

