en el bosque de monarcas pudo haber reducido drásticamente la población de monarcas, intensificando la deriva genética. Si más individuos con alas naranja opaco sobrevivieron por azar, este alelo se volvió más frecuente. Este proceso ilustra un cuello de botella genético, disminuyendo la diversidad total de la población.*



### Elaborar

**Análisis de cómo la deriva genética afecta la variabilidad genética de poblaciones.**

1. Observa las imágenes representativas de cuello de botella ocasionado por un incendio importante y discutan las preguntas acerca de lo que ocurrió.

Población original		Población después del incendio
Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____	<b>Incendio</b>	Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____

2. Expliquen qué pasó con las frecuencias alélicas de la población original a la población que sobrevivió, que será la población fundadora.
3. ¿Qué pueden predecir qué ocurra con los fenotipos de los individuos que surjan en la siguiente generación de monarcas?

### Selección natural

Este mecanismo actúa como un filtro, favoreciendo las variaciones ventajosas que aumentan las probabilidades de supervivencia y reproducción. Los individuos que sobreviven transmiten estas variantes en sus alelos a la descendencia, a través de la reproducción. Con el tiempo, esto cambia o estabiliza la composición genética de la población.

*En el ambiente original del bosque denso, el color naranja brillante advertía a los depredadores de la toxicidad de las mariposas, reduciendo los ataques. Sin embargo, tras la deforestación, las áreas abiertas hicieron que este color fuera más visible. Las monarcas con alas naranja opaco, que se camuflaban mejor, tuvieron mayores tasas de supervivencia y reproducción. Uno de los depredadores de la monarca es el ave oropéndola nortea (*Icterus galbula*) adaptado a consumir las partes menos tóxicas (fig. 14.4).*



**Figura 14.4** *Icterus galbula* se alimenta de las partes menos tóxicas de la mariposa monarca, como los músculos del tórax.



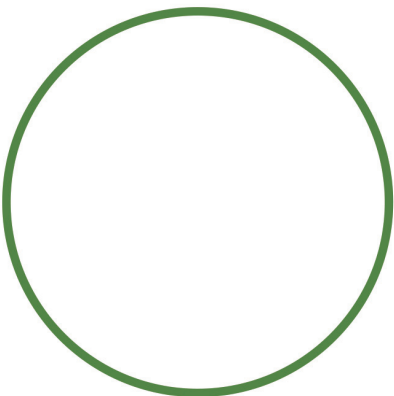


### Elaborar

**Análisis de cómo la selección natural influye en la variabilidad genética de poblaciones.**

1. Observa las imágenes representativas de cómo los depredadores de las mariposas monarcas actúan como parte de la selección natural y discutan las preguntas acerca de lo que ocurre.

Supongamos que *Icterus* identifica más fácilmente a las mariposas de color naranja brillante, por lo tanto, se alimenta de ellas, dejando pasar a las de color naranja opaco.

Población original		Población después selección natural
 <p>Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____</p>	 <p><b>depredadores</b></p>	 <p>Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____</p>

2. Expliquen qué pasará con las frecuencias alélicas de la población que quede una vez que los depredadores se alimenten.
3. ¿Qué pueden predecir qué ocurra con los fenotipos de los individuos que surjan en la siguiente generación de monarcas?





## Elaborar

La selección natural es un proceso que explica cómo las especies cambian con el tiempo para adaptarse a su entorno. En esta actividad vamos a explorar un caso muy interesante: **el aumento de elefantes africanos que nacen sin colmillos**. Esto está relacionado con la caza furtiva y cómo afecta a la población de estos animales.

Analizarás datos reales y observarás un video que explica lo que está ocurriendo con los elefantes en Mozambique. Esta actividad te ayudará a conectar lo que sabes de microevolución con un problema actual, mientras desarrollas tu capacidad para interpretar datos y reflexionar sobre cómo funciona la naturaleza.

Tu docente los guiará en la realización de la actividad, y se apoyarán en la hoja de actividades de HHMI-Biointeractive que podrán descargar del QR, así como en el análisis del video.

También puedes contestar la actividad en línea de LabXchange, que es un simulador sobre selección natural (en inglés)



QR de la hoja de Actividad



QR video Elefante sin colmillos

[https://youtu.be/KEdKRMd7e\\_4](https://youtu.be/KEdKRMd7e_4)



QR LabXchange Simulación selección natural

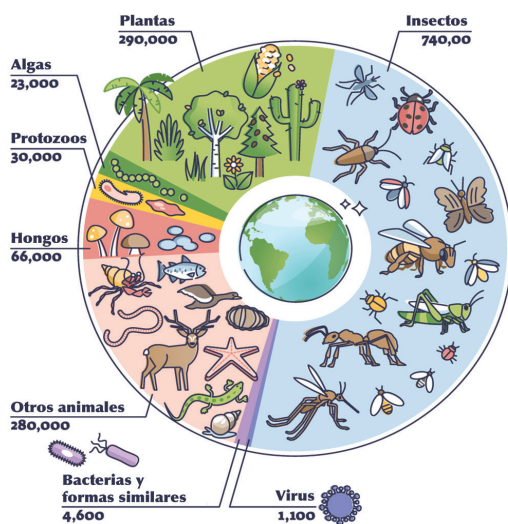
[https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:20af5690:lx\\_simulation:1?fullscreen=true](https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:20af5690:lx_simulation:1?fullscreen=true)



## Explicar

### Especiación

La especiación ocurre mediante diversos mecanismos que transforman poblaciones de una especie en nuevas especies. Este proceso está influenciado por el ambiente y las interacciones entre los individuos dentro de una población. Al explorar los cuatro mecanismos de microevolución, comprenderemos cómo las fuerzas evolutivas, como la selección natural, la deriva genética, el flujo génico y las mutaciones, interactúan para dar lugar a nuevas especies. Reflexiona: ¿por qué la diversidad es esencial para la evolución de la vida?



### Especie y especiación

Una **especie** se define como un grupo de individuos con características morfológicas, fisiológicas y genéticas similares, que comparten un ancestro común, son capaces de reproducirse entre sí y generar descendencia fértil. Los miembros de una especie comparten un reservorio génico común, que está aislado de los reservorios génicos de otras especies. Por ello, el nivel de especie es la unidad básica de la clasificación taxonómica de los seres vivos, aunque sigue en constante en discusión su concepto. En la figura 14.5 se muestra un estimado de número de especies por tipo de organismo.

Una característica que distingue a una especie es su aislamiento reproductivo de grupos cercanos, lo cual se logra mediante **barre-**

**Figura 14.5** Observa que existe una gran cantidad de especies de insectos, lo que significa que han tenido éxito evolutivo al adaptarse a diferentes nichos y hábitats.

**ras biológicas o geográficas** que protegen la integridad del reservorio génico. Dentro de una misma especie, es posible observar variaciones en tamaño, forma, color u otras características entre los individuos. Estas diferencias se denominan **variedades**, y aunque presenten diversidad, los individuos pueden reproducirse entre sí. Por ejemplo, las diferentes razas de perros o gatos.

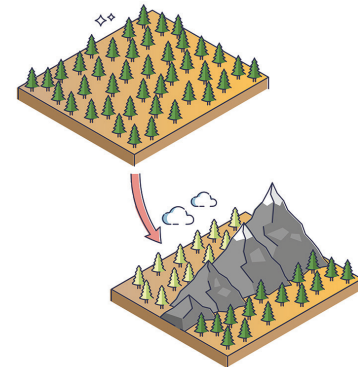
Con el **tiempo** (miles de años) y debido a estas variaciones, sumadas a factores como la selección natural, la deriva genética o el aislamiento geográfico, las poblaciones pueden separarse o divergir hasta el punto de que ya no sean capaces de reproducirse entre sí. Este proceso de diferenciación culmina en la formación de una nueva especie o **especiación**. Así, nuevas especies emergen a partir de especies ancestrales, enriqueciendo la diversidad de la vida en el planeta, adaptadas a las condiciones cambiantes en el ambiente.

### Población original

Las poblaciones son dinámicas y cambian con el tiempo. Dichos cambios ocurren en las poblaciones originales (que son el referente), debido a factores como el aislamiento, las mutaciones y las adaptaciones, que pueden conducir a la formación de nuevas especies, una vez que se acumulan por largos periodos de tiempo. Existen diferentes tipos de especiación según los factores que la provocan, y cada tipo ofrece una ventana para comprender cómo la vida se diversifica y evoluciona en respuesta a las condiciones del entorno.

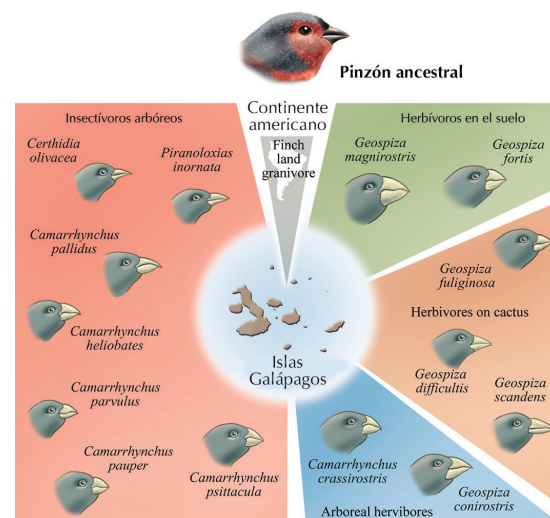
### Especiación alopátrica

Del griego *allo* (distinto) y del latín *patria* (tierra natal), ocurre cuando una **barrera física o geográfica** interrumpe el flujo génico entre subpoblaciones (fig. 14.6). Este aislamiento puede deberse a la migración, la formación de barreras naturales, como montañas o ríos, o incluso a eventos geológicos. A lo largo del tiempo, estas subpoblaciones aisladas experimentan cambios genéticos y adaptaciones que las hacen divergir, formando nuevas especies.



**Figura 14.6** Eventos geológicos, como el desarrollo de cadenas montañosas, pueden separar a los individuos de una población, evitando que se puedan reproducir entre ellos y, con el paso de mucho tiempo, generar especies diferentes.

- Cuando estos cambios ocurren en los límites o periferias del rango geográfico de la población, se denomina **especiación peripátrica**, un proceso con origen alopátrico.
- Por otro lado, si la población original se divide en dos partes aproximadamente iguales dentro de su rango geográfico, el fenómeno recibe el nombre de **especiación dicopátrica**.
- Un ejemplo clásico de especiación alopátrica son los pinzones de las islas Galápagos, estudiados por Charles Darwin (fig. 14.7). Estas islas, situadas frente a la costa ecuatoriana, son cimas de volcanes separadas por el océano. Darwin observó similitudes entre los pinzones de las islas y los de las costas de Sudamérica, lo que llevó a la hipótesis de que algunos pinzones migraron desde el continente hacia las islas. Una vez aislados, sin contacto entre las subpoblaciones de las diferentes islas, los pinzones desarrollaron adaptaciones específicas a su entorno, originando especies distintas.



**Figura 14.7** Especiación de diferentes pinzones de las islas Galápagos, a partir de un pinzón ancestral, proveniente de la zona ecuatoriana continental.

En México, el género **Agave** (fig. 14.8) es conocido por sus usos en la producción de tequila, mezcal y fibras. Estas plantas son nativas de regiones áridas y semiáridas, pero diferentes especies de Agave han divergido en respuesta a los climas y suelos específicos de cada región. Por ejemplo, en Sinaloa, algunas poblaciones de *Agave angustifolia* han desarrollado adaptaciones para soportar altas temperaturas y periodos prolongados de sequía, características comunes en climas áridos. Por otro lado, *Agave tequilana*, en Jalisco, ha evolucionado en suelos volcánicos, con mayores precipitaciones.





**Figura 14.8** Observa las diferencias y similitudes entre estas dos especies de Agave. En México encontramos muchas especies de este género, distribuidas por casi todo el territorio nacional. Revisa en la página de CONABIO en el QR



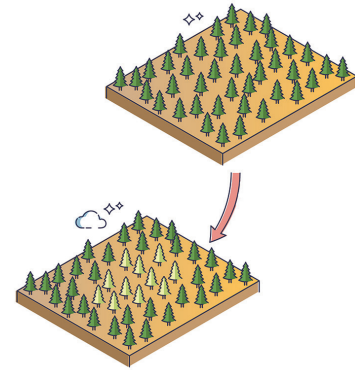
**QR Sitio WEB**  
CONABIO: información sobre los agaves y el mapa distribución.

### Especiación simpátrica

Del latín *similis* (similar, junto), ocurre dentro de una misma área geográfica o rango de distribución, sin que exista una barrera física que separe a las poblaciones (fig. 14.9). Sin embargo, dentro de la población original, algunas subpoblaciones desarrollan adaptaciones específicas que las diferencian del resto. Estas adaptaciones pueden incluir cambios en la dieta, horarios de actividad (como caza o alimentación), o comportamientos específicos que se ajustan a condiciones locales dentro del mismo entorno compartido. Estos cambios son graduales, de miles de años.

Por ejemplo, en este tipo de especiación algunos individuos pueden comenzar a alimentarse exclusivamente de un recurso particular, ocupando un nuevo nicho ecológico, lo que los aísla reproductivamente del resto de la población, aunque geográficamente estén compartiendo espacio. Un caso clásico de adaptación al nicho es la **radiación adaptativa** de los pinzones de las islas Galápagos (fig. 14.10) observada por Darwin, aunque existen muchos otros ejemplos, como los mismos agaves extendidos por el territorio mexicano, los monos del continente americano, entre otros.

- Si los cambios ocurren en los límites del rango de distribución de la población, se habla de **especiación parapátrica**, un proceso que tiene un origen relacionado con la especiación simpátrica.



**Figura 14.9** Una población da origen a una nueva especie dentro del mismo territorio, debido a barreras reproductivas como cambios ecológicos o genéticos que aíslan a ciertos individuos del resto.



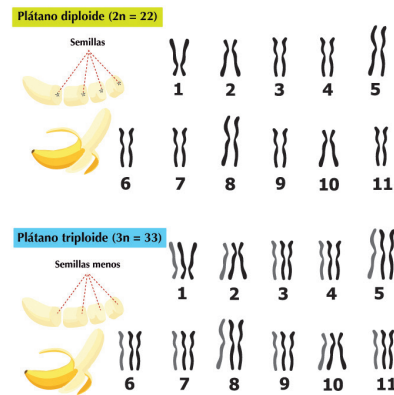
**QR Video**  
HHMI - Biointeractive. El origen de las especies: el pico del pinzón: <https://youtu.be/OQ4OdCp59c4>



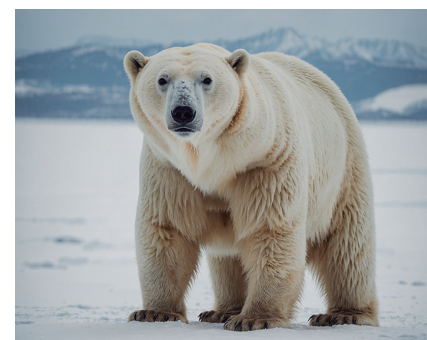
**Figura 14.10** Los pinzones de Darwin ejemplifican la radiación adaptativa y la especiación simpátrica, diversificándose a partir de un ancestro común para ocupar distintos nichos en las Galápagos, con variaciones en sus picos según su dieta (semillas, insectos, frutas, cactus).



- Existen casos particulares de especiación simpátrica, como la poliploidía y la hibridación, que pueden ocurrir tanto de manera natural, como inducida por el humano. De manera natural, pueden ser procesos **instantáneos**, es decir en una sola generación. Ocurren más frecuentemente en plantas, pero también ocurre en animales.
- La especiación por **poliploidía** (fig. 14.11), que ocurre debido a variaciones en la cantidad de cromosomas en ciertos individuos de la población. Estos individuos poliploides, que poseen tres o más copias de cada tipo de cromosoma, se vuelven reproductivamente aislados del resto de la población porque su número cromosómico no es compatible con el de los individuos originales. Aunque no pueden cruzarse con la población ancestral, los poliploides pueden reproducirse entre sí, formando una nueva especie. Se estima que casi el **50% de las angiospermas son poliploides** y no pueden cruzarse con la especie ancestral que les dio origen. Ejemplos de plantas poliploides incluyen el trigo, la avena y ciertos tipos de pasto.
- La poliploidía puede surgir de manera natural, como un error en la división celular (meiosis o mitosis), que duplica el número de cromosomas en un organismo. Sin embargo, también puede ser inducida por los humanos en el contexto de la agricultura, utilizando químicos como la colchicina para obtener plantas con características deseadas, como frutas más grandes (por ejemplo, sandías sin semillas).
- Por otro lado, las nuevas especies de plantas también pueden surgir mediante **hibridación**, un proceso en el que dos especies distintas se cruzan y producen descendencia con combinaciones únicas de genes. Estas combinaciones genéticas pueden aislar reproductivamente a los híbridos de sus especies parentales, permitiéndoles formar una nueva especie.
- La hibridación ocurre de forma natural, especialmente en plantas, pero también puede ser inducida por los humanos, como en el caso del **maíz híbrido** o los cruces controlados en horticultura para obtener características específicas. También ocurre en animales, por ejemplo, cuando se aparean **osos grizzly** y **osos polares** (fig. 14.12), que son especies diferentes, pero contienen el mismo número de cromosomas (74), por lo tanto, la descendencia, el **oso pizzly o grolar**, es **fértil**, y combina características de ambas especies, como un tamaño intermedio, un pelaje claro con manchas y comportamientos adaptados tanto a la tundra como al hielo.
- Por otro lado, podemos encontrar híbridos que son **estériles o infértiles**, debido a que el número de cromosomas no es compatible, como el caso de la cruce de un burro y una cebr que, aunque comparten un ancestro común, están mucho más alejados, evolutivamente, que el ejemplo de los osos. Las **cebras** tienen un número variable de cromosomas según la especie (entre **32 y 46 cromosomas**), mientras que los **burros** tienen **62 cromosomas**. Al tener esta diferencia de número y estructura de cromosomas, se impide su correcto emparejamiento durante la meiosis, lo que hace que el **cebroide** (fig. 14.13) sea infértil, aunque podrían existir raras excepciones.



**Figura 14.11** Los plátanos diploides ( $2n = 22$ ) tienen semillas, mientras que los triploides ( $3n = 33$ ) no tienen semillas porque no pueden reproducirse y actualmente se reproducen por clonación.



