

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?



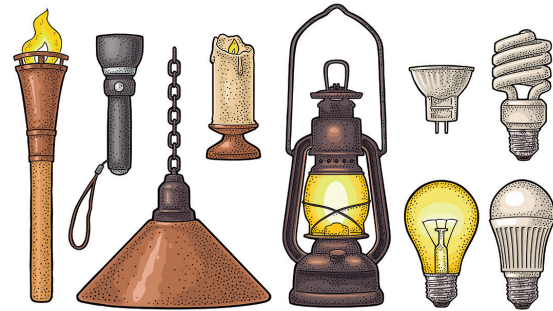
<https://www.habitatcan.org/images/migrationmap.jpg>
 Foto <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=3421852407849848&id=208581735843614&set=a.210487145653073>



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

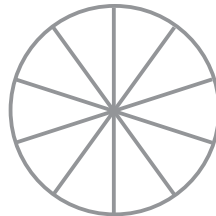
Detección de cambios microevolutivos: Analiza el siguiente ejemplo de una población de mariposas monarca en un bosque de Michoacán y contesta las preguntas en tu cuaderno.

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%)**

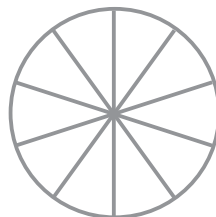


Reflexión: ¿Por qué crees que una variante génica puede ser más común que otra en un bosque denso?

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?

Mecanismos de la Microevolución

La microevolución es el proceso por el cual las frecuencias génicas dentro de una población cambian a lo largo del tiempo. Esto puede ocurrir debido a una combinación de varios mecanismos básicos: **mutación, migración o flujo génico, deriva genética y selección natural**. Se analizará cada uno de estos mecanismos y ejemplos en una población de mariposas monarca para relacionarlos y comprenderlos mejor.

Mutación

En la progresión 10 ya se revisó el tema de mutación, cómo y por qué ocurre. Hay que recordar que las mutaciones son cambios aleatorios en la secuencia de ADN que pueden ocurrir durante la replicación celular, por errores en el proceso, o como resultado de factores externos como radiación, químicos o mutágenos naturales. Las mutaciones generan nuevos alelos (variantes de un gen) que pueden ser ventajosos, neutros o perjudiciales dependiendo del entorno. Aunque las mutaciones específicas son raras, su acumulación en una población proporciona la diversidad genética necesaria para que actúen otros mecanismos de la evolución.

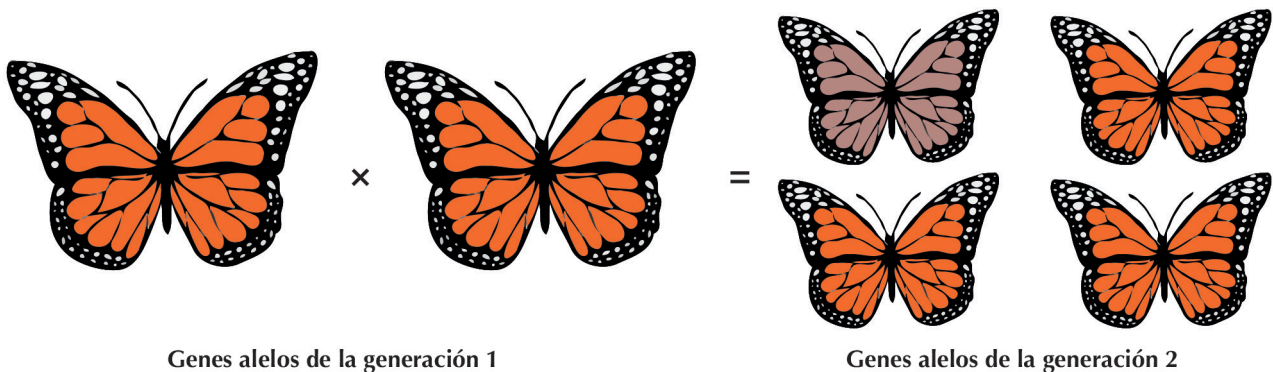
En la población de monarcas, una mutación en un gen relacionado con el pigmento de las alas pudo haber dado lugar a la variante naranja opaco. Aunque esta variante era menos común en el entorno original (bosque denso), el cambio en las condiciones ambientales tras la deforestación aumentó su importancia adaptativa. Esta mutación permitió a las mariposas con alas opacas camuflarse mejor en áreas degradadas, otorgándoles una ventaja frente a depredadores en este nuevo entorno.



Elaborar

Análisis de cómo mutaciones cambian la variabilidad genética de una población.

1. Observa las imágenes representativas y llena la tabla con la información de los genes alelos de cada organismo, y explica lo que ocurrió.



Brillante / Brillante

Brillante / Brillante

2. 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.

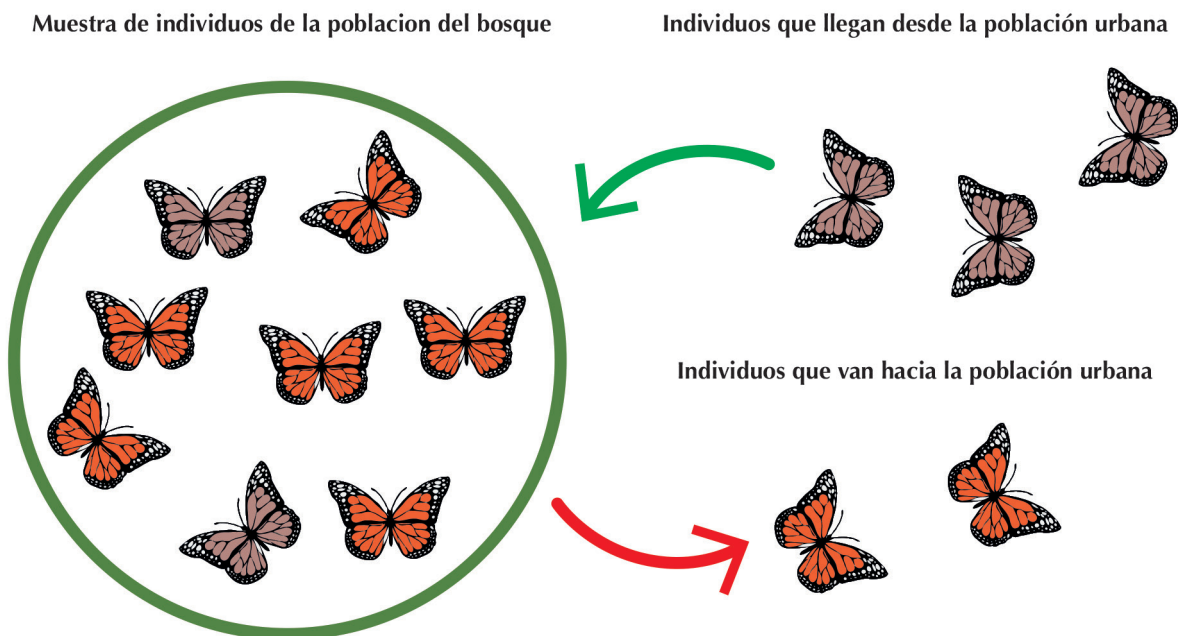
Tras la deforestación, algunas mariposas con alas naranja opaco pudieron llegar desde poblaciones urbanas cercanas, introduciendo su alelo en la población del bosque. Este flujo génico diversificó la composición genética de la población del bosque y facilitó la propagación del alelo naranja opaco.



Elaborar

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

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



2. 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.
3. 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.

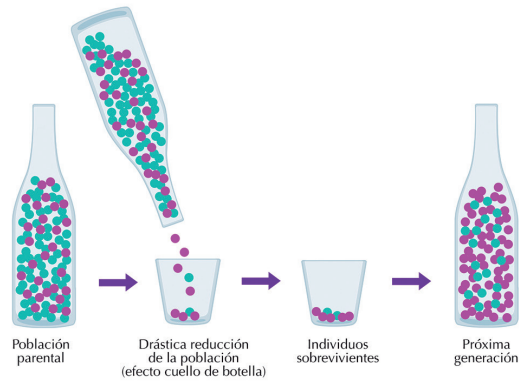


Figura 14.3 La deriva genética se puede comprender a través de los efectos de cuello de botella y efecto fundador de los individuos sobrevivientes.

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: _____	Incendio	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
Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____	depredadores	Naranja brillante: _____ Naranja opaco: _____

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.

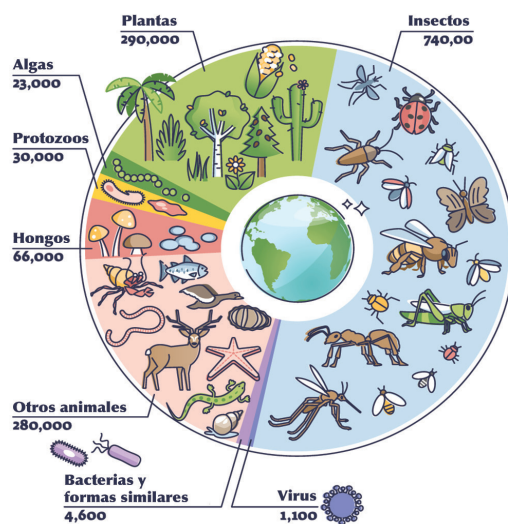
También puedes contestar la actividad en línea de LabXchange, que es un simulador sobre selección natural (en inglés)



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.