**Figura 14.12** Oso grizzly o pardo y oso polar, su descendencia es el oso pizzly.



**Figura 14.13** El cebroide resulta de la cruce de una cebr y un burro.

### Mecanismos de aislamiento reproductivo

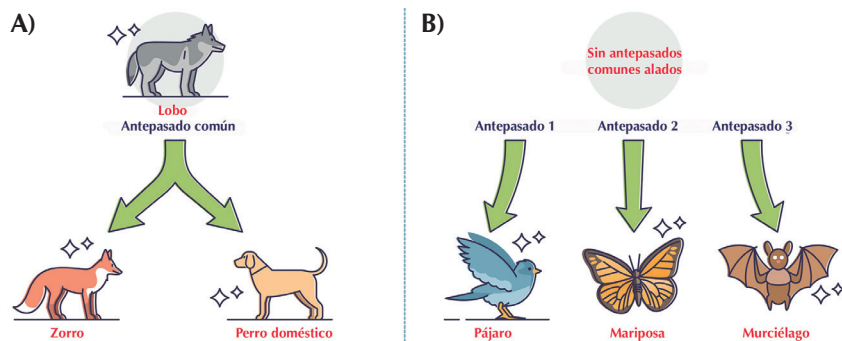
Los mecanismos de aislamiento reproductivo se clasifican en **precigóticos**, que actúan antes de la fertilización evitando la formación del cigoto, y **poscigóticos**, que operan después de la fertilización, afectando la viabilidad o fertilidad de los híbridos.

	Mecanismo	Descripción	Ejemplo
Precigóticos	<b>Ecológico</b>	Las especies ocupan hábitats o tienen hábitos diferentes, aunque compartan territorio.	Dos especies de ranas que habitan en diferentes cuerpos de agua dentro del mismo bosque.
	<b>Sexual</b>	Diferencias en patrones de cortejo o comportamiento reproductivo.	Pájaros con cantos de apareamiento distintos que no atraen a individuos de otra especie.
	<b>Temporal</b>	Diferencias en las épocas o momentos de reproducción.	Dos especies de flores que liberan polen en distintas estaciones del año.
	<b>Mecánico</b>	Incompatibilidad física en los órganos reproductivos o gametos.	Insectos con genitales que no se ajustan entre especies diferentes.
	<b>por Polinizadores</b>	Diferentes especies de plantas tienen polinizadores específicos que no comparten.	Flores polinizadas por colibríes versus flores polinizadas por abejas.
	<b>Gamético</b>	Gametos incompatibles por diferencias químicas, especialmente en organismos de fecundación externa.	Corales cuyos gametos no se fertilizan entre sí debido a señales químicas distintas.
	<b>por Barreras de Incompatibilidad</b>	Los espermatozoides no sobreviven en los conductos sexuales de la hembra.	Mamíferos cuyos espermatozoides no pueden fecundar óvulos de otra especie.
Poscigóticos	<b>Inviabilidad de los Híbridos</b>	Los embriones híbridos no completan su desarrollo y mueren en etapas tempranas.	Cruzas entre diferentes especies de salamandras cuyo desarrollo embrionario falla.
	<b>Esterilidad de los Híbridos</b>	Los híbridos nacen saludables pero son infértiles.	Mulas, híbridos entre caballos y burros.
	<b>Deterioro de la Segunda Generación</b>	Los híbridos de la primera generación son fértiles, pero la segunda generación es débil o infértil.	Ligres (híbridos de león y tigre), cuya descendencia suele ser poco viable o infértil.

### Patrones de cambio evolutivo

Los **patrones de cambio evolutivo** (fig. 14.14) explican cómo las especies cambian y se adaptan a lo largo del tiempo. Uno de estos patrones es la **evolución divergente**, que está estrechamente relacionada con los tipos de especiación. Bajo este patrón, las especies con un ancestro común se diversifican debido a la adaptación a diferentes ambientes, presiones selectivas o nichos ecológicos, lo que conduce al desarrollo de características distintas.

Sin embargo, también existe la **evolución convergente**, donde no existe vínculo a un ancestro común, es decir, son **especies no relacionadas** desarrollan características similares debido a adaptaciones a entornos o desafíos ecológicos semejantes. Un ejemplo son las alas de murciélagos, aves e insectos, que cumplen la misma función de vuelo, pero tienen orígenes evolutivos diferentes.



**Figura 14.14** La evolución divergente (A) ocurre cuando especies con un ancestro común desarrollan características diferentes, mientras que la evolución convergente (B) sucede cuando especies no relacionadas evolucionan características similares debido a funciones compartidas.





## Elaborar

Las ardillas de Abert son ardillas de árboles de tamaño mediano que se encuentran en las montañas del suroeste de Estados Unidos y el norte de México. En Estados Unidos se han registrado dos poblaciones de ardillas fenotípicamente diferentes, una de pelaje más claro (ardilla de Abert) que la otra (ardilla de Kaibab), ubicadas en zonas diferentes del cañón, separadas por la depresión del río Colorado, como se puede apreciar en el mapa de distribución:



La **ardilla de Abert** (*Sciurus aberti*) habita principalmente en los bosques de pino ponderosa del suroeste de los Estados Unidos, especialmente en áreas como los **Bosques Nacionales de Arizona** y Nuevo México. Este hábitat se caracteriza por ser más cálido y seco, con temperaturas variables según la altitud. Estas ardillas dependen de las semillas de pino, brotes y corteza como fuente principal de alimento.

Por otro lado, la **ardilla de Kaibab** (*Sciurus aberti kaibabensis*), una subespecie de la ardilla de Abert, vive exclusivamente en el **Bosque Nacional Kaibab**, ubicado en la meseta de Kaibab, al norte del Gran Cañón, en Arizona. Su entorno es un bosque montañoso de coníferas, también dominado por pinos ponderosa, pero con condiciones ligeramente más frías y húmedas debido a mayor altitud.

Como puede apreciar, la población de ardillas de Kaibab es más pequeña y está separada de la población de Abert. Este evento pudo haber ocurrido hace unos 10,000 años, y aunque actualmente están separadas, siguen siendo muy similares y genéticamente compatibles.

- **Observen detenidamente las imágenes, y en pequeños equipos, analicen y discutan las siguientes preguntas. Anoten sus ideas en la libreta.**
- **Una vez que hayan concluido, compartan sus respuestas con el resto del grupo, guiados por su docente:**
  1. ¿Cómo crees que la separación geográfica por el Gran Cañón ha afectado la evolución de las ardillas de Abert y de Kaibab? ¿Qué factores pudieron haber contribuido a que desarrollaran características fenotípicas diferentes?
  2. Con base en las diferencias en el hábitat de ambas ardillas, ¿de qué manera las condiciones climáticas y ambientales pueden haber influido en las adaptaciones físicas y de comportamiento de cada población?
  3. Compara las características fenotípicas de las ardillas de Abert y de Kaibab. ¿Qué beneficios podrían ofrecerles sus diferencias de pelaje en sus respectivos hábitats?



4. ¿A qué tipo de especiación estamos viendo? Justifica la respuesta.
5. Las ardillas de Kaibab, ¿ya se pueden considerar una especie diferente? Argumenta.
6. Si la barrera del Gran Cañón desapareciera y las poblaciones de ardillas pudieran mezclarse, ¿qué crees que sucedería con sus características fenotípicas y genéticas a lo largo del tiempo?
7. Imagina que el clima de una de estas regiones cambiara drásticamente, por ejemplo, se volviera mucho más seco o húmedo. ¿Cómo podrían adaptarse las ardillas a este nuevo entorno?
8. ¿Por qué crees que es importante estudiar las diferencias entre estas dos poblaciones de ardillas? ¿Qué podríamos aprender sobre la biodiversidad y la evolución al hacerlo?
9. ¿Qué papel crees que juega la biodiversidad en la salud general de los ecosistemas? ¿Cómo podrían las ardillas de Abert y de Kaibab contribuir al equilibrio de sus respectivos entornos?



### Explicar

## Coevolución

Se trata un **proceso evolutivo** altamente dinámico que ocurre cuando **dos o más especies interactúan** estrechamente y ejercen **presión selectiva mutua**, generando adaptaciones específicas en ambas. Este proceso no se limita a un único tipo de especiación o patrón evolutivo, sino que puede ocurrir a través de diversos mecanismos y escenarios. Por ejemplo, la coevolución puede darse durante la *especiación alopátrica*, donde dos poblaciones aisladas evolucionan de manera diferente debido a sus interacciones con especies locales, o en la *especiación simpátrica*, cuando las relaciones ecológicas dentro de un mismo territorio, como entre plantas y polinizadores, promueven la diversificación.

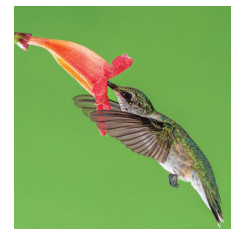
Además, la coevolución puede dar lugar a distintos patrones evolutivos, como la **evolución divergente**, como ocurre en depredadores y presas que desarrollan estrategias cada vez más especializadas para cazarse o defenderse, o a una **evolución convergente**, donde especies no relacionadas desarrollan adaptaciones similares al interactuar con un factor común, como las flores de diferentes linajes que evolucionan formas parecidas para atraer al mismo tipo de polinizador.

La coevolución impulsa la **diversidad biológica** y mantiene la dinámica de los ecosistemas. Relaciones coevolutivas entre organismos polinizadores y flores han influido en la diversificación de las plantas con flores. También puede acelerar la evolución, como en las relaciones entre depredadores y presas, o estabilizarla, como en relaciones simbióticas estables, donde ambos organismos se benefician mutuamente. Por tanto, se pueden comprender diferentes **tipos de coevolución**:

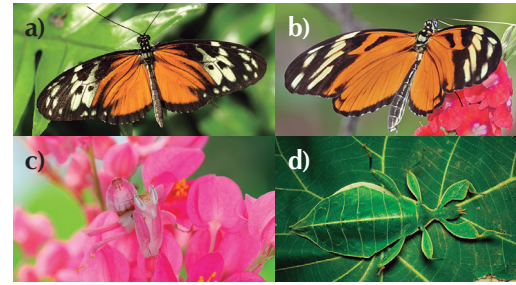
- **Coevolución antagonica:** Se da en relaciones como *depredador-presa* o *parásito-huésped*, donde las especies evolucionan estrategias para superarse mutuamente., como *los antílopes que evolucionan mayor velocidad para escapar de guepardos*, mientras *estos desarrollan mayor agilidad para cazarlos*.



- **Coevolución mutualista:** Surge entre especies que obtienen beneficios mutuos, como *las flores tubulares y los colibríes*, donde *ambos evolucionan adaptaciones que favorecen la polinización y el acceso al néctar*.



- **Coevolución mimética:** Ocurre cuando una especie imita a otra para obtener beneficios, como defensa, como las mariposas *Heliconius* (a) que imitan patrones de especies tóxicas, como del género *Ithomiini* (b), para engañar a sus depredadores. Por otro lado, hay mimetismo para atraer, puede ser para cazar, como algunas mantis que imitan a flores imagen y cazan insectos polinizadores, mientras que hay otros insectos que usan el mimetismo para esconderse de depredadores, como los insectos hoja (d).



### Elaborar

Busquen imágenes de otros ejemplos de relaciones coevolutivas. Pega las imágenes en tu libreta y debajo de cada relación, expliquen cómo funcionan estas relaciones y cómo se ayudan a coevolucionar entre especies. Pueden intercambiar imágenes.

### Momento 3



### Evaluar

## El impacto humano en la microevolución

1. Los estudiantes formarán equipos y seleccionarán un tema relacionado con microevolución, especiación o patrones evolutivos (por ejemplo, resistencia a pesticidas, adaptaciones al cambio climático o coevolución). Usarán fuentes confiables como artículos científicos, documentales y noticias para recopilar información sobre el fenómeno evolutivo, los mecanismos implicados (mutación, flujo génico, deriva genética, selección natural) y sus impactos en el ambiente y sociedad.
2. Cada equipo analizará los datos recopilados para identificar:
  - o Evidencias de evolución en el caso estudiado.
  - o Los factores que impulsan los cambios evolutivos.
  - o Las consecuencias para las especies y ecosistemas involucrados, así como para las comunidades humanas.
3. Con base en el análisis, los estudiantes diseñarán una propuesta que pueda:
  - o Sensibilizar a la comunidad sobre el fenómeno (e.g., campañas educativas sobre la importancia de conservar hábitats como los manglares).
  - o Ofrecer soluciones prácticas al problema identificado (e.g., estrategias sostenibles para reducir la resistencia a pesticidas en cultivos locales).
4. Los equipos elaborarán un producto final para comunicar sus hallazgos. Podrán elegir entre formatos como:
  - o Póster científico.
  - o Presentación oral o multimedia.
  - o Infografía interactiva. El producto debe incluir la descripción del caso, la explicación del fenómeno evolutivo y la propuesta de acción.

## Herencia y Evolución Biológica

5. Implementación o Simulación: Si es viable, los equipos pondrán en práctica su propuesta (por ejemplo, sembrando plantas nativas para ayudar a los insectos locales) o simularán su impacto en la comunidad para evaluar su efectividad.
6. Al final, los equipos, a través de un texto, reflexionarán sobre lo aprendido durante la actividad, destacando cómo la evolución influye en el equilibrio ecológico y qué acciones pueden tomar para proteger la biodiversidad.

Se evaluará la calidad de la investigación, la profundidad del análisis, la creatividad en la propuesta y la claridad en la presentación.

### Ejemplos sugeridos

Resistencia a pesticidas en insectos.

- Investiguen cómo las poblaciones de plagas agrícolas desarrollan resistencia y qué impacto tiene esto en los cultivos locales.

Evolución de resistencia de bacterias a antibióticos.

- Analicen cómo las bacterias patógenas evolucionan resistencia y qué implicaciones tiene para la salud pública.

Evolución de los cultivos agrícolas.

- Cómo la selección artificial ha generado nuevas especies o variedades, como el trigo o el maíz híbrido.

Tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*):

- Cambios fenotípicos y adaptaciones al cambio climático en las playas de anidación en Sinaloa.

Jaguar (*Panthera onca*):

- Fragmentación de hábitats y su impacto en la diversidad genética de las poblaciones en la Sierra Madre Occidental.

Cardón (*Pachycereus pringlei*) y otras especies de cactáceas:

- Adaptaciones a climas extremos en los desiertos de Sinaloa y Baja California.

Chiles silvestres (*Capsicum* spp.):

- Diversidad genética y domesticación de variedades nativas en Sinaloa.

Murciélago magueyero (*Leptonycteris nivalis*):

- Relación coevolutiva con el agave y cómo la polinización nocturna afecta ambos.

Camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*):

- Adaptaciones a las aguas costeras de Sinaloa y su importancia económica.

Colibríes (Trochilidae):

- Diversidad de especies en bosques tropicales y su coevolución con flores tubulares.

Ecosistemas de manglares:

- Relaciones simbióticas y adaptaciones al ambiente salino en las costas de Sinaloa.

Estuarios y marismas:

- Especies de aves migratorias y su interacción con las comunidades de Sinaloa.





# Progresión de aprendizaje 15

## Momento 1

La selección natural conduce a que ciertos rasgos en la población de una especie, que permiten con mayor éxito la reproducción y la supervivencia, se vuelvan predominantes y más comunes.

### Tiempo estimado:

5 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Reconocer que la información genética y el registro fósil proporcionan evidencia de la evolución y comprende que este proceso es multifactorial y uno de esos factores es la selección natural que conduce a la adaptación, y que la adaptación actúa durante generaciones, siendo un proceso importante por el cuál las especies cambian con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT5. Diferenciar organismos que pueden tomar energía de su entorno para poder cumplir funciones que aportan a la dinámica del sistema que habitan.
- CT6. Fundamentar que todos los seres vivos están formados por estructuras fundamentales que son la base para la construcción de sistemas más complejos que integran niveles de organización.
- CT7. Examinar como los organismos responden a estímulos del medio que habitan, derivando esto en la posibilidad de romper con estados de equilibrio interno. Identificar el papel que juegan los cambios en un entorno para los seres vivos y como modifica esto el comportamiento, la densidad poblacional de un grupo de organismos, las interacciones y la descendencia en una especie.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones.
- CT2. Causa y efecto.
- CT3. Medición.
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía.
- CT6. Estructura y función.
- CT7. Estabilidad y cambio.

### Prácticas de ciencia e ingeniería:

2. Desarrollar y usar modelos.
3. Planificar y realizar investigaciones.
5. Analizar e interpretar datos.
8. Obtener, evaluar y comunicar información.



## Evaluación diagnóstica

- 1. ¿Qué proceso explica cómo ciertos rasgos se vuelven predominantes en una población debido a su éxito en la reproducción y supervivencia?**
  - a. Deriva genética.
  - b. Selección natural.
  - c. Mutación genética.
- 2. ¿Qué evidencia principal permite observar los cambios en las especies a lo largo del tiempo (millones de años)?**
  - a. Árboles filogenéticos.
  - b. Genomas de especies actuales.
  - c. Registro fósil.
- 3. ¿Para qué se utilizan los árboles filogenéticos en biología?**
  - a. Representar las relaciones evolutivas entre especies.
  - b. Calcular el tiempo de vida de los fósiles.
  - c. Identificar el número de individuos en una población.
- 4. ¿Cuál de los siguientes eventos está relacionado con la macroevolución?**
  - a. Cambios en la frecuencia de alelos en una población pequeña.
  - b. Modificaciones genéticas espontáneas en organismos individuales.
  - c. Aparición de nuevas especies tras una extinción masiva.
- 5. Modelo que propone que las especies evolucionan principalmente durante largos periodos de estabilidad, interrumpidos por cambios rápidos:**
  - a. Gradualismo.
  - b. Equilibrio puntuado.
  - c. Deriva genética.
- 6. Son características compartidas por todos los mamíferos, excepto:**
  - a. Producción de leche.
  - b. Presencia de placenta.
  - c. Presencia de pelo o pelaje.
- 7. Evidencias que utilizan los científicos para determinar qué tan cercanas están dos especies en términos evolutivos:**
  - a. Las características físicas y secuencias genéticas.
  - b. El tamaño corporal y la dieta principal que consumen.
  - c. Los hábitats en los que se encuentran histórica y actualmente.
- 8. Función que tienen las mutaciones en el contexto de un árbol filogenético:**
  - a. Permiten la estabilidad de las especies a largo del tiempo.
  - b. Son causantes de extinción de linajes completos.
  - c. Permiten establecer diferencias genéticas entre especies.
- 9. Concepto describe las características que permiten a un organismo sobrevivir y reproducirse en su entorno:**
  - a. Selección artificial.
  - b. Adaptación.
  - c. Deriva genética.
- 10. Son adaptaciones se considera clave para el éxito evolutivo de los humanos:**
  - a. Desarrollo de camuflaje para evadir depredadores.
  - b. Habilidad para nadar largas distancias en busca de alimento.
  - c. Uso de herramientas y cooperación social compleja.

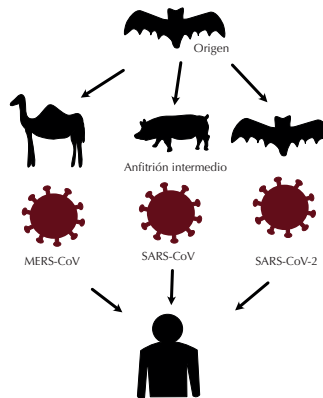
## Momento 2



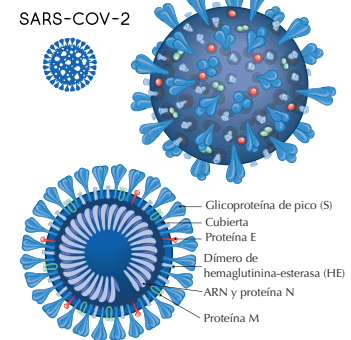
### Enganchar

## Uso de filogenias para entender el origen del SARS-CoV-2

El análisis filogenético ha sido crucial para investigar el origen y la transmisión de enfermedades zoonóticas como el SARS-CoV-2, causante de la pandemia de COVID-19. Los científicos compararon las secuencias genéticas del virus con otros coronavirus conocidos, encontrando una estrecha relación con los presentes en murciélagos y pangolines. Este análisis demostró que el virus probablemente se originó en murciélagos y saltó a los humanos a través de un huésped intermedio aún no identificado.



### COVID-19



Para realizar este trabajo, los investigadores utilizaron herramientas clave. La **secuenciación genómica** permitió leer el ARN del virus y descubrir sus mutaciones. Estas secuencias fueron compartidas en **bases de datos**, donde se compararon con las de otros coronavirus mediante **análisis filogenéticos computacionales** para construir árboles evolutivos. Además, **modelos matemáticos** ayudaron a estimar cómo evolucionó el virus y predecir variantes futuras, como Delta u Ómicron. Estas herramientas son de apoyo para los expertos en salud pública para diseñar estrategias de prevención, monitoreo y mitigación de pandemias, mostrando cómo la biología evolutiva puede salvar vidas y anticipar futuras amenazas zoonóticas.

Con la guía de tu docente, discutan acerca del texto. Tomen como base en las siguientes preguntas:

- ¿Qué características genéticas crees que se comparan entre especies?
- ¿Por qué es importante conocer cómo están relacionadas las especies entre sí en un árbol filogenético?
- ¿Crees que los murciélagos se deben erradicar?
- ¿Qué problemas crees que enfrentaríamos en la creación de vacunas sin estas herramientas?
- Si una variante del SARS-CoV-2 se vuelve completamente diferente desde el punto de vista filogenético, ¿qué implicaciones tendría para las vacunas actuales?



### Explorar

Observa las imágenes de diferentes organismos y analiza sus adaptaciones, como espinas, aletas o pelajes. Clasifica cada organismo según su ambiente (desierto, océano, selva, etc.) y explica brevemente por qué crees que pertenece a ese lugar. Luego, identifica dos organismos de ambientes distintos que tengan adaptaciones similares y colócalos juntos, explicando qué características comparten. Finalmente, con la guía de tu docente, discutan en grupo cómo los ambientes influyen en las adaptaciones de los organismos y qué patrones se repiten.

- ¿Qué adaptaciones vimos que se repiten en distintos ambientes?
- ¿Por qué crees que especies tan diferentes pueden tener características similares?



#### QR archivo descargable:

Encontrarás imágenes sugeridas para la actividad de relacionar las adaptaciones de diversos organismos.  
<https://docs.google.com/document/u/1/d/1Y-2bJ0yr38Gu15vAU2lXrgXHJ0pxds/copy>





Explicar

Macroevolución

Formación de nuevas especies y grupos superiores.

La **macroevolución** es el conjunto de procesos evolutivos que ocurren por encima del nivel de especie, responsables de la aparición de nuevas especies, géneros, familias o incluso grupos taxonómicos más grandes (fig. 15.1). A lo largo de millones de años, da lugar a grandes transformaciones en la biodiversidad, como la **radiación adaptativa**, las **extinciones masivas** y la evolución de estructuras complejas. Estos cambios no son inmediatos y se evidencian en el **registro fósil**, que proporciona pistas sobre los patrones y eventos que han moldeado la vida en la Tierra.

La importancia de la macroevolución radica en que nos ayuda a explicar cómo surgieron y se diversificaron los grandes grupos de organismos que conocemos hoy, desde los invertebrados hasta los mamíferos. También ayuda a comprender eventos como las **extinciones masivas**, que a menudo marcan el final de una era y el comienzo de nuevas oportunidades evolutivas. Por ejemplo, la desaparición de los dinosaurios permitió que los mamíferos, que ya existían, se diversificaran y dominaran los ecosistemas terrestres.

Estudiar la macroevolución nos revela el pasado, y también nos prepara para entender el presente y futuro. Permite predecir cómo las especies podrían responder a cambios ambientales, como el **cambio climático** o la **pérdida de hábitats**, y cómo las actividades humanas están influenciando los procesos evolutivos a gran escala.

A lo largo de esta progresión, exploraremos cómo se utilizan las **filogenias** para trazar las relaciones entre especies, el proceso de construcción de **árboles filogenéticos** para representar dichas relaciones (incluyendo un caso práctico sobre los **homínidos**) y las **técnicas modernas** que permiten investigar la evolución con mayor precisión.

La **macro** y la **microevolución** son procesos evolutivos interrelacionados pero distintos en escala y alcance. Mientras que la **microevolución** describe cambios rápidos y observables dentro de poblaciones, como la resistencia a antibióticos en bacterias, la **macroevolución** aborda transformaciones a largo plazo que resultan en la formación de nuevas especies o grupos taxonómicos superiores, como la evolución de los vertebrados.

En el caso de la resistencia a antibióticos (fig. 15.2), un ejemplo de microevolución, ciertas bacterias con mutaciones favorables sobreviven al uso de antibióticos y transmiten esta característica a sus descendientes. Este proceso genera un cambio rápido en la frecuencia de los alelos responsables de la resistencia, observable en tiempo real en entornos clínicos o experimentales. Este proceso ocurre en periodos cortos y dentro de poblaciones pequeñas.

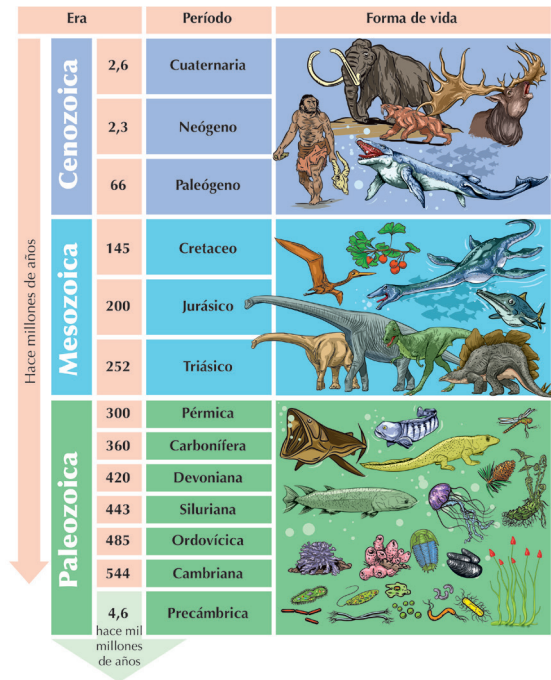


Figura 15.1 Ciertas bacterias tienen una resistencia natural hacia antibióticos que les permite sobrevivir y pasan esta información a su descendencia.

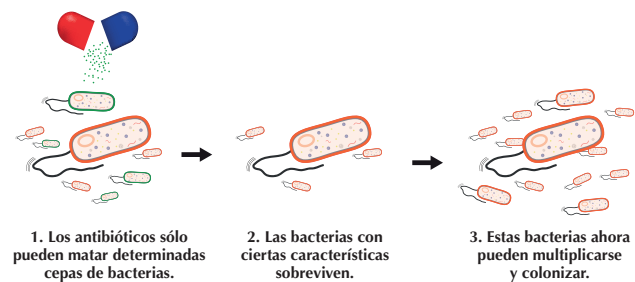
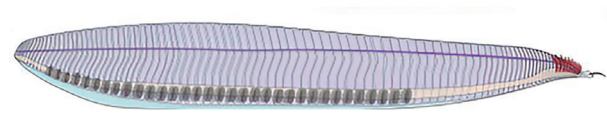


Figura 15.2 Ciertas bacterias tienen una resistencia natural hacia antibióticos que les permite sobrevivir y pasan esta información a su descendencia.

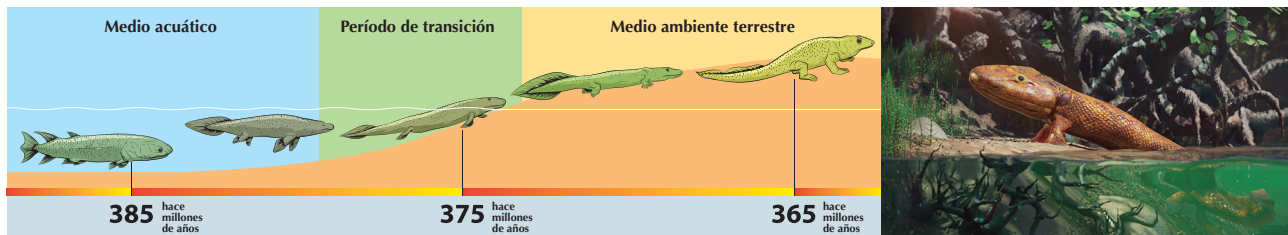
## Progresión 15. Modelo de selección natural y radiación adaptativa

La evolución de los vertebrados es un claro ejemplo de **macroevolución**. Originados hace más de **500 millones de años**, tienen sus raíces en los primeros cordados, como **Pikaia gracilens** (fig. 15.3), un organismo del período Cámbrico que poseía una notocorda pero carecía de una columna vertebral. Con el tiempo, surgieron los primeros vertebrados verdaderos y, más tarde, organismos como **Tiktaalik roseae**, un pez del Devónico que representa un importante paso hacia los tetrápodos. **Tiktaalik** (fig. 15.4) presentaba aletas lobuladas con estructuras óseas similares a extremidades, un cuello móvil y pulmones primitivos, adaptaciones que permitieron la transición a la vida terrestre.



**Figura 15.3** Se estima que Pikaia sería un ancestro común de cordados, se estima mediante el fósil encontrado que existió hace 520 millones de años, durante el período Cámbrico Medio.

A lo largo de millones de años, los vertebrados se diversificaron en peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Este proceso incluyó el desarrollo de sistemas complejos, como pulmones funcionales y corazones avanzados, que facilitaron su éxito en diversos ambientes. Estas transformaciones reflejan la acumulación de **cambios microevolutivos** bajo presiones selectivas específicas, que, extendidos en el tiempo, dieron lugar a la diversidad de formas y funciones observadas en la **macroevolución**.



**Figura 15.4** Transición evolutiva de los peces sarcopterigios a los primeros tetrápodos, destacando a Tiktaalik roseae, un fósil del período Devónico Tardío (hace aproximadamente 375 millones de años).

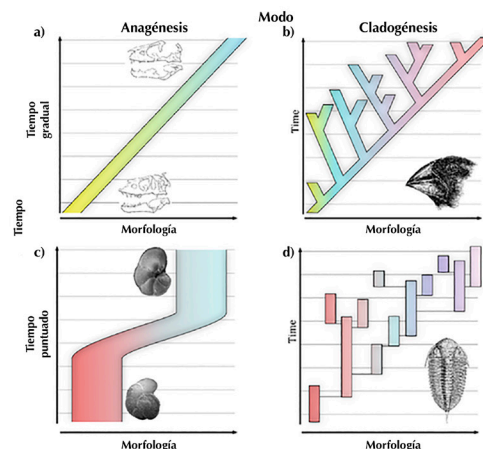
## Modelos y patrones de Macroevolución

La **macroevolución** describe los grandes cambios evolutivos que ocurren a lo largo de millones de años, transformando grupos taxonómicos enteros y moldeando la biodiversidad global. Dentro de este marco, los **modelos evolutivos** explican los ritmos de cambio, mientras que los **procesos evolutivos** describen las transformaciones que ocurren dentro de los linajes. Ambos conceptos son esenciales para entender cómo la evolución ha dado forma a la diversidad de la vida, permitiéndonos analizar tanto las transformaciones graduales como los eventos de diversificación abrupta.

### Gradualismo vs. Equilibrio puntuado

Entre los principales modelos evolutivos se encuentran el **gradualismo** y el **equilibrio puntuado** (fig. 15.5), que ofrecen visiones complementarias sobre la velocidad y naturaleza de los cambios evolutivos.

**Gradualismo:** Uno de los modelos más conocidos, sostiene que los cambios evolutivos ocurren de forma lenta, continua y acumulativa, a lo largo de extensos periodos geológicos. Según este modelo, las



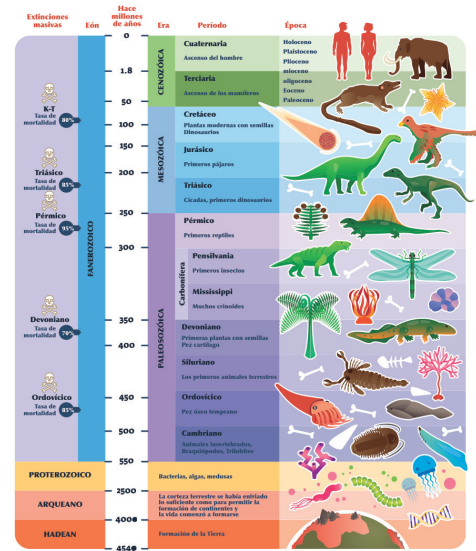
**Figura 15.5** Representación de anagénesis y cladogénesis bajo los modelos de gradualismo (a, b) y equilibrio puntuado (c, d). Se ilustra cómo el tiempo y los cambios morfológicos afectan la transformación y diversificación de los linajes.



transiciones entre especies no son abruptas, sino el resultado de pequeñas modificaciones que se acumulan progresivamente dentro de las poblaciones. Este modelo, defendido por Charles Darwin, describe un patrón de cambio evolutivo constante y prolongado, generalmente asociado al proceso conocido como **anagénesis**, en el cual una especie completa se transforma gradualmente en una nueva, haciendo que la especie original desaparezca.

- Equilibrio Puntuado:** En contraste, este modelo fue propuesto por Niles Eldredge y Stephen Jay Gould, describe un modelo alternativo en el que la evolución no es siempre lenta y continua. Este modelo plantea que los linajes pasan por largos periodos de estabilidad o **estasis**, en los que las especies permanecen casi sin cambios, interrumpidos por episodios breves de cambios rápidos y significativos, conocidos como **puntuaciones**. Estos cambios suelen estar asociados con eventos de especiación, en los que una población ancestral se divide para formar nuevas especies. Este patrón está relacionado con la **cladogénesis**, un proceso que incrementa la diversidad biológica al generar linajes nuevos que pueden coexistir con la especie original.
- Este tipo de patrón está vinculado a eventos como las **extinciones masivas**, que eliminan grandes cantidades de especies y liberan nichos ecológicos. En la historia de la Tierra se han estudiado 5 (fig. 15.6). Tras una extinción masiva, puede desencadenarse una **radiación adaptativa**, en la cual un grupo de organismos se diversifica rápidamente para ocupar los nichos vacantes.

## Línea del tiempo geológica



**Figura 15.6** Después de cada extinción masiva se tiene registro fósil de generación de nuevas especies, permitiendo que después de la última, los mamíferos tuvieran radiación adaptativa.



### Elaborar

Comparar gradualismo y equilibrio puntuado con ejemplos históricos. Los estudiantes deberán buscar imágenes (fósiles y actuales) e información de una o dos especies para determinar si han evolucionado por alguno de los dos modelos, o una combinación de ambos.



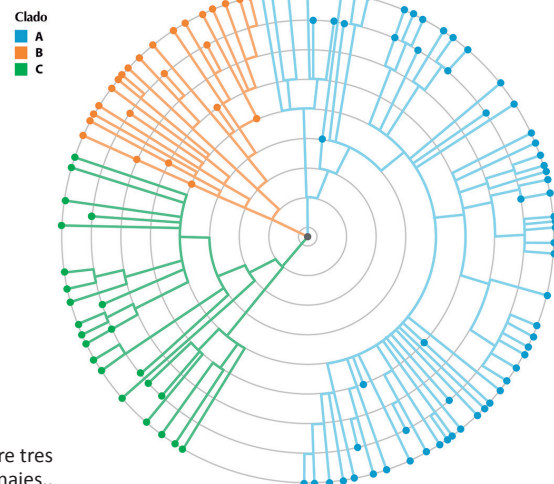
### Explicar

## Filogenias: relaciones evolutivas

### Filogenias y árboles evolutivos

La **filogenia** (del griego *phýlon*, tribu o grupo y *genéa*, origen o linaje) estudia las relaciones evolutivas entre organismos, mostrando cómo se diversificaron a lo largo del tiempo y cómo comparten **ancestros comunes**. Estas relaciones se representan mediante **árboles filogenéticos** o **cladogramas** (fig. 15.7), diagramas que ilustran la conexión entre especies, los eventos evolutivos que llevaron a su divergencia y el tiempo transcurrido desde que compartieron un ancestro común.

**Figura 15.7** Árbol filogenético circular que representa las relaciones evolutivas entre tres clados principales (A, B, C), mostrando la diversidad y las conexiones entre los linajes.





Un aspecto para considerar en la construcción de filogenias es la **tasa evolutiva**, que mide la velocidad a la que las poblaciones adquieren mutaciones que se fijan en su ADN y que las diferencian de otras especies. La velocidad de la evolución depende de factores como las presiones selectivas y los mecanismos microevolutivos, pero también de patrones macroevolutivos, como las extinciones y la radiación adaptativa. Por ejemplo, organismos sometidos a ambientes extremos o cambios repentinos pueden tener una mayor tasa evolutiva, ya que requieren adaptaciones rápidas. Sin embargo, ciertos genes altamente conservados, como los relacionados con la síntesis de ribosomas, cambian muy poco a lo largo del tiempo, lo que permite su uso para establecer relaciones filogenéticas precisas. Otras herramientas útiles son el análisis del **ADN mitocondrial**, que permite estudiar linajes evolutivos con gran detalle.

Los árboles filogenéticos permiten clasificar cierto número de organismos de interés, y también ayudan a entender cómo y por qué ciertos grupos o clados han experimentado una rápida diversificación, mientras otros han permanecido más estables.