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)

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.

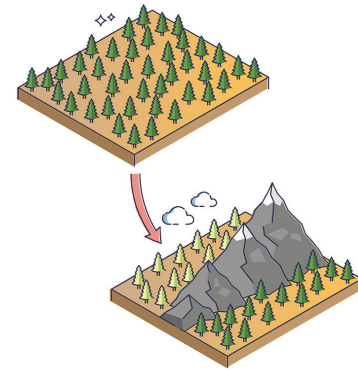


Figura 14.6 Eventos geológicos, como el desarrollo de cadenas montañosas, pueden separar a los individuos de una población, evitando que se puedan reproducir entre ellos y, con el paso de mucho tiempo, generar especies diferentes.

- 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.

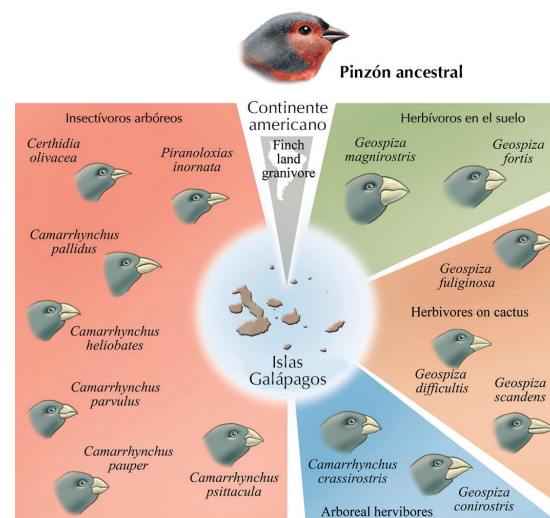


Figura 14.7 Especiación de diferentes pinzones de las islas Galápagos, a partir de un pinzón ancestral, proveniente de la zona ecuatoriana continental.

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.

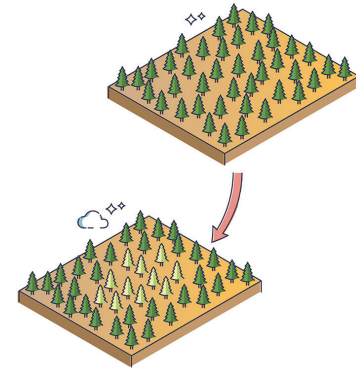


Figura 14.9 Una población da origen a una nueva especie dentro del mismo territorio, debido a barreras reproductivas como cambios ecológicos o genéticos que aíslan a ciertos individuos del resto.



QR Video
HHMI - Biointeractive. El origen de las especies: el pico del pinzón: <https://youtu.be/OQ4OdCp59c4>

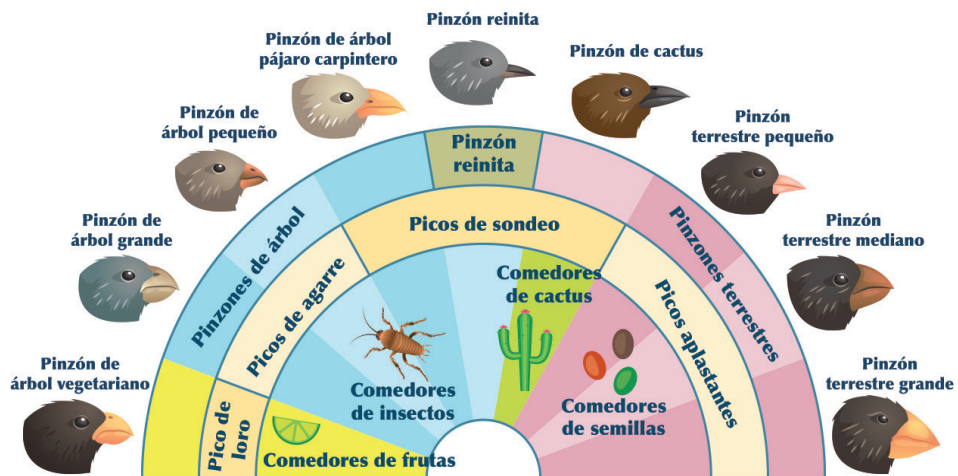


Figura 14.10 Los pinzones de Darwin ejemplifican la radiación adaptativa y la especiación simpátrica, diversificándose a partir de un ancestro común para ocupar distintos nichos en las Galápagos, con variaciones en sus picos según su dieta (semillas, insectos, frutas, cactus).

- 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 cebra 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 **cebroides** (fig. 14.13) sea infértil, aunque podrían existir raras excepciones.