### Elementos de un árbol filogenético

Los **árboles filogenéticos** o **cladogramas** son diagramas que representan las relaciones evolutivas entre diferentes especies, organismos o genes, trazando su origen a un **ancestro común o población ancestral**. Permiten organizar el conocimiento sobre la **diversidad biológica** (biodiversidad), estructurar clasificaciones y proporcionar explicaciones sobre los eventos evolutivos que moldearon la historia de la vida en la Tierra.

Un árbol filogenético está compuesto por ciertos elementos básicos (fig. 15.8):

- **Raíz:** Punto inicial del árbol filogenético que representa el **ancestro común más antiguo** (organismo hipotético o real) de todos los linajes incluidos. Marca el origen del árbol y conecta todos los nodos y ramas.
- **Nodos:** Puntos donde una población ancestral se divide en dos o más linajes, marcando eventos de especiación.
- **Ramas:** Representan las trayectorias evolutivas de las especies o linajes desde el ancestro común hacia los linajes actuales.
- **Clados:** Grupos que contienen un ancestro común y todos sus descendientes, vivos o extintos, conocidos también como grupos monofiléticos.
- **Taxones terminales:** Colocados en el extremo de las ramas, representan a los **organismos o grupos actuales** que descienden del linaje estudiado.
- **Eje de tiempo:** Algunos cladogramas lo incluyen en la base o a lo largo de las ramas, indicando las eras geológicas o los millones de años desde las divergencias evolutivas.

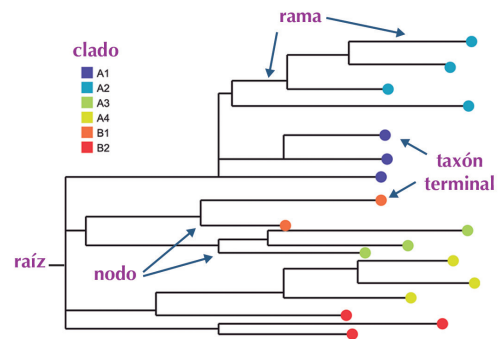


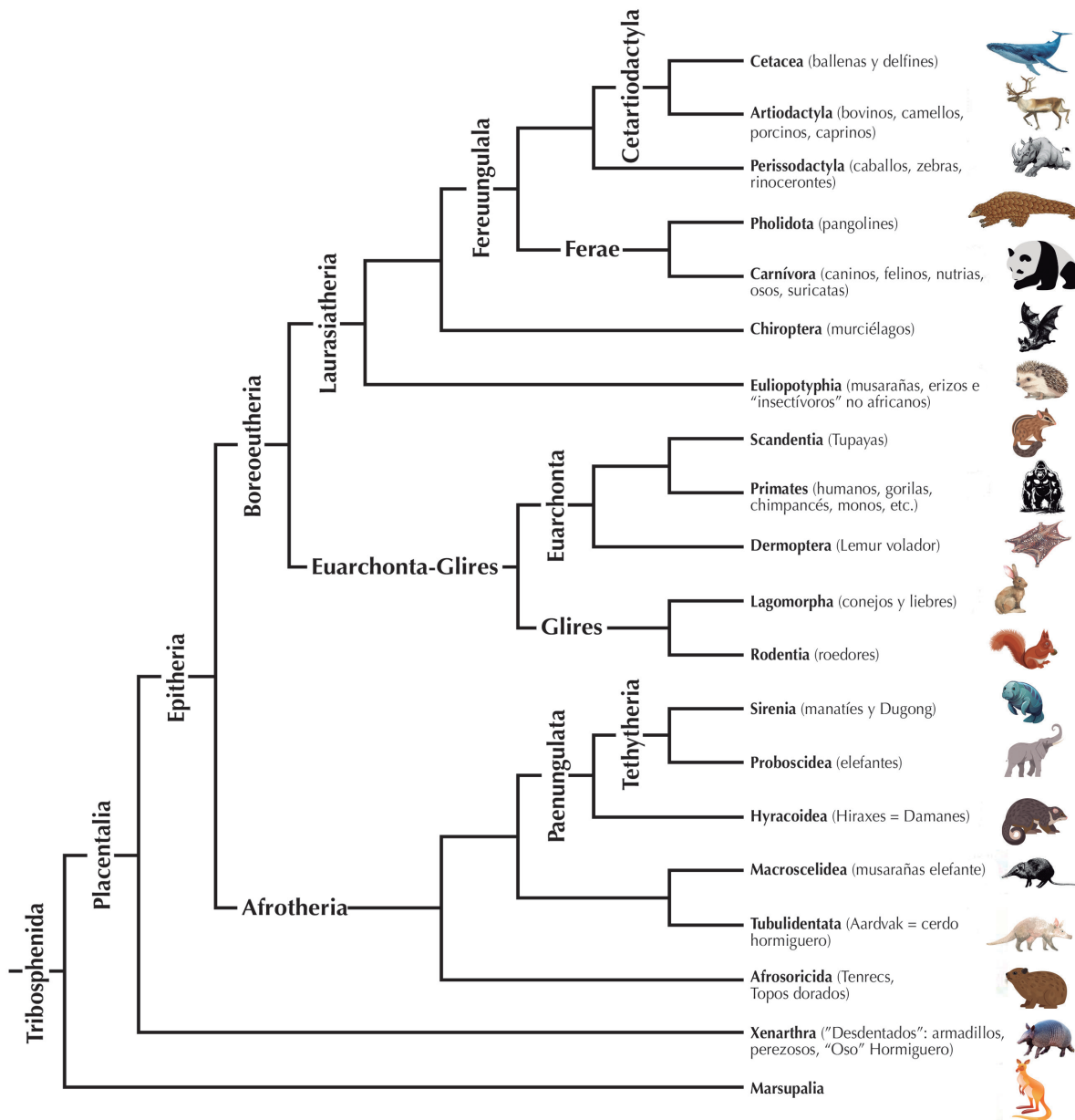
Figura 15.8 Representación de un cladograma con sus partes.

### Cómo leer y elaborar un árbol filogenético

Estos diagramas son un conjunto de líneas conectadas, que pueden presentarse de diferente manera, como líneas perpendiculares, paralelas o en curvas (fig. 15.7 y 8). En la base se encuentra la **raíz** (común más antiguo). Desde esta raíz surge una línea principal de la que parten **ramas**, que muestran cómo los linajes se diversificaron. Los puntos donde estas ramas se dividen, llamados **nodos**, se indican los momentos de especiación, cuando un linaje ancestral dio lugar a otros nuevos. Cada rama termina en un **taxón terminal**, que corresponde a una especie o grupo actual. Estas divisiones se agrupan en **clados**, que incluyen al ancestro común y todos sus descendientes, vivos o extintos.

La información que podemos obtener de un árbol filogenético, en general representa la evolución de ciertos organismos, por ejemplo, todos los **mamíferos** (fig. 15.9), desde su ancestro común hasta los grupos actuales: **monotremas**, **marsupiales** y **placentarios**. El árbol debe mostrar cómo los mamíferos se diversificaron en respuesta a cambios ambientales, aislamiento geográfico y adaptación a nichos específicos, desde el origen de su ancestro común hace aproximadamente 200 millones de años hasta la increíble diversidad actual.

- Los **monotremas**, como ornitorrincos y equidnas:
  - Conservan rasgos primitivos, como la **puesta de huevos** en lugar de dar a luz crías vivas.
  - Las crías se alimentan de leche, pero carecen de pezones; la leche es secretada a través de glándulas en la piel.
  - Poseen un **cloaca**, una abertura única para la excreción y reproducción, similar a los reptiles.
  - Se encuentran restringidos principalmente a **Oceanía**, especialmente en Australia y Nueva Guinea.



**Figura 15.9** Relaciones evolutivas de los mamíferos placentarios y marsupiales, excluyendo a los monotremas (*Ornithorhynchidae* y *Tachyglossidae*). Basado en datos de múltiples fuentes (24, 47-50). Figura de Juan-Fernando Duque-Osorio.

- Los **marsupiales**, como canguros, koalas, wombats y zarigüeyas:
  - Dan a luz crías en etapas tempranas de desarrollo, que luego se desarrollan dentro de una **bolsa marsupial** o marsupio, donde se alimentan de leche.
  - Se han diversificado en una amplia variedad de nichos ecológicos, desde animales arborícolas como los koalas hasta corredores veloces como los canguros.
  - Su distribución principal está en **Oceanía**, pero algunos, como las zarigüeyas, habitan en **Sudamérica**.
  - Muchos presentan adaptaciones especializadas a sus entornos, como extremidades fuertes para el salto en canguros o garras para trepar en zarigüeyas.
- Los **placentarios**, que incluyen una gran diversidad de mamíferos como carnívoros (tigres, leones), cetáceos (ballenas, delfines), primates (monos, humanos), roedores (ratones, ardillas), herbívoros (elefantes, jirafas) y quirópteros (murciélagos):
  - **Presencia de placenta avanzada:** Todos los placentarios tienen una placenta eficiente que permite gestación prolongada y crías más desarrolladas al nacer.
  - **Locomoción y medio de vida:** Los cetáceos, como ballenas y delfines, están adaptados al medio acuático, con cuerpos hidrodinámicos y extremidades transformadas en aletas. Los quirópteros (murciélagos) son los únicos mamíferos voladores, con alas formadas por membranas entre sus dedos. Terrestres como ungulados (caballos, vacas) y carnívoros (tigres, lobos) presentan extremidades adaptadas a su entorno.
  - **Dieta y dientes especializados:** Los herbívoros (elefantes, jirafas) tienen dientes planos para moler plantas; los carnívoros poseen colmillos y dientes carnasiales para desgarrar carne; los omnívoros (humanos, cerdos) tienen dentaduras versátiles; y los insectívoros, dientes pequeños y puntiagudos para capturar presas pequeñas.

Distribución y adaptación: Los afroterios (elefantes, manatíes) se originaron en África y muestran una amplia diversidad de formas. Los xenartros (perezosos, armadillos) son exclusivos de América, con adaptaciones únicas como garras fuertes y modificaciones en la columna.

Otro ejemplo sería para analizar la evolución de las **plantas con semilla (espermatofitas)**, desde un ancestro común que existió hace más de **300 millones de años** (fig. 15.10). Este grupo se divide en dos grandes linajes: las **gimnospermas** y las **angiospermas**, que a lo largo de millones de años han desarrollado adaptaciones que les permitieron diversificarse y dominar los ecosistemas terrestres.

Las **gimnospermas**, que aparecieron aproximadamente hace **250 millones de años**, incluyen plantas con semillas desnudas, sin frutos que las recubran. Dentro de este grupo se encuentran las cícadas, el *Ginkgo biloba* (único representante vivo de su linaje), las coníferas como los pinos y abetos, y las gnetales, que incluyen géneros como *Ephedra* y *Welwitschia*. Estas plantas dominaron los paisajes terrestres durante el Mesozoico antes de ser desplazadas en diversidad por las angiospermas.

Por su parte, las **angiospermas** surgieron hace aproximadamente **160 millones de años** y representan el grupo de plantas más diverso en la actualidad. Estas plantas introdujeron características innovadoras, como las flores, que permitieron una polinización más eficiente mediante interacciones con animales, y los frutos, que facilitaron la dispersión de semillas. Dentro de las angiospermas, los linajes principales incluyen a las **monocotiledóneas**, que poseen un solo cotiledón en sus semillas y abarcan plantas como los pastos, las palmeras y los lirios, adaptadas especialmente a ambientes cálidos y abiertos. Otro grupo importante son las **eudicotiledóneas**, que se dividen en clados como las **fábitas**, que incluyen leguminosas y árboles frutales, y las **málvidas**, con cultivos como el algodón y el cacao. También destacan las **rósidas** y las **astéridas**, que incluyen una amplia gama de plantas ornamentales y agrícolas.

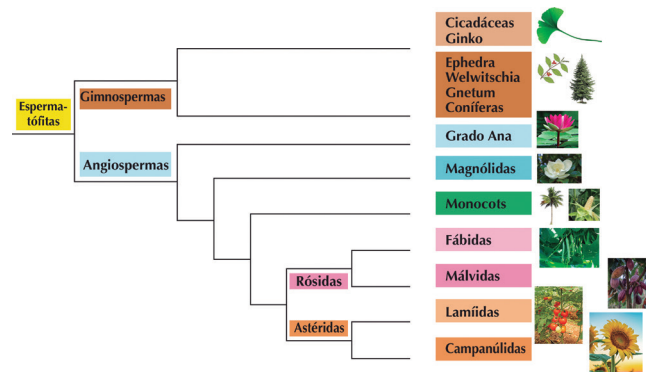


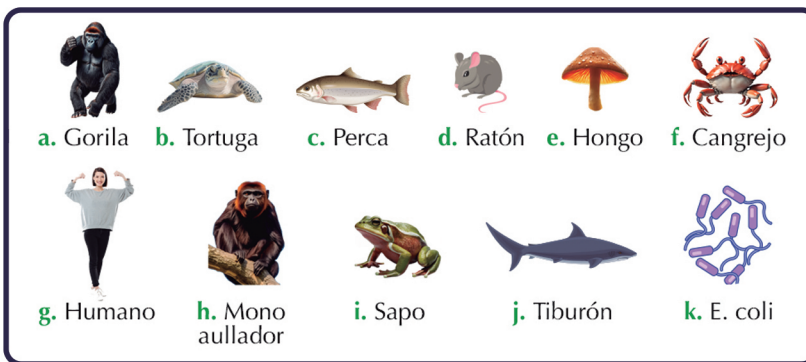
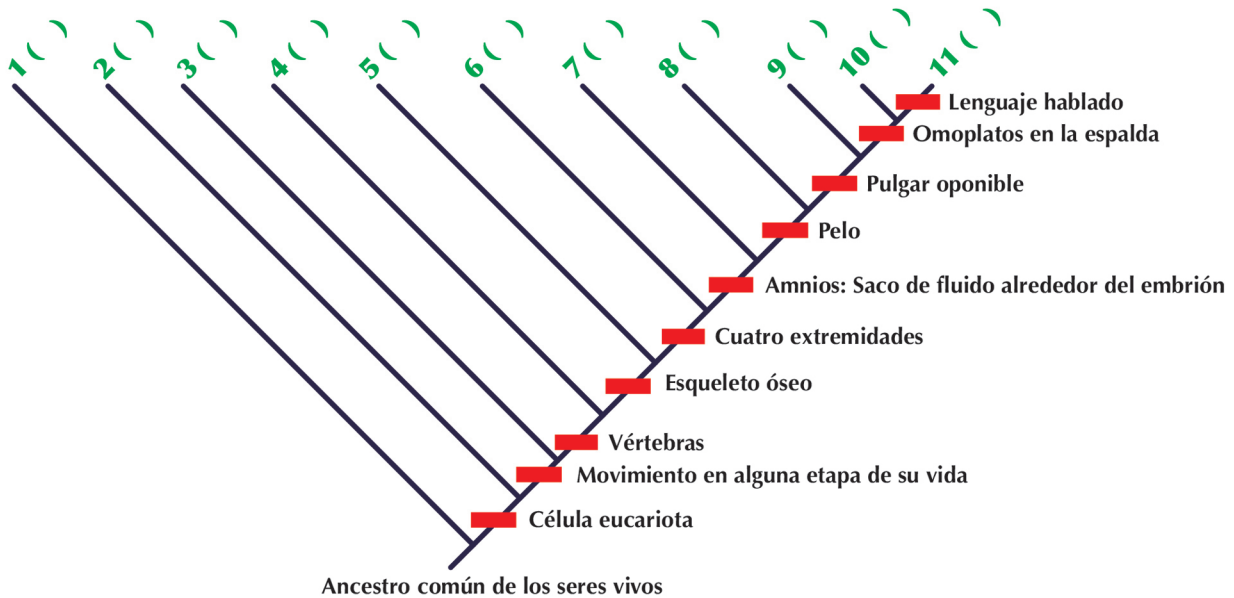
Figura 15.10 Árbol filogenético de espermatofitas, destacando gimnospermas y angiospermas.





Elaborar

Para completar el árbol filogenético, relaciona cada organismo con el extremo de la rama que corresponda según las características de los nodos, avanzando desde la base hacia las ramas más derivadas. Asegúrate de asignar cada organismo al taxón terminal adecuado según su posición evolutiva en el árbol.



Explicar

Evolución humana

La evolución humana, como parte de la **macroevolución**, abarca un periodo de aproximadamente **7 millones de años** desde el ancestro común que compartimos con los chimpancés hasta el humano actual. Durante este tiempo, los linajes de primates, antropoides y homínidos han experimentado procesos tanto de **gradualismo** como de **equilibrio intermitente**. Mientras algunos cambios, como la bipedestación, ocurrieron de manera gradual a lo largo de millones de años, otros, como la rápida diversificación de homínidos en respuesta a fluctuaciones climáticas, reflejan periodos de evolución acelerada. Este proceso no fue lineal ni uniforme, sino un mosaico de adaptaciones y extinciones, donde el uso de herramientas y el desarrollo del lenguaje marcaron el camino hacia *Homo sapiens*.

## Evolución de los primates

La evolución de los primates ha estado marcada por adaptaciones clave a la vida arbórea, lo que permitió el desarrollo de características como manos prensiles, visión binocular y cerebros más grandes. El ser humano pertenece al **orden de los primates**, incluido dentro de la **clase Mammalia**. Actualmente, los primates se dividen en dos grandes grupos: los **prosimios** o primates inferiores, y los **antropoides** o primates superiores, donde se encuentra el ser humano.

Los **prosimios** son primates más pequeños y primitivos que los antropoides. Son animales arborícolas de tamaño pequeño o mediano, con hábitos nocturnos y adaptaciones específicas para trepar. Su dieta es variada, incluyendo insectos, frutos, flores y hojas. Un ejemplo representativo de este grupo son los lémures (fig. 15.11).



Figura 15.11 Familia de lémures.

## Evolución de los antropoides

El grupo de los antropoides incluye a los monos, los antropomorfos y los humanos. En comparación con los prosimios, los monos son generalmente más grandes y muestran un mayor grado de organización social. En sus grupos, las hembras cuidan y protegen a sus crías, mientras que los machos tienden a proteger al grupo en su conjunto. En general, los **antropomorfos** son más grandes que los monos, tanto en tamaño corporal como en capacidad cerebral, lo que les permite desarrollar habilidades sociales más avanzadas. Tanto los antropomorfos como los humanos pertenecen a la superfamilia de los **hominoides**, un grupo que se caracteriza por la ausencia de cola, una postura más erecta y un alto grado de desarrollo cognitivo.

Los monos se dividen en dos grupos principales:

1. **Platirrinos:** También conocidos como monos de nariz ancha, habitan principalmente en América y tienen colas prensiles en muchas especies.
2. **Catarrinos:** Son monos de nariz hacia abajo, presentes en África y Asia. Incluyen tanto a los monos del Viejo Mundo como a los antropomorfos.

Los antropomorfos actuales incluyen cuatro géneros (fig. 15.12):

- **Hylobates (gibones):** Primates ágiles adaptados a la vida arbórea.
- **Pongo (orangutanes):** Arborícolas grandes que habitan en las selvas de Asia.
- **Pan (chimpancés):** Nuestros parientes más cercanos, con una gran inteligencia y comportamientos sociales complejos.
- **Gorilla (gorilas):** Los primates más grandes, adaptados a una vida principalmente terrestre en África.



Figura 15.12 Antropoides: gorila, gibón, orangután, chimpancé

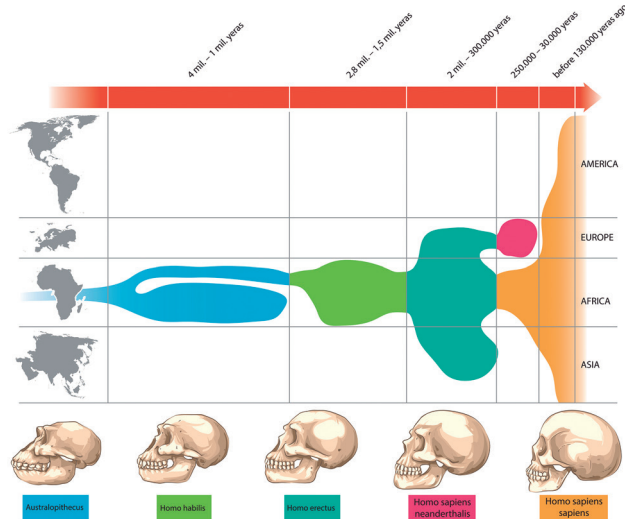
## Evolución de los homínidos

Aunque los **homínidos** (fig. 15.13) son un grupo dentro de los **antropoides** y, por ende, de los **primates**, se distinguen por un conjunto de características evolutivas únicas que los separan de otros linajes como los monos y grandes simios. Entre los rasgos distintivos de los homínidos destaca la **bipedestación**, que apareció por primera vez en *Australopithecus* y permitió liberar las manos para manipular objetos y fabricar herramientas. El **aumento progresivo del tamaño cerebral**, desde **350-450 cm<sup>3</sup>** en *Australopithecus* hasta **1,450 cm<sup>3</sup>** en *Homo sapiens* y *Homo neanderthalensis*, fue otro factor que permitió comportamientos sociales más complejos y el desarrollo de herramientas especializadas.

## Herencia y Evolución Biológica

La **evolución de los homínidos** comenzó con la divergencia del linaje común con los chimpancés hace aproximadamente **6-7 millones de años**, permitiendo el origen a características únicas dentro de este grupo, como adaptaciones relacionadas con la locomoción terrestre, la manipulación de objetos y cambios importantes en el comportamiento social. De acuerdo con las evidencias actuales, los primeros homínidos evolucionaron en África, y su historia se caracteriza por un desarrollo progresivo que llevó a la aparición de géneros importantes como *Sahelanthropus*, *Orrorin*, *Ardipithecus*, *Australopithecus* y, posteriormente, *Homo*.

- El género *Sahelanthropus*, que vivió hace aproximadamente **7 millones de años**, se descubrió en **Chad**, en el centro de **África**. Su fósil más famoso, "**Toumai**", sugiere características como un **foramen magnum** orientado hacia abajo, lo que indica **bipedestación parcial**.
- *Orrorin tugenensis*, de hace **6 millones de años**, fue encontrado en la región de los **Montes Tugen**, en **Kenia**. Sus fósiles muestran adaptaciones en el **fémur** para caminar erguido, lo que sugiere un importante paso hacia la **locomoción bípeda**.
- Posteriormente, *Ardipithecus*, que vivió entre **5.8 y 4.4 millones de años atrás**, fue descubierto en **Etiopía**, en el sitio de **Aramis**, dentro del **Valle del Rift**. *Ardipithecus ramidus*, conocido como "**Ardi**", muestra evidencia de **bipedestación**, pero aún conservaba pies adaptados para trepar, indicando un estilo de vida mixto entre los **árboles** y el **suelo**.
- El género *Australopithecus*, que existió entre **4 y 2 millones de años atrás**, incluye especies encontradas en diversas regiones del este y sur de **África**. Los **Australopithecus gráciles**, como *A. anamensis* y *A. afarensis* (famoso por el fósil "**Lucy**", hallado en **Hadar, Etiopía**), eran **bípedos eficientes** y vivían en ambientes de **savana**. Los **Australopithecus robustos**, como *A. robustus* y *A. boisei*, fueron hallados en sitios como **Olduvai Gorge en Tanzania** y **Swartkrans en Sudáfrica**. Estos últimos desarrollaron adaptaciones para una **dieta dura**, incluyendo mandíbulas fuertes y grandes molares. Ambos linajes coexistieron y forman la base del árbol evolutivo que dio origen al género *Homo*.



**Fig. 15.13** Representa la expansión de *Australopithecus*, *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* y *Homo sapiens* en diferentes regiones del mundo a lo largo de millones de años.

## Género Homo

Con la aparición del **género Homo**, se transformó la historia evolutiva de los homínidos.

Especie	Rango temporal (años)	Identificación de fósiles	Características distintivas
<i>Homo habilis</i>	2.4 - 1.5 millones	<b>Olduvai Gorge</b> , Tanzania; <b>África Oriental</b>	Primer fabricante de herramientas de piedra ( <i>industria Olduvayense</i> ), marcando un avance en el uso de recursos.
<i>Homo rudolfensis</i>	2.1 - 1.8 millones	<b>Lago Turkana</b> , Kenia	Mayor capacidad craneal ( <b>750 cm<sup>3</sup></b> ) y rostro más plano en comparación con <i>H. habilis</i> .
<i>Homo erectus</i>	1.9 millones - 110,000	<b>África, Asia</b> (Java, Zhoukoudian), <b>Europa</b> (Dmanisi)	Primer homínido en migrar fuera de África; control del fuego; capacidad craneal de <b>700-1,100 cm<sup>3</sup></b> .
<i>Homo antecessor</i>	1.2 millones - 800,000	<b>Europa</b> (Atapuerca, España)	Considerado uno de los primeros homínidos en Europa; mostró una combinación de rasgos modernos y arcaicos; posible ancestro de <i>H. heidelbergensis</i> .
<i>Homo heidelbergensis</i>	600,000 - 200,000	<b>Europa</b> (Mauer, Alemania); <b>África, Asia</b>	Ancestro común de <i>H. sapiens</i> y <i>H. neanderthalensis</i> ; herramientas avanzadas ( <i>industria Acheulense</i> ).
<i>Homo naledi</i>	335,000 - 236,000	<b>Sudáfrica</b> (Cueva de Rising Star)	Mezcla de rasgos arcaicos y modernos; capacidad craneal <b>465-610 cm<sup>3</sup></b> ; manos y pies adaptados para trepar y caminar.
<i>Homo juluensis</i>	300,000	<b>Henan, China</b>	Combinación de características arcaicas y modernas; gran variabilidad anatómica adaptada al este de Asia.
<i>Homo floresiensis</i>	190,000 - 50,000	<b>Flores, Indonesia</b> (Cueva de Liang Bua)	Diminuto tamaño ( <b>1 metro</b> ); adaptación a recursos limitados por <b>enanismo insular</b> ; conocido como "hobbit".
<i>Homo neanderthalensis</i>	400,000 - 40,000	<b>Europa, Asia</b> (La Chapelle-aux-Saints, Shanidar)	Adaptado a climas fríos; complexión robusta, uso de herramientas ( <i>industria Musteriense</i> ); prácticas culturales.



## Humanos modernos

*Homo sapiens*, la única especie actual del género *Homo*, surgió hace aproximadamente **200,000 años en África**, marcando un hito en la evolución de los homínidos gracias a su capacidad para desarrollar **tecnología avanzada, lenguaje simbólico y organización social compleja**. Los primeros fósiles de *H. sapiens*, hallados en **Jebel Irhoud, Marruecos**, presentan características distintivas como un **cráneo redondeado**, frente alta y un cerebro promedio de **1,350 cm<sup>3</sup>**.

Cuando la especie emergió, el clima estaba marcado por fluctuaciones entre **periodos húmedos y secos** durante el **Pleistoceno tardío**. En África, el entorno incluía extensas **sabanas**, bosques dispersos y lagos efímeros que se formaban y desaparecían según las condiciones climáticas. Estas fluctuaciones climáticas impulsaron la **movilidad y adaptabilidad** de *H. sapiens*, al obligarlo a desarrollar estrategias para sobrevivir en hábitats cambiantes, aprovechar nuevos recursos y buscar refugio en zonas más favorables.

La subespecie *Homo sapiens sapiens*, que incluye a los humanos modernos, apareció hace unos **120,000 años** y se dispersó globalmente. Habitó diversos ecosistemas, desde **sabanas africanas** hasta **tundras y bosques** en **Europa, Asia y América**, mostrando una notable capacidad de adaptación mediante la **fabricación de herramientas especializadas**, el desarrollo de **arte rupestre** y la **domesticación de animales**. Los registros indican una dispersión temprana fuera de África hacia el **Medio Oriente** hace **100,000 años**, **Asia** hace **70,000 años**, **Europa** hace **45,000 años** y **América** hace **15,000 años**.

La interacción de *H. sapiens* con otros homínidos, como los **neandertales**, resultó en una **hibridación** que dejó rastros de **ADN neandertal** en las poblaciones modernas no africanas. Esta mezcla genética, junto con su capacidad de innovación cultural, permitió a *H. sapiens* superar desafíos ambientales y convertirse en la especie dominante en el planeta.

La evolución de los humanos actuales no ha sido un proceso lineal ni simple; no descendemos directamente de los monos, como se malinterpretó y ridiculizó en los tiempos de Darwin, sino que compartimos un **ancestro común** con ellos hace millones de años. Este ancestro dio origen a múltiples linajes de homínidos, de los cuales *Homo sapiens* es el único sobreviviente.

La coexistencia de varias especies de homínidos demuestra que la evolución ofreció múltiples posibilidades, y nuestra existencia es el resultado de una compleja interacción de **adaptaciones exitosas** y **condiciones ambientales favorables**, que permitieron que *H. sapiens* prosperara mientras otras especies desaparecieron. Nuestra historia, como humanos, es un delicado equilibrio de azar y evolución, en el que fácilmente podríamos no haber existido.



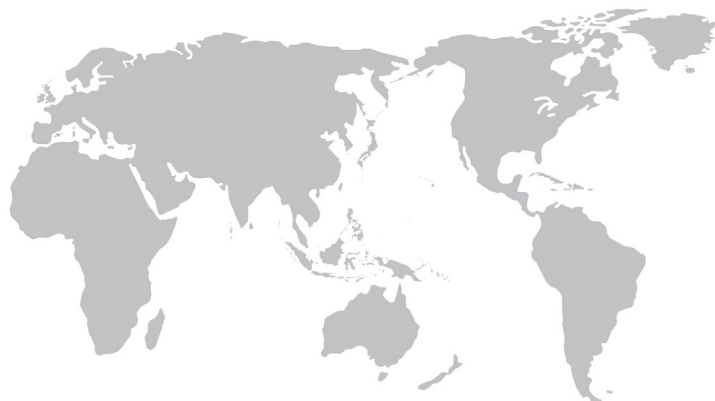
QR página web

Artículo. <https://www.nature.com/articles/s41559-024-02390-z/figures/1>



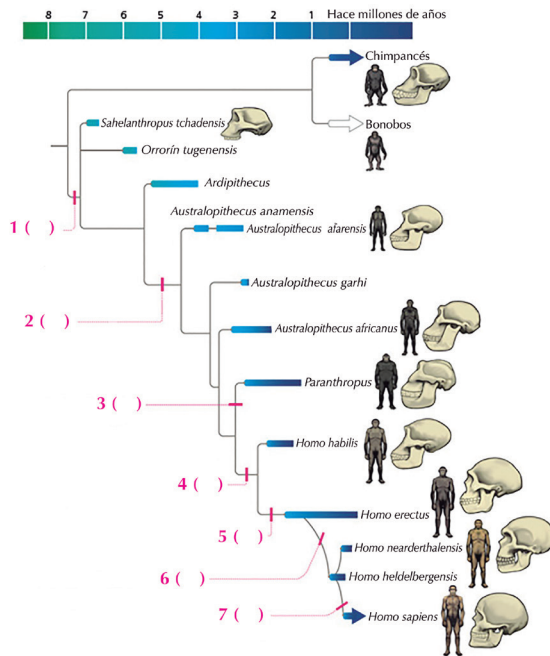
## Elaborar

1. Con base en los datos del género *Homo*, identifica en el mapa los lugares de identificación de fósiles, agregar el nombre de la especie y fechas aproximadas, así como flechas de rutas de migración, en caso de haber.



2. Construcción de un árbol filogenético:

- Organizar características evolutivas en el árbol, que permitieron la diversificación (nodos). Relaciona las características en el nodo que corresponda.



**Características**

- Caminar erguido (bípedo), dientes caninos más pequeños
- Dientes molares grandes y mandíbulas más fuertes.
- Mandíbulas y músculos de masticación masivos, adaptaciones para una dieta dura.
- Cerebro más grande (600 cc), rostro más vertical, dedos con capacidad de agarre de precisión. Capacidad para hacer herramientas simples de piedra para procesar alimentos, incluida la carne.
- Mandíbulas y dientes más pequeños, piernas largas y pies arqueados adecuados para caminar y correr largas distancias, cerebro más grande (650-1200 cc).
- Cerebros sofisticados, herramientas de piedra avanzadas, caza organizada, aumento del tamaño del cerebro.
- Cerebro grande (1400 cc), rostro pequeño bajo la bóveda craneal redondeada, capacidad para el arte, pensamiento simbólico y lenguaje completamente desarrollado.

<https://evolution.berkeley.edu/what-are-evograms/the-emergence-of-humans/>



**Explicar**

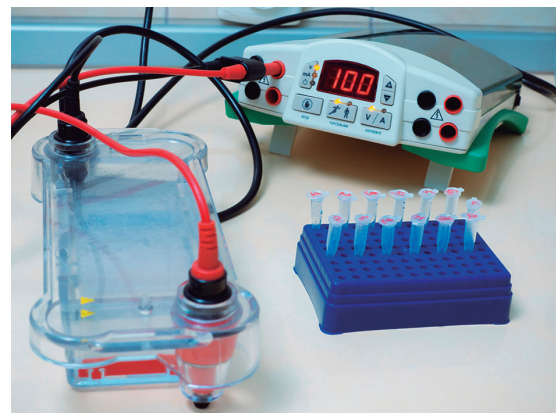
**Técnicas actuales para el estudio de las relaciones evolutivas**

**Técnicas modernas en filogenia**

Con los avances tecnológicos en biología molecular y bioinformática, se han desarrollado herramientas innovadoras que permiten analizar las relaciones evolutivas con mayor precisión. Estas técnicas modernas han revolucionado el estudio de la filogenia, proporcionando datos más detallados sobre los linajes y los procesos que han dado forma a la biodiversidad actual.

**Análisis molecular**

El análisis molecular utiliza las secuencias de ADN (fig. 15.14) y proteínas para explorar las relaciones evolutivas entre especies. El **ADN mitocondrial**, en particular, es valioso debido a su herencia materna y su ritmo de mutación relativamente constante, lo que lo convierte en un marcador confiable para estudios filogenéticos. Además, el acceso a **genomas completos** permite construir árboles filogenéticos detallados, identificando similitudes y diferencias en los genomas para reconstruir linajes evolutivos



**Fig. 15.14** La electroforesis para análisis de ADN separa fragmentos de ADN según su tamaño mediante la aplicación de un campo eléctrico en un gel.

con precisión sin precedentes.

## Modelos computacionales y bioinformática

La bioinformática, combinada con modelos computacionales, permite realizar **simulaciones de evolución** que recrean los posibles cambios en las especies a lo largo del tiempo. Estas herramientas también se usan para realizar **análisis estadísticos** avanzados, determinando probabilidades de eventos evolutivos y estimando tiempos de divergencia entre especies. La integración de datos genómicos y modelos matemáticos mejora significativamente nuestra capacidad de comprender procesos complejos como la especiación y la radiación adaptativa.

## Aplicaciones de estas técnicas

El uso combinado de análisis molecular y bioinformática ha permitido resolver preguntas fundamentales de evolución, ayudándonos a ampliar el conocimiento en cuestiones como en historia natural, conservación, biomedicina y estudios de biodiversidad global. Aquí unos ejemplos:

Campo	Ejemplo	Descripción
Historia natural	Reconstrucción de linajes extintos:	Estudios de ADN fósil de especies como los denisovanos revelan su relación con otras especies y reconstruyen eventos evolutivos.
	Evolución de especies endémicas:	Uso de marcadores moleculares para entender el origen y diversificación de especies únicas, como los pinzones de Darwin en Galápagos.
	Eventos de especiación y extinción:	Análisis genético combinado con registros fósiles para rastrear eventos de especiación o extinción, como en grandes mamíferos del Pleistoceno.
Conservación	Identificación de especies mediante ADN ambiental (eDNA):	Permite detectar especies en ecosistemas usando muestras de agua, suelo o aire, por ejemplo, rastrear anfibios en peligro sin capturarlos.
	Estudios de conectividad genética:	Evalúa la diversidad genética en poblaciones aisladas para diseñar programas de manejo y cría en cautiverio, como en pandas y tigres.
	Seguimiento de especies invasoras:	Rastrear y controlar invasoras como el mejillón cebra mediante marcadores genéticos.
Medicina	Reconstrucción de enfermedades antiguas:	Estudio de ADN fósil de patógenos como la peste bubónica para comprender su evolución y mutaciones.
	Terapias personalizadas:	Variantes genéticas de humanos y neandertales informan el diseño de medicamentos específicos.
	Resistencia genética a enfermedades:	Análisis de genes en osos polares revela resistencia cardiovascular, útil para tratar enfermedades humanas.
Biodiversidad global	Mapeo filogenético global:	Construcción de árboles filogenéticos con ADN completo para estudiar la radiación adaptativa de los mamíferos tras la extinción de dinosaurios.
	Detección de crímenes ambientales:	Análisis de ADN en colmillos de elefantes rastrea su origen geográfico, combatiendo la caza furtiva.
	Estudio de microbiota global:	Análisis de ADN de microorganismos ayuda a comprender su rol en ecosistemas, desde suelos hasta océanos.