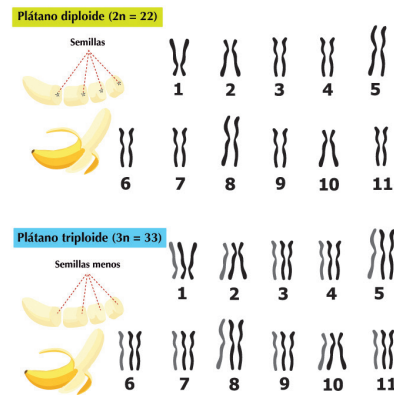


Figura 14.11 Los plátanos diploides ($2n = 22$) tienen semillas, mientras que los triploides ($3n = 33$) no tienen semillas porque no pueden reproducirse y actualmente se reproducen por clonación.



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 cebra 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	Ecológico	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.
	Sexual	Diferencias en patrones de cortejo o comportamiento reproductivo.	Pájaros con cantos de apareamiento distintos que no atraen a individuos de otra especie.
	Temporal	Diferencias en las épocas o momentos de reproducción.	Dos especies de flores que liberan polen en distintas estaciones del año.
	Mecánico	Incompatibilidad física en los órganos reproductivos o gametos.	Insectos con genitales que no se ajustan entre especies diferentes.
	por Polinizadores	Diferentes especies de plantas tienen polinizadores específicos que no comparten.	Flores polinizadas por colibríes versus flores polinizadas por abejas.
	Gamético	Gametos incompatibles por diferencias químicas, especialmente en organismos de fecundación externa.	Corales cuyos gametos no se fertilizan entre sí debido a señales químicas distintas.
	por Barreras de Incompatibilidad	Los espermatozoides no sobreviven en los conductos sexuales de la hembra.	Mamíferos cuyos espermatozoides no pueden fecundar óvulos de otra especie.
Poscigóticos	Inviabilidad de los Híbridos	Los embriones híbridos no completan su desarrollo y mueren en etapas tempranas.	Cruzas entre diferentes especies de salamandras cuyo desarrollo embrionario falla.
	Esterilidad de los Híbridos	Los híbridos nacen saludables pero son infértiles.	Mulas, híbridos entre caballos y burros.
	Deterioro de la Segunda Generación	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.

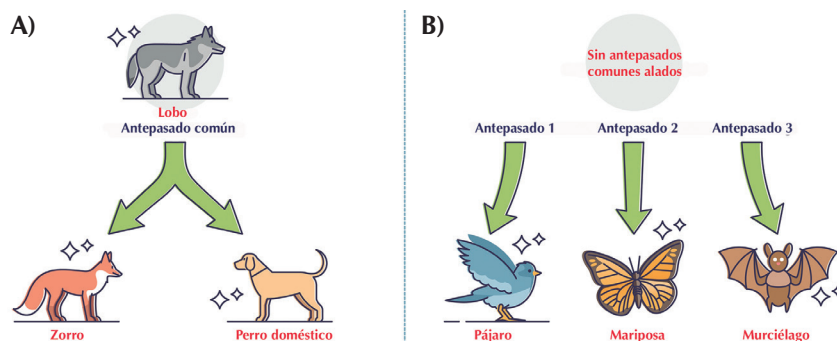


Figura 14.14 La evolución divergente (A) ocurre cuando especies con un ancestro común desarrollan características diferentes, mientras que la evolución convergente (B) sucede cuando especies no relacionadas evolucionan características similares debido a funciones compartidas.

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.

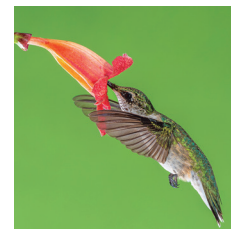
Además, la coevolución puede dar lugar a distintos patrones evolutivos, como la **evolución divergente**, como ocurre en depredadores y presas que desarrollan estrategias cada vez más especializadas para cazarse o defenderse, o a una **evolución convergente**, donde especies no relacionadas desarrollan 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**:

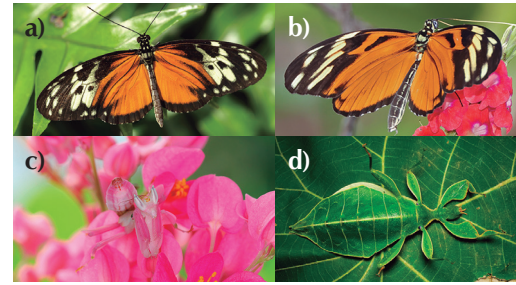
- **Coevolución antagonica:** Se da en relaciones como *depredador-presa* o *parásito-huésped*, donde las especies evolucionan estrategias para superarse mutuamente., como *los antílopes que evolucionan mayor velocidad para escapar de guepardos*, mientras *estos desarrollan mayor agilidad para cazarlos*.



- **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.

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.