### Momento 3



#### Evaluar

### Determinación de relaciones evolutivas utilizando hemoglobina beta (HBB)

En esta actividad, se trabajará por equipos para relacionar especies a través del análisis de secuencias de la proteína HBB y construir un árbol filogenético basado en las similitudes y diferencias encontradas.

**Problema:** ¿Puede la secuencia de una proteína ser utilizada para determinar relaciones evolutivas entre diferentes especies?

#### Hipótesis:

**Materiales:** secuencias de HBB impresas para diferentes especies: humano, caballo, mono capuchino, rana, pollo, gorila, tortuga marina. Opcional, pueden utilizar otras especies (pueden buscar más secuencias en UniProt). Tijeras y cinta (fácil de pegar/ despegar) para colocar y mover en el pintarrón o en la pared, cuidando de no dañarlos.

#### Procedimiento:

- A. Presentación de las secuencias:** El docente hará preguntas para el análisis general de las secuencias, como el número de aminoácidos de cada especie, y cómo orientarlos a identificar semejanzas y diferencias.
- B. Transformación de secuencias:** en equipos, los estudiantes revisarán la secuencia asignada, y posteriormente compararán con la de otros equipos. Deben identificar y registrar las diferencias en las secuencias de aminoácidos de las especies sugeridas. Pueden recortar y mover para alinear las secuencias y analizar en qué aminoácidos se parecen y en cuáles no. Luego, analizarán las diferencias encontradas entre especies.
- C. Preguntas de reflexión:** En equipos discutan sus hallazgos:
  - ¿Qué diferencias encuentran en las secuencias entre especies más cercanas y cuáles son estas especies? Justifiquen su respuesta.
  - ¿Son las diferencias mayores entre especies más lejanas, y cuáles son estas especies? Justifiquen su respuesta.
- D. Elaboración del árbol filogenético:** Cuantificarán el número de aminoácidos diferentes entre cada par de especies y registrarán los valores en una tabla. Con base en esta información, construirán un árbol filogenético simple. Primero relacionarán las especies con menos diferencias entre sí, formando ramas a partir de las similitudes encontradas.

#### Preguntas para análisis en plenaria:

1. ¿Qué característica debe presentar el antecesor común de las especies analizadas? Justifiquen su respuesta.
2. ¿Cuáles especies parecen estar más estrechamente relacionadas y cuáles más alejadas? ¿Por qué?
3. ¿Cuál es el papel de las mutaciones en la generación de diferencias en estas secuencias? Justifiquen su respuesta.
4. ¿Qué otras técnicas ayudarían a determinar estas relaciones evolutivas con más precisión? ¿Por qué?

**Conclusión:** Cada equipo redactará un párrafo en el que expliquen qué relaciones evolutivas encontraron entre las especies analizadas, la utilidad de las secuencias proteicas para establecer árboles filogenéticos, y reflexionen sobre cómo estas técnicas pueden influir en la biología evolutiva y la medicina.



QR archivo descargable:

Secuencias HBB:

<https://docs.google.com/spreadsheets/u/2/d/1V0tcLNuVCGo3VyFFidjk7gYTVcw9ztAN/copy>



## Momento 1

La adaptación por selección natural que actúa durante generaciones es un proceso importante por el cual las especies evolucionan con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales, esto ha contribuido considerablemente a la biodiversidad del planeta.

### Tiempo estimado:

18 horas.

### Metas de aprendizaje:

**Contenido Central (CC).** Reconocer que la información genética y el registro fósil proporcionan evidencia de la evolución y comprende que este proceso es multifactorial y uno de esos factores es la selección natural que conduce a la adaptación, y que la adaptación actúa durante generaciones, siendo un proceso importante por el cual las especies cambian con el tiempo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales.

- CT1. Investigar los patrones que podemos encontrar en las cadenas de información que necesaria para la vida.
- CT2. Analizar las posibles causas como el potencial para transferir material genético, la variabilidad de esta información y otros factores interfieren con la adaptación de los organismos al medio que habitan y por ende a la evolución de las especies.
- CT3. Usar el pensamiento matemático para reconocer los datos de las cadenas de información que dictan las características específicas de la vida formadas por nucleótidos o de las que producen proteínas y así reconocer las características de estas moléculas.
- CT5. Diferenciar organismos que pueden tomar energía de su entorno para poder cumplir funciones que aportan a la dinámica del sistema que habitan.
- CT6. Fundamentar que todos los seres vivos están formados por estructuras fundamentales que son la base para la construcción de sistemas más complejos que integran niveles de organización.
- CT7. Examinar como los organismos responden a estímulos del medio que habitan, derivando esto en la posibilidad de romper con estados de equilibrio interno. Identificar el papel que juegan los cambios en un entorno para los seres vivos y como modifica esto el comportamiento, la densidad poblacional de un grupo de organismos, las interacciones y la descendencia en una especie.

### Conceptos transversales (CT):

- CT1. Patrones.
- CT2. Causa y efecto.
- CT3. Medición.
- CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía.
- CT6. Estructura y función.
- CT7. Estabilidad y cambio.



## Evaluación diagnóstica

- 1. ¿Qué ocurre en un ecosistema con alta biodiversidad cuando enfrenta una perturbación?**
  - a. Colapsa rápidamente.
  - b. Se recupera más fácilmente debido a su resiliencia.
  - c. No es afectado por las perturbaciones.
- 2. ¿Cuál de las siguientes opciones describe el rol de los descomponedores en un ecosistema?**
  - a. Producen su propio alimento utilizando la luz solar.
  - b. Transforman la materia orgánica en nutrientes para los productores.
  - c. Compiten con los consumidores por los recursos.
- 3. ¿Qué tipo de interacción ecológica beneficia a ambas especies involucradas?**
  - a. Competencia.
  - b. Mutualismo.
  - c. Depredación.
- 4. ¿Cuál de los siguientes es un efecto del cambio climático en los ecosistemas?**
  - a. Mayor disponibilidad de recursos en todos los ecosistemas.
  - b. Migración de especies hacia climas más adecuados.
  - c. Incremento de la biodiversidad en áreas afectadas.
- 5. ¿Qué ecosistema costero se ve afectado por el aumento del nivel del mar?**
  - a. Desiertos.
  - b. Manglares.
  - c. Bosques tropicales.
- 6. ¿Cuál es una amenaza principal para las tortugas marinas en las costas de Sinaloa?**
  - a. La competencia entre especies.
  - b. La contaminación plástica y la urbanización costera.
  - c. La falta de depredadores naturales.
- 7. ¿Por qué es importante conservar especies en peligro de extinción?**
  - a. Porque son un atractivo turístico.
  - b. Porque contribuyen al equilibrio ecológico y los servicios ecosistémicos.
  - c. Porque aumentan el valor económico de las áreas protegidas.
- 8. ¿Cuál de las siguientes es una acción práctica para reducir las emisiones de carbono?**
  - a. Incrementar el uso de plásticos reciclables.
  - b. Fomentar el uso de transporte público o bicicletas.
  - c. Incrementar la deforestación para obtener más espacio urbano.
- 9. ¿Cuál es el propósito principal de las áreas naturales protegidas?**
  - a. Promover actividades agrícolas y ganaderas en áreas rurales.
  - b. Proteger los ecosistemas y las especies en peligro.
  - c. Incrementar la urbanización en las áreas protegidas.
- 10. ¿Qué se busca con la restauración de ecosistemas?**
  - a. Recuperar áreas degradadas para que vuelvan a su estado funcional.
  - b. Transformar hábitats naturales en áreas urbanas.
  - c. Sustituir especies locales por especies más rentables económicamente.



## Momento 2



### Enganchar

#### 1. Observa las siguientes imágenes:



Las imágenes representan las siguientes especies:

- Ajolote:** Especie endémica de México, conocida por su capacidad única de regenerar extremidades. Está en peligro por la contaminación de su hábitat.
- Jaguar:** Mamífero terrestre más grande de América, juega un rol clave en la regulación de las cadenas alimenticias.
- Cactáceas:** Adaptadas al clima árido, esenciales para los ecosistemas desérticos mexicanos.

#### 2. De manera individual contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué hace a estas especies únicas?
- ¿Por qué algunas están en peligro?
- ¿Qué factores podrían estar relacionados con su existencia o desaparición?

#### 3. Compartan sus respuestas ante el grupo.

#### 4. Al finalizar sus participaciones escriban sus conclusiones tomando en cuenta las siguientes preguntas:

- ¿Qué sabemos sobre cómo las especies cambian con el tiempo?
- ¿Cómo las características únicas de las especies están relacionadas con su supervivencia y su entorno?



### Explorar

#### “Creando un mini ecosistema”

##### Propósito:

Permitir a los estudiantes explorar los conceptos de biodiversidad, ciclos de materia y energía, y la importancia de las interacciones ecológicas mediante la creación de un mini ecosistema funcional.

##### Materiales necesarios:

(La mayoría se pueden obtener en casa o en el aula)

- Un frasco o botella de plástico transparente con tapa (reciclable).
- Tierra fértil (preferiblemente del entorno cercano).



##### QR Video

Como hacer un mini ecosistema en frasco o botella para decorar tu habitación

<https://www.youtube.com/watch?v=oB2yr6gcDsQ>

## Herencia y Evolución Biológica

- Pequeñas plantas (musgo, suculentas o cualquier planta resistente).
- Agua limpia.
- Rocas pequeñas o grava.
- Material orgánico (hojas secas, ramitas).
- Unas pocas lombrices o insectos pequeños (opcional, si los estudiantes pueden recolectarlos de manera segura y ética).
- Etiquetas adhesivas y marcadores para observaciones.

### Desarrollo de la actividad

#### 1. Investiguen los siguientes conceptos:

- a. Ecosistema
- b. Ciclos de la materia y energía, resaltando la función, importancia y ejemplos de cada elemento:
  - Productores
  - Consumidores
  - Descomponedores

#### 2. Creación del mini ecosistema

- a. Base del ecosistema:
  - Coloca una capa de grava o rocas pequeñas en el fondo del frasco para el drenaje del agua.
- b. Sustrato:
  - Añade una capa de tierra fértil sobre las rocas.
- c. Plantas:
  - Siembra pequeñas plantas o musgo en la tierra. Estas serán los productores del ecosistema.
- d. Materia orgánica:
  - Distribuye hojas secas y ramitas sobre la superficie. Esto simula la materia orgánica que alimentará a los descomponedores.
- d. Insectos o lombrices (opcional):
  - Agrega lombrices u otros pequeños organismos que puedan contribuir al reciclaje de nutrientes.
- e. Agua:
  - Rocía un poco de agua para humedecer el ecosistema, pero no lo satures.
- f. Cierre:
  - Tapa el frasco herméticamente para crear un sistema cerrado. Coloca el frasco en un lugar iluminado, pero no bajo luz solar directa.



#### 3. Observación y registro (1 semana).

- a. Cada estudiante debe observar su mini ecosistema diariamente y registrar:
  - Cambios en las plantas.
  - Aparición de condensación en el frasco.
  - Movimiento de los insectos o lombrices (si se incluyeron).
  - Descomposición de las hojas secas.
- b. Formato de registro (ejemplo):
  - Día 1: "El musgo sigue verde, no hay cambios visibles en las hojas secas."
  - Día 3: "Hay condensación en las paredes del frasco; las lombrices están activas."

#### 4. Cierre y reflexión.

- a. Al final de la semana, organiza una discusión grupal donde los estudiantes compartan sus observaciones.

Haz preguntas como:

- ¿Qué cambios notaron en su ecosistema?
- ¿Cómo interactúan los componentes del ecosistema (plantas, materia orgánica, agua, etc.)?
- ¿Qué sucedería si faltara uno de estos componentes?

5. Realicen cambios en las variables del mini ecosistema:

- a. Cambios en la cantidad de luz o agua
- b. Comparar mini ecosistemas cerrados (con tapa) y abiertos (sin tapa).

6. Escriban un reporte con las observaciones diarias, agreguen una reflexión relacionando la actividad con los ecosistemas reales y la importancia de mantener el equilibrio para la biodiversidad.



## Explicar

### ¿Qué es la biodiversidad?

La **biodiversidad** es el impresionante mosaico de vida que cubre nuestro planeta. Desde los majestuosos jaguares de las selvas tropicales hasta los pequeños ajolotes en los lagos de México, cada especie juega un papel vital en los ecosistemas. Es la variedad de la vida en la Tierra y es esencial para el equilibrio de los ecosistemas. Incluye la diversidad genética dentro de las especies, la variedad de especies en un área y los ecosistemas que las sustentan. La biodiversidad es crucial para proporcionar recursos naturales como alimentos, medicinas y materias primas, así como para mantener los ciclos de nutrientes y energía que sostienen la vida en el planeta. Sin embargo, este equilibrio está bajo amenaza debido a actividades humanas y el cambio climático. Comprender la biodiversidad no solo es fascinante, sino crucial para proteger nuestro mundo y garantizar un futuro sostenible.

La biodiversidad no solo se trata de la variedad de seres vivos, sino de cómo esta diversidad se organiza en diferentes niveles que sostienen la vida en el planeta. Desde los genes únicos que hacen a cada individuo especial, hasta las especies que interactúan en un área, y los ecosistemas que albergan estas interacciones, cada nivel de biodiversidad está interconectado. Comprender estos niveles nos permite valorar la complejidad de la naturaleza y su capacidad para adaptarse, prosperar y mantener el equilibrio en un mundo en constante cambio. ¿Cómo están relacionados estos niveles y qué podemos hacer para conservarlos?

### Niveles de biodiversidad

#### 1. Diversidad genética:

Se refiere a la variación de genes dentro de una especie. Es lo que permite a las poblaciones adaptarse a los cambios en el entorno, como nuevos depredadores, enfermedades o climas extremos. Por ejemplo, las variedades de maíz nativas en México son un ejemplo de diversidad genética que ha permitido su cultivo en diferentes condiciones climáticas y geográficas.

**Figura 16.1** Variedades tradicionales de maíz: un tesoro de diversidad genética que refleja siglos de adaptación y selección, vital para la seguridad alimentaria y la resiliencia frente al cambio climático.



#### QR Video

Qué es biodiversidad | cuáles son sus niveles y su importancia.

[https://www.youtube.com/watch?v=xwDVf\\_mjEYI](https://www.youtube.com/watch?v=xwDVf_mjEYI)



### 2. Diversidad de especies:

Es la variedad de especies en un área específica. Un ecosistema con alta diversidad de especies, como una selva tropical, tiende a ser más resistente ante perturbaciones. México, como uno de los países megadiversos del mundo, alberga aproximadamente el 12% de las especies del planeta.



**Figura 16.2** *Echeveria agavodes* es una especie de planta suculenta de la familia Crassulaceae.

### 3. Diversidad de ecosistemas:

Se refiere a los diferentes hábitats y sistemas ecológicos, como bosques, arrecifes de coral y desiertos. Cada ecosistema ofrece un hogar para diversas especies y cumple funciones únicas en los ciclos de nutrientes y energía del planeta.

## Factores que influyen en la biodiversidad

La biodiversidad no es uniforme en todo el planeta; varía según múltiples factores que interactúan constantemente. Desde las barreras naturales que separan poblaciones, hasta los cambios en el clima y las actividades humanas, cada elemento juega un papel crucial en la riqueza o disminución de las especies y ecosistemas. Comprender estos factores nos ayuda a identificar las causas de la pérdida de biodiversidad y las acciones necesarias para protegerla.

#### Factores geográficos:

- **Aislamiento:** Cuando una población queda separada por barreras naturales como montañas o ríos, puede evolucionar en nuevas especies. Este proceso ha llevado a la alta cantidad de especies endémicas en islas y áreas montañosas de México.
- **Variedad climática:** Los climas diversos, como los tropicales, templados y áridos, permiten el desarrollo de una gran variedad de ecosistemas. México tiene una riqueza climática que favorece su biodiversidad.

#### Factores humanos:

- **Cambio de uso del suelo:** La transformación de bosques en tierras de cultivo o áreas urbanas reduce el hábitat de muchas especies.
- **Contaminación:** La contaminación de ríos, mares y suelos afecta negativamente la biodiversidad al destruir hábitats y envenenar a las especies.
- **Cambio climático:** Las alteraciones en el clima afectan la distribución de las especies. Por ejemplo, el aumento de las temperaturas está poniendo en peligro los arrecifes de coral debido al blanqueamiento.

La biodiversidad no solo proporciona recursos esenciales para la humanidad, sino que también ayuda a estabilizar los ecosistemas, facilitando la adaptación frente a cambios ambientales. Es un patrimonio invaluable que debemos conservar para garantizar el bienestar de las generaciones futuras.



#### QR página web

Conoce más sobre el cambio climático

[https://www.wwf.org.mx/nuestro\\_trabajo/cambio\\_climatico](https://www.wwf.org.mx/nuestro_trabajo/cambio_climatico)



[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/226766/Capitulo\\_2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/226766/Capitulo_2.pdf)



## Elaborar

### Mapa conceptual “Biodiversidad”

1. Elabora un mapa conceptual con las siguientes características:

En una hoja blanca en la parte central escribe el nombre “Biodiversidad: niveles y factores”.

- a. En una rama del mapa, deben incluir los niveles de biodiversidad:
  - Diversidad genética: Ejemplo de variabilidad en cultivos de maíz.
  - Diversidad de especies: Ejemplo del ajolote o jaguar.
  - Diversidad de ecosistemas: Ejemplo de manglares o selvas tropicales.
- b. En otra rama, incluyen factores geográficos y humanos.
  - Geográficos: Aislamiento, variedad climática.
  - Humanos: Deforestación, contaminación, cambio climático.
  - Añaden ejemplos locales o globales discutidos en clase (p.ej., urbanización en manglares, contaminación de ríos).
- c. Usan flechas y palabras clave (como “afecta”, “depende”, “reduce”) para conectar conceptos.

2. Presenta su mapa al resto del grupo, destacando:
  - Un ejemplo importante de cada nivel de biodiversidad.
  - Un factor que consideren más influyente y por qué.

3. Los compañeros del grupo pueden hacer preguntas o agregar comentarios al mapa presentado.

4. Al finalizar la presentación y apoyándote en la retroalimentación del grupo y profesor, escribe una reflexión tomando como guía las siguientes preguntas:
  - ¿Qué aprendieron sobre la conexión entre biodiversidad, niveles y factores?
  - ¿Cómo impactan nuestras acciones en estos niveles de biodiversidad?
  - ¿Qué ideas podrían aplicar en su entorno para proteger la biodiversidad?



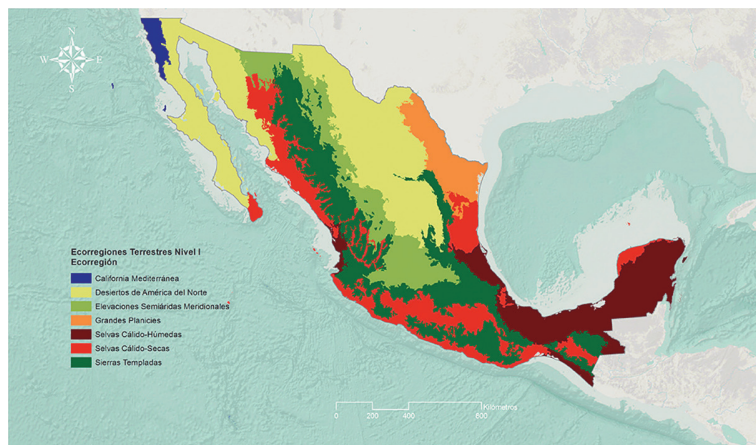
## Explicar

### Biodiversidad en el contexto nacional y local

La biodiversidad es uno de los mayores tesoros de México, un país reconocido a nivel mundial por su riqueza biológica y cultural. Tanto a nivel nacional como estatal, México y Sinaloa representan ejemplos clave de la diversidad que sustenta la vida en el planeta. Este texto explora por qué México es un país megadiverso, los ecosistemas únicos de Sinaloa, y la importancia de conservar esta biodiversidad para las generaciones futuras.

#### México país megadiverso

México es considerado uno de los países megadiversos del mundo, un título otorgado a solo 17 países que juntos albergan más del 70% de la biodiversidad mundial. Este reco-



Ecorregiones terrestres de México

[http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/biod\\_ETN1.html](http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/biod_ETN1.html)



nocimiento no es casualidad; México cuenta con una ubicación geográfica estratégica, una gran variedad de climas y una historia geológica compleja que han dado forma a su riqueza biológica. Con aproximadamente el 12% de las especies conocidas del mundo, México ocupa el quinto lugar en diversidad biológica global, destacando como un país clave para la conservación.

### Especies endémicas

La biodiversidad de México no solo se mide en cantidad, sino también en singularidad. Muchas de sus especies son endémicas, lo que significa que no se encuentran en ningún otro lugar del mundo. Entre las más emblemáticas se encuentran:

- **El ajolote:** Una especie de anfibio con la asombrosa capacidad de regenerar extremidades, endémica de los lagos de la Cuenca de México.
- **El perrito de la pradera mexicano:** Un pequeño mamífero adaptado a los pastizales de las zonas áridas.
- **El guacamayo verde:** Una colorida ave que habita en las selvas tropicales del sur del país.



Figura 16.3 Perrito de la pradera mexicano.

Estas especies no solo tienen un valor ecológico, sino también cultural, ya que muchas están vinculadas a las tradiciones y mitos de las comunidades locales.

### Ecosistemas variados

La diversidad de ecosistemas de México es otro de sus grandes atributos, con hábitats que van desde las selvas tropicales hasta los desiertos más áridos. Algunos ejemplos destacados incluyen:

- **Selvas tropicales:** Las selvas lacandonas, situadas en Chiapas, albergan una riqueza biológica extraordinaria con especies como jaguares, monos araña y tucanes. Estas selvas son cruciales para la regulación climática y el ciclo del agua.
- **Desiertos:** El desierto de Sonora, hogar de las icónicas cactáceas gigantes, es un ejemplo de cómo la vida puede adaptarse a condiciones extremas. Especies como los zorros del desierto y las serpientes de cascabel prosperan en este entorno.



Figura 16.4 Hermosas cascadas turquesa en medio de la selva de Chiapas en México.



Figura 16.5 Desierto de Sonora.



- **Arrecifes de coral:** El sistema arrecifal mesoamericano, ubicado en el Caribe mexicano, es el segundo más grande del mundo. Sus aguas cristalinas albergan tortugas marinas, tiburones ballena y una impresionante variedad de peces y corales.

### Biodiversidad en Sinaloa

Sinaloa, ubicado en la región noroeste de México, es un estado privilegiado por su extraordinaria diversidad biológica. Esta riqueza es producto de su ubicación estratégica entre la costa del Pacífico y la imponente Sierra Madre Occidental, así como de la variedad de ecosistemas que alberga, desde manglares hasta bosques tropicales y matorrales xerófilos. Su papel como un punto clave dentro del Corredor Biológico Mesoamericano resalta su importancia no solo para la biodiversidad local, sino también para la conservación de especies que dependen de estos ecosistemas conectados. Esta riqueza natural coloca a Sinaloa como un área de alto valor ecológico y estratégico para México y el mundo.



Figura 16.6 Arrecife de coral.

La impresionante biodiversidad de México, con su amplia variedad de ecosistemas y especies endémicas, no solo es evidente a nivel nacional, sino que también se refleja en regiones específicas como Sinaloa. Este estado es un claro ejemplo de cómo los paisajes locales contribuyen a la riqueza biológica del país, albergando ecosistemas únicos y especies de gran importancia ecológica. A continuación, exploraremos los ecosistemas clave de Sinaloa y las especies que los convierten en un tesoro de biodiversidad.



Figura 16.7 Bosque de manglares.



Figura 16.8 Bosque tropical.



Figura 16.9 Matorrales xerófilos.

### Ecosistemas clave

1. **Manglares:** Los manglares de Sinaloa, como los de la Bahía de Santa María, son ecosistemas únicos que actúan como barreras naturales contra tormentas y tsunamis, además de ser refugio para aves migratorias y especies marinas como el camarón y el cangrejo azul.
2. **Bosques tropicales:** Estos ecosistemas, presentes en la Sierra Madre Occidental, son el hogar de especies icónicas como el jaguar, el ocelote y una gran diversidad de aves.
3. **Matorrales xerófilos:** En las zonas áridas del estado, predominan los matorrales xerófilos, con cactáceas resistentes y especies adaptadas a la escasez de agua.

### Especies destacadas

1. **Jaguar:** Este depredador tope es vital para mantener el equilibrio ecológico en los bosques tropicales. Su presencia indica un ecosistema saludable.
2. **Cocodrilo de pantano:** Residente de los humedales y manglares, este reptil contribuye al control de especies y al equilibrio de los ecosistemas acuáticos.
3. **Tortuga marina:** Especies como la tortuga golfinia utilizan las playas de Sinaloa para anidar, lo que hace del estado un lugar clave para su conservación.



QR página web

CONABIO Ecosistemas de México

[https://www.youtube.com/watch?v=NAr27\\_PK0kw](https://www.youtube.com/watch?v=NAr27_PK0kw)



Sinaloa y su biodiversidad

<https://www.youtube.com/watch?v=LRAguz4ZRm8>

La biodiversidad en México y Sinaloa no solo es esencial para los ecosistemas, sino también para el bienestar humano. Los servicios ecosistémicos que proveen, como la purificación del agua, la producción de alimentos y la regulación climática, son fundamentales para nuestra supervivencia. Sin embargo, esta riqueza enfrenta amenazas constantes:

**Deforestación y expansión urbana:** La conversión de bosques y manglares en áreas agrícolas o urbanas reduce los hábitats disponibles para muchas especies.

- **Contaminación:** Los plásticos, pesticidas y residuos industriales afectan tanto a los ecosistemas acuáticos como terrestres.
- **Cambio climático:** Las alteraciones en las temperaturas y los patrones de lluvia ponen en riesgo a especies que no pueden adaptarse rápidamente.

Proteger estos ecosistemas y especies no solo asegura su continuidad, sino que también garantiza el equilibrio ecológico y los recursos necesarios para las generaciones futuras.

México y Sinaloa son joyas de biodiversidad que nos muestran la riqueza y fragilidad de la vida en el planeta. Cada especie y ecosistema cuenta una historia de adaptación y supervivencia que debemos proteger. Solo mediante la conservación y el uso sostenible de estos recursos podremos garantizar un futuro en armonía con la naturaleza.



### Elaborar

#### “Mapa de la biodiversidad en México y Sinaloa”

**Propósito:** Comprender la diversidad de ecosistemas en México y Sinaloa, identificando especies clave y su importancia para la biodiversidad.

1. Dividirse en equipos, el docente asignará a cada equipo un ecosistema o región específica de México y Sinaloa.

**Ejemplo:**

México	Sinaloa
<ul style="list-style-type: none"><li>· Selva lacandona.</li><li>· Desierto de Sonora.</li><li>· Sistema arrecifal mesoamericano.</li><li>· Bosque de niebla.</li><li>· Altiplano mexicano.</li><li>· Manglares de la Península de Yucatán.</li><li>· Bosque templado de la Sierra Madre Occidental.</li><li>· Cañón del Sumidero.</li><li>· Laguna de Bacalar.</li><li>· Reserva de la biósfera El Vizcaíno.</li><li>· Volcán Popocatepetl y sus alrededores.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Manglares de bahía de Santa María.</li><li>· Bosques tropicales de la Sierra Madre Occidental.</li><li>· Matorrales xerófilos del norte de Sinaloa.</li><li>· Playas de anidación.</li><li>· Humedales de Teacapán.</li><li>· Ensenada del Pabellón.</li><li>· Laguna Huizache-Caimanero.</li><li>· Playa Las Glorias.</li><li>· Marismas nacionales.</li><li>· Arroyo del Palmarito.</li><li>· Llanuras de Guasave.</li></ul>

2. Lleven a la clase o dibujen un mapa de México o de Sinaloa en blanco.
3. Indaguen ecosistema o región específica de México y Sinaloa, realicen una ficha informativa sobre el ecosistema asignado con la información siguiente:
  - La ubicación del ecosistema en el mapa.
  - Flora y fauna.
  - Una breve descripción de la importancia del ecosistema.
4. Cada equipo coloca la información en el mapa y se prepara para presentarla.
5. Presenta su ecosistema, destacando su importancia para la biodiversidad nacional y local.
6. Concluyan reflexionando sobre cómo estos ecosistemas están interconectados y cómo su conservación beneficia a México y al mundo.





## Explicar

### Biodiversidad: causas de su pérdida

La biodiversidad es esencial para la vida en la Tierra, proporcionando recursos, servicios ecológicos y estabilidad en los ecosistemas. Sin embargo, está en peligro debido a diversas actividades humanas y fenómenos globales. Desde los manglares hasta las selvas tropicales y los arrecifes de coral, cada ecosistema cumple un papel vital en la sostenibilidad de la vida. Sin embargo, esta riqueza está bajo constante amenaza. La presión de las actividades humanas, como la deforestación y la contaminación, combinada con fenómenos globales como el cambio climático, está llevando a la pérdida acelerada de especies y ecosistemas. A continuación, se describen las principales causas que amenazan la biodiversidad.

#### 1. Deforestación y cambio de uso del suelo

La deforestación implica la eliminación de áreas boscosas para dar lugar a actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la urbanización y la minería. Este fenómeno es una de las mayores amenazas para la biodiversidad debido a los siguientes impactos:

- **Destrucción de hábitats:** Los bosques son el hogar de innumerables especies, y su pérdida reduce significativamente la diversidad genética y pone en peligro la supervivencia de las especies. La deforestación en la Selva Lacandona, uno de los pulmones verdes de México, ha fragmentado los hábitats del jaguar, afectando su capacidad de reproducirse y cazar.
- **Alteración de ecosistemas:** Al eliminar bosques, se interrumpen procesos ecológicos como la regulación del clima y el ciclo del agua.



**Figura 16.10** Trozos de árboles talados ilegalmente se apilan evidenciando el impacto de la deforestación. Esta práctica, pone en riesgo la biodiversidad y acelera el cambio climático.

Además, el cambio de uso del suelo, como la transformación de bosques en campos agrícolas o zonas urbanas, acelera la pérdida de biodiversidad y afecta la funcionalidad de los ecosistemas.

#### 2. Sobreexplotación de recursos naturales

La extracción de recursos naturales a un ritmo mayor del que pueden regenerarse provoca un desequilibrio ecológico. Entre las formas de sobreexplotación destacan:

- **Pesca excesiva:** En el Golfo de México, la sobreexplotación ha reducido drásticamente las poblaciones de peces como el mero y el tiburón, afectando tanto a las comunidades pesqueras como al equilibrio del ecosistema marino.
- **Tala inmoderada:** La extracción de madera en bosques tropicales destruye hábitats y reduce la capacidad de captura de carbono.
- **Minería y extracción de agua:** Estas actividades alteran el suelo y agotan fuentes de agua dulce, impactando a especies que dependen de estos recursos.



**Figura 16.11** Sobre explotación de pesca.

La sobreexplotación no solo pone en peligro a las especies directamente afectadas, sino que también altera las cadenas alimenticias y los servicios ecosistémicos.



### 3. Contaminación

La contaminación, en sus diversas formas, degrada los ecosistemas y amenaza a las especies que los habitan:

- **Residuos plásticos:** Los plásticos en los océanos y suelos afectan a la fauna por ingestión o enredos. Ejemplo: Tortugas marinas confunden las bolsas de plástico con medusas, lo que provoca obstrucciones en su sistema digestivo y eventualmente su muerte.
- **Pesticidas:** Los productos químicos utilizados en la agricultura contaminan los suelos y cuerpos de agua, afectando a organismos no objetivo como abejas y anfibios. Ejemplo: En regiones agrícolas de México, el uso intensivo de pesticidas ha reducido las poblaciones de polinizadores esenciales como las abejas, afectando la producción agrícola.
- **Metales pesados:** Desechos industriales contaminan ríos y suelos, afectando la salud de los ecosistemas y las especies que los habitan. Ejemplo: La contaminación por mercurio en el Río Balsas ha afectado a peces y otras especies acuáticas, repercutiendo en las comunidades humanas que dependen de estos recursos.



**Figura 16.12** El amanecer entre el humo de la industria metalúrgica: una vista impactante que refleja los retos de la contaminación y la urgencia de un compromiso con la ecología.



**Figura 16.13** El plástico un problema ambiental de hoy.

### 4. Cambio climático

El cambio climático, impulsado por la acumulación de gases de efecto invernadero, es un fenómeno global con efectos devastadores en la biodiversidad:

- **Temperaturas extremas:** El calentamiento global altera los rangos climáticos en los que las especies pueden sobrevivir. Ejemplo: Los arrecifes de coral en el Caribe Mexicano están experimentando un fenómeno de blanqueamiento debido al aumento de la temperatura del agua, lo que afecta a las especies marinas que dependen de ellos.
- **Aumento del nivel del mar:** La elevación del nivel del mar pone en riesgo los hábitats costeros, como los manglares y las zonas de anidación de aves migratorias y tortugas marinas. Ejemplo: En el Golfo de México, la erosión de playas afecta los sitios de anidación de tortugas marinas, amenazando su reproducción y supervivencia.



QR página web

Amenazas a la biodiversidad, su pérdida. Contaminación, especies invasoras... Tierra de Vida Ep 5.

La pérdida de biodiversidad es un problema complejo que requiere atención urgente. Cada una de estas causas está interconectada y contribuye al deterioro de los ecosistemas. Abordarlas implica adoptar estrategias de conservación, reducir el impacto humano y fomentar la sostenibilidad en el uso de los recursos naturales. Solo mediante acciones conjuntas podemos proteger la riqueza biológica que sustenta la vida en el planeta.



## Elaborar

### “Explorando las causas de la pérdida de biodiversidad”

1. **Forma equipos para realizar la actividad, el docente** asigna a cada uno un tema, por ejemplo:

**Equipo 1:** Deforestación y cambio de uso del suelo.

**Equipo 2:** Sobreexplotación de recursos naturales.

**Equipo 3:** Contaminación.

**Equipo 4:** Cambio climático.

2. **Investiguen los siguiente.**

a. Datos clave y ejemplos de impacto relacionados con su tema.

b. Cada equipo que elabora un esquema o mapa mental que incluya:

- Descripción de la causa.
- Ejemplos concretos (como los mencionados en el texto).
- Consecuencias sobre la biodiversidad.
- Posibles soluciones o estrategias para mitigar el problema.

3. **Cada equipo debe crear una representación visual (cartel o maqueta) sobre su causa. Por ejemplo:**

a. El **Equipo 1** puede mostrar cómo la deforestación afecta a la Selva Lacandona y sus especies.

b. El **Equipo 2** puede representar el impacto de la pesca excesiva en el Golfo de México.

c. El **Equipo 3** puede ilustrar los efectos del plástico en los océanos.

d. El **Equipo 4** puede diseñar un gráfico que relacione el aumento de temperatura con el blanqueamiento de corales.

4. **Presentaciones y discusión:**

Cada equipo expone sus hallazgos y su representación visual en un tiempo máximo de 5 minutos.

5. Después de todas las presentaciones, escribe un **texto reflexivo**, guiándose con preguntas como:

a. ¿Qué causa les parece la más preocupante y por qué?

b. ¿Qué estrategias podrían implementarse a nivel personal y comunitario para mitigar estas amenazas?

c. ¿Cómo están interconectadas estas causas?



## Explicar

### De la biodiversidad a los ecosistemas: una relación vital

La biodiversidad y los ecosistemas están intrínsecamente conectados. Mientras que la biodiversidad engloba la variedad de formas de vida en un área determinada, los ecosistemas son los espacios donde esas formas de vida interactúan entre sí y con los factores **bióticos** (organismos vivos) y **abióticos** (componentes físicos y químicos como el agua, el suelo, la luz solar y la temperatura). Esta relación es fundamental para el equilibrio y la funcionalidad del planeta. Un ecosistema rico en biodiversidad es más estable y resistente a perturbaciones, garantizando los servicios ecológicos esenciales para la humanidad. A continuación, exploramos cómo la biodiversidad influye en la estabilidad, los ciclos de materia y energía, las interacciones ecológicas y los tipos de ecosistemas que existen.





### Tipos de ecosistemas y sus características

Los ecosistemas se clasifican en función de los factores abióticos que los definen, como el clima, la altitud, la humedad y la disponibilidad de recursos. Cada tipo de ecosistema alberga una biodiversidad única que se adapta a sus condiciones específicas.

#### Ecosistemas terrestres:

Son aquellos que se desarrollan sobre la superficie terrestre y están influenciados principalmente por el clima y el suelo.



- **Bosques:** Áreas dominadas por árboles que albergan una alta biodiversidad. Ejemplo: Los bosques tropicales de la Selva Lacandona en México, hogar de jaguares, monos y tucanes.
- **Desiertos:** Regiones áridas con escasa vegetación, adaptadas a condiciones extremas de temperatura y agua. Ejemplo: El Desierto de Sonora, con especies como cactus gigantes y zorros del desierto.
- **Pastizales:** Ecosistemas dominados por hierbas, con suelos fértiles y una fauna como venados y coyotes. Ejemplo: Los pastizales del Altiplano Mexicano.



**Figura 16.14** Vista desde la montaña más alta de "Ajusco", reserva natural al sur de la Ciudad de México.



### Ecosistemas acuáticos:

- **Ecosistemas de agua dulce:** Ríos, lagos y humedales que albergan especies como peces, anfibios y aves migratorias. Ejemplo: El sistema lacustre de Xochimilco, hogar del ajolote.
- **Ecosistemas marinos:** Océanos y mares que sostienen cadenas alimenticias globales. Ejemplo: El Sistema Arrecifal Mesoamericano, conocido por su riqueza en corales, tortugas y tiburones.
- **Manglares:** Ecosistemas costeros donde el agua dulce se mezcla con el agua salada, vitales para aves y especies marinas juveniles. Ejemplo: Los manglares de la Bahía de Santa María en Sinaloa.

### Ecosistemas mixtos:

Son transiciones entre ecosistemas terrestres y acuáticos, como los estuarios, que son zonas de gran productividad y biodiversidad. Ejemplo: Los estuarios del Golfo de México.

### Estabilidad de los ecosistemas

La biodiversidad actúa como un seguro para los ecosistemas, permitiendo que se adapten y se recuperen frente a cambios o perturbaciones en los factores bióticos y abióticos.

Un ecosistema con alta biodiversidad es más resiliente frente a eventos como desastres naturales, enfermedades o cambios climáticos, ya que las interacciones entre sus factores bióticos y abióticos garantizan su funcionamiento. Ejemplo: en un bosque con muchas especies de árboles, una plaga que afecta a una especie específica no causará un colapso total, ya que las demás especies mantendrán el equilibrio del ecosistema.

### Efectos de la baja biodiversidad:

Ecosistemas con poca biodiversidad son más vulnerables, ya que dependen de menos interacciones entre sus factores bióticos y abióticos, lo que los hace más propensos al colapso. Ejemplo: los monocultivos agrícolas, que dependen de una sola especie, son extremadamente susceptibles a plagas y enfermedades, mientras que los suelos también se degradan más rápido por la falta de rotación de cultivos.

Las interacciones entre los factores bióticos dentro de un ecosistema son fundamentales para su dinámica y estabilidad. Estas interacciones incluyen mutualismo, competencia y depredación, y están influidas por los factores abióticos del entorno.

- **Mutualismo:** Relación donde dos factores bióticos se benefician mutuamente. Ejemplo: Las abejas polinizan flores, ayudando a las plantas a reproducirse, mientras obtienen néctar como alimento. Este proceso depende también de la luz solar y la temperatura.



**Figura 16.15** Isla llena de sahuaros frente a San Carlos Sonora, México. Al fondo, la montaña Tetakawi crea un contraste icónico con el mar.



**Figura 16.16** Incluyen cuerpos de agua dulce y salada, desde ríos hasta océanos, y son cruciales para el ciclo del agua y el flujo de energía.

- **Competencia:** Ocurre cuando los factores bióticos compiten por recursos limitados, como alimento, espacio o luz. Ejemplo: las plantas en un bosque compiten por la luz solar, lo que determina cuáles crecen más rápido y dominan el ecosistema.
- **Depredación:** Interacción donde un factor biótico se alimenta de otro. Ejemplo: los búhos cazan ratones en un ecosistema forestal, regulando la población de roedores y contribuyendo al equilibrio general.

Entender cómo la biodiversidad y los ecosistemas interactúan a través de sus factores bióticos y abióticos nos permite apreciar su complejidad y la necesidad de conservarlos. La biodiversidad influye directamente en la estabilidad de los ecosistemas, garantizando servicios ecológicos esenciales como la purificación del agua, la producción de alimentos y la regulación del clima. Estos servicios, que dependen de la interacción equilibrada entre estos factores y son fundamentales para la vida humana. Proteger la biodiversidad no solo preserva estos servicios, sino que también asegura la resiliencia de los ecosistemas frente a las perturbaciones, fomentando un planeta sostenible para las generaciones futuras.



### Elaborar

#### Actividad principal: “Construyendo un ecosistema” (20 minutos):

1. Formen equipos para trabajar la actividad (En esta actividad es necesario traer, hojas blancas o cartulinas, colores, imágenes, tijeras entre otros materiales solicitados).
2. Cada equipo seleccionará un tipo de ecosistema (bosque, desierto, arrecife de coral, etc.) o puede asignarse al azar.
3. Cada equipo indaga los siguientes elementos para su ecosistema (pueden apoyarse consultando los enlaces que se encuentran a un costado de la actividad):
  - **Distribución:** Regiones donde se encuentra el ecosistema.
  - **Factores abióticos:** Por ejemplo, principales características climáticas temperatura, humedad, estaciones, tipo de suelo, etc.
  - **Factores bióticos:** Ejemplo, flora y fauna representativa.
  - **Servicios Ambientales:** Beneficios que el ecosistema aporta (purificación de aire y agua, regulación del clima, hábitat, etc.).
  - **Impactos y Amenazas:** Actividades humanas o fenómenos naturales que afectan al ecosistema (deforestación, contaminación, cambio climático, etc.).
4. El equipo dibuja o construye un esquema sencillo de su ecosistema en una hoja de papel o cartulina mostrando las interacciones entre los factores bióticos y abióticos.
5. Para prepararse para la exposición de los resultados de la actividad, realicen una descripción del ecosistema, destacando:
  - Los factores bióticos y abióticos seleccionados.
  - Cómo estos elementos interactúan para mantener la estabilidad del ecosistema.
  - Qué podría suceder si uno de los factores se ve alterado.
6. Presentar al grupo los resultados de su investigación apoyándose de sus esquemas.
7. Finalmente elaboren un reporte de lo expuesto por ustedes y sus compañeros, agregando una conclusión de manera individual donde reflexionen sobre las siguientes preguntas:
  - ¿Qué ecosistema les pareció más interesante y por qué?
  - ¿Qué aprendieron sobre la relación entre biodiversidad y ecosistemas?
  - ¿Qué acciones podrían tomar para proteger estos ecosistemas en la vida real?



#### QR página web

Ecosistemas de México  
<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/>



Cuéntame de México  
<https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/vegetacion/default.aspx?tema=T>





## Explicar

### Estrategias de conservación de la biodiversidad

La **conservación de la biodiversidad** es una tarea fundamental para mantener el **equilibrio de los ecosistemas** y garantizar los recursos necesarios para las generaciones futuras. A través de diversas **estrategias**, se busca preservar **especies, ecosistemas** y la **estabilidad ambiental** a nivel global, nacional y local. Estas iniciativas no solo protegen la vida silvestre, sino que también apoyan la sostenibilidad de las comunidades humanas y contribuyen a mitigar el cambio climático.

Una de las estrategias más importantes es la creación de áreas naturales protegidas. Estas son zonas terrestres o acuáticas que se designan legalmente para la conservación de su biodiversidad, paisajes y patrimonio cultural. En México, la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, ubicada en Sonora, es un ejemplo notable. Este sitio alberga ecosistemas desérticos únicos que sirven de refugio para especies como el berrendo y la tortuga del desierto. Además de proteger hábitats críticos, estas áreas fomentan actividades sostenibles como el ecoturismo, que no solo genera ingresos para las comunidades locales, sino que también crea conciencia sobre la importancia de la conservación.



Figura 16.17 Lobo gris mexicano.

Otra estrategia clave es la **restauración de ecosistemas**, un proceso que busca recuperar áreas degradadas para restablecer su estructura, funcionalidad y biodiversidad. Este enfoque incluye acciones como la reforestación con especies nativas, la rehabilitación de humedales y el control de especies invasoras. En México, los proyectos de restauración en manglares, especialmente en Sinaloa y la Península de Yucatán, han logrado recuperar hábitats esenciales para aves migratorias y especies marinas. Estas iniciativas no solo benefician a la biodiversidad, sino que también brindan servicios ecosistémicos cruciales, como la protección contra inundaciones y la captura de carbono, lo que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático.

La **reducción de emisiones de carbono** también es esencial para proteger la biodiversidad, ya que el cambio climático es una de las mayores amenazas para los ecosistemas. Las emisiones de gases de efecto invernadero alteran los hábitats y los patrones climáticos, afectando la supervivencia de muchas especies. Las acciones para mitigar este problema incluyen la adopción de energías renovables, como la solar y la eólica, el fomento del transporte sostenible y la conservación de bosques, que actúan como sumideros de carbono. En Sinaloa, iniciativas agrícolas sostenibles están promoviendo prácticas como el manejo integrado de cultivos y el uso de compostaje, reduciendo significativamente las emisiones y protegiendo el suelo.

En el ámbito local, Sinaloa se destaca por sus esfuerzos para conservar ecosistemas críticos y especies emblemáticas. Los manglares de la Bahía de Santa María, por ejemplo, son esenciales para la biodiversidad y la protección costera. Su conservación incluye programas de reforestación y la implementación de medidas para limitar el desarrollo urbano en estas áreas sensibles. Además, se han desarrollado proyectos específicos para proteger al jaguar y al cocodrilo de pantano, que incluyen monitoreo de sus poblaciones, restauración de hábitats y actividades educativas para prevenir la caza furtiva y fomentar la coexistencia entre las comunidades y la fauna.

La **educación y la concienciación comunitaria** son pilares fundamentales para garantizar el éxito de las estrategias de conservación. Involucrar a las comunidades locales en proyectos escolares y actividades como la reforestación y la limpieza de áreas degradadas no solo sensibiliza a las personas sobre la importancia de la biodiversidad, sino que también promueve la participación activa en su cuidado. En Sinaloa, jornadas de reforestación en humedales y limpiezas de playas han sido clave para proteger sitios de anidación de tortugas marinas y restaurar ecosistemas locales.



## Herencia y Evolución Biológica

En conjunto, estas estrategias ofrecen un enfoque integral para abordar la crisis de la biodiversidad. Desde la protección de áreas naturales hasta la implementación de proyectos comunitarios, cada acción contribuye a la preservación de la riqueza biológica que sustenta la vida en nuestro planeta. La conservación no solo es una responsabilidad compartida, sino también una oportunidad para garantizar un futuro sostenible y en equilibrio con la naturaleza.

### Organismos internacionales, nacionales y locales que apoyan la conservación de la biodiversidad

La conservación de la biodiversidad es una tarea global que requiere la colaboración de diversos organismos internacionales, nacionales y locales. Estas instituciones implementan estrategias, políticas y acciones para proteger ecosistemas, especies y recursos naturales, garantizando el equilibrio ecológico y el bienestar humano.

Logo	Organización	Descripción
<b>Internacional</b>		
	<b>Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)</b>	Organización internacional dedicada a la conservación de los recursos naturales, conocida por su Lista Roja de Especies Amenazadas.
	<b>Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)</b>	Organización conservacionista independiente activa en más de 100 países, reconocida por su emblemático logo del oso panda.
	<b>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)</b>	Principal autoridad ambiental global que establece la agenda ambiental internacional y promueve la implementación coherente de la dimensión ambiental del desarrollo sostenible.
	<b>Conservación Internacional (CI)</b>	Organización que trabaja en la protección de áreas clave para la biodiversidad, como los "puntos calientes" (hotspots), con proyectos en diversas regiones de alta diversidad biológica.
<b>Nacional</b>		
	<b>Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)</b>	Institución mexicana clave en la investigación y monitoreo de la biodiversidad, que desarrolla estrategias para su conservación y uso sustentable.
	<b>Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)</b>	Institución responsable de salvaguardar las áreas con mayor biodiversidad en México, administrando y protegiendo las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del país.

**Progresión 16.** Influencia de factores abióticos / Cálculo de biodiversidad

Logo	Organización	Descripción
	<b>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)</b>	Dependencia del gobierno mexicano encargada de diseñar y aplicar políticas públicas para la conservación del medio ambiente, incluyendo programas de restauración de ecosistemas y combate a la contaminación.
	<b>Pronatura México</b>	Organización no gubernamental enfocada en la conservación de ecosistemas, especies y recursos naturales mediante proyectos comunitarios y educativos.
Local		
	<b>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) – Unidad Mazatlán</b>	Institución que participa en investigaciones sobre la biodiversidad marina, incluyendo el monitoreo y protección de manglares y especies costeras en Sinaloa.
	<b>Universidad Autónoma de Sinaloa</b>	A través de sus programas de investigación, la UAS trabaja en proyectos relacionados con la conservación de ecosistemas y especies nativas.
	<b>Secretaría de Bienestar y Desarrollo Sustentable (SEBIDES)</b>	Promover, coordinar y participar en acciones de protección, conservación, reforestación, fomento y vigilancia de los recursos forestales de la Entidad. Regular y promover la protección de los recursos de fauna y flora silvestres en territorio del Estado. Declarar las áreas naturales protegidas de interés Estatal.

**Zonas Protegidas en México y Sinaloa**

- 1. Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar (Sonora):** Este sitio, Patrimonio Mundial de la UNESCO, es uno de los ecosistemas desérticos más biodiversos del mundo.
- 2. Sistema Arrecifal Mesoamericano:** La segunda barrera de coral más grande del mundo, que abarca México, Belice, Guatemala y Honduras, es hogar de tortugas marinas, tiburones ballena y numerosas especies de peces.
- 3. Reserva Ecológica Meseta de Cacaxtla (Sinaloa):** Alberga bosques secos tropicales y humedales, esenciales para la biodiversidad de la región.
- 4. Manglares de la Bahía de Santa María (Sinaloa):** Son cruciales para la protección costera y el desarrollo de especies marinas.
- 5. Reserva Ecológica de El Verde Camacho:** Una importante zona de anidación para tortugas marinas en Sinaloa, donde se realizan programas de monitoreo y protección de nidos.

La colaboración entre organismos internacionales, nacionales y locales es fundamental para enfrentar los desafíos de la conservación de la biodiversidad. Estas instituciones y zonas protegidas no solo garantizan la supervivencia de especies y ecosistemas, sino que también aseguran servicios ecológicos esenciales para la humanidad, como la purificación del aire, la regulación del clima y la producción de alimentos. La conservación es una tarea conjunta que requiere del compromiso de todos para proteger nuestro patrimonio natural y garantizar un futuro sostenible.



## Elaborar

### “Creación de una infografía sobre la conservación de la biodiversidad”

1. Para esta actividad es necesario que lleves a clase los siguientes materiales:

- Hojas de papel, cartulinas o computadoras (si es posible trabajar con herramientas digitales como Canva o PowerPoint).
- Marcadores, colores, lápices o herramientas de diseño digital.
- Ejemplo de una infografía básica (opcional).
- Acceso a notas o materiales de referencia de la lección.

2. Creación de la Infografía:

a. De manera individual o en equipos (indique docente), revisa la estructura de la infografía que vas a realizar.

**Estructura inicial:** Integrará la infografía en las siguientes secciones:

- **Título:** «Conservación de la Biodiversidad».
- **Introducción:** Breve explicación de qué es la biodiversidad y por qué es importante.
- **Organismos clave:** Lista o resumen de los organismos internacionales, nacionales y locales que apoyan la conservación (ejemplo: UICN, WWF, CONABIO, COEES).
- **Zonas protegidas:** Ejemplos de áreas naturales protegidas (nacionales y locales, como la Reserva de la Biosfera Calakmul o los Manglares de la Bahía de Santa María).
- **Estrategias:** Principales acciones para la conservación, como la restauración de ecosistemas o la educación ambiental.
- **Reflexión final:** Una frase inspiradora o una invitación a actuar.

b. **Diseño:**

- Organiza la información en la hoja o cartulina, utilizando esquemas, diagramas y colores para destacar las ideas.
- Pueden agregar gráficos, dibujos o íconos relacionados con los temas.

c. **Revisión:** Una vez terminada la infografía, revisa que su información sea clara y que todos los puntos clave estén incluidos.

d. **Presentación y Reflexión:**

Expón tu infografía en 1 o 2 minutos, explicando su contenido y diseño.

De manera grupal reflexionen sobre lo siguiente:

- ¿Qué temas consideran más importantes de los presentados?
- ¿Cómo pueden compartir esta información con otros fuera del aula?
- ¿Qué nuevas ideas o conocimientos les dejó esta actividad?



### Momento 3



### Evaluar

## Creación de un proyecto informativo sobre la biodiversidad

### Objetivo:

Integrar los aprendizajes sobre biodiversidad y ecosistemas mediante la creación de un medio informativo atractivo y relevante que pueda compartirse con la comunidad escolar.

1. Dividánse en equipos de 4 a 5 integrantes.
2. Revisión las notas e información estudiada anteriormente, enfocándose en los temas clave:
  - Qué es la biodiversidad.
  - Importancia de los ecosistemas.
  - Causas de la pérdida de biodiversidad.
  - Estrategias de conservación.
3. Selecionen un medio informativo para divulgar información (cada equipo decide qué tipo de material creará):
  - **Opciones:** Cartel, tríptico, infografía, boletín, video corto o presentación digital.
4. Elaboren un esquema con la información que incluirán y cómo la organizarán. Piensen en su audiencia y en cómo hacer el medio informativo claro y atractivo.
5. Investiguen y amplien de Información, buscando información adicional en recursos confiables (internet, enciclopedias, libros) para enriquecer su medio informativo.

Temas a incluir:

  - ¿Qué es la biodiversidad y los ecosistemas?
  - Su importancia para la vida humana y el planeta.
  - Problemas y amenazas como la deforestación, contaminación y cambio climático.
  - Soluciones y estrategias de conservación.
6. Usen recursos visuales: Seleccionen imágenes, gráficos, recortes o diagramas que refuercen el contenido y lo hagan más visualmente atractivo.
7. Diseñen y creen el producto informativo
8. Deben crear su medio informativo siguiendo las características que definieron en la planeación:
  - Texto breve, claro y organizado.
  - Uso de títulos, subtítulos y viñetas para resaltar información clave.



## Herencia y Evolución Biológica

- Imágenes relevantes y atractivas.
  - Fuentes citadas al final (en caso de materiales adicionales).
9. Cada equipo comparte su medio informativo con el resto de la clase. Si el tiempo lo permite, pueden simular una pequeña feria informativa, donde los equipos rotan y presentan su producto. Al realizar la presentación, el resto de la clase y el docente pueden hacer preguntas o comentarios constructivos sobre cada presentación.

### Criterios de evaluación:

- Contenido: La información es precisa, relevante y completa.
- Diseño: El producto es visualmente atractivo, organizado y claro.
- Trabajo en equipo: Participación activa de todos los integrantes.
- Reflexión: Capacidad de integrar y aplicar los aprendizajes previos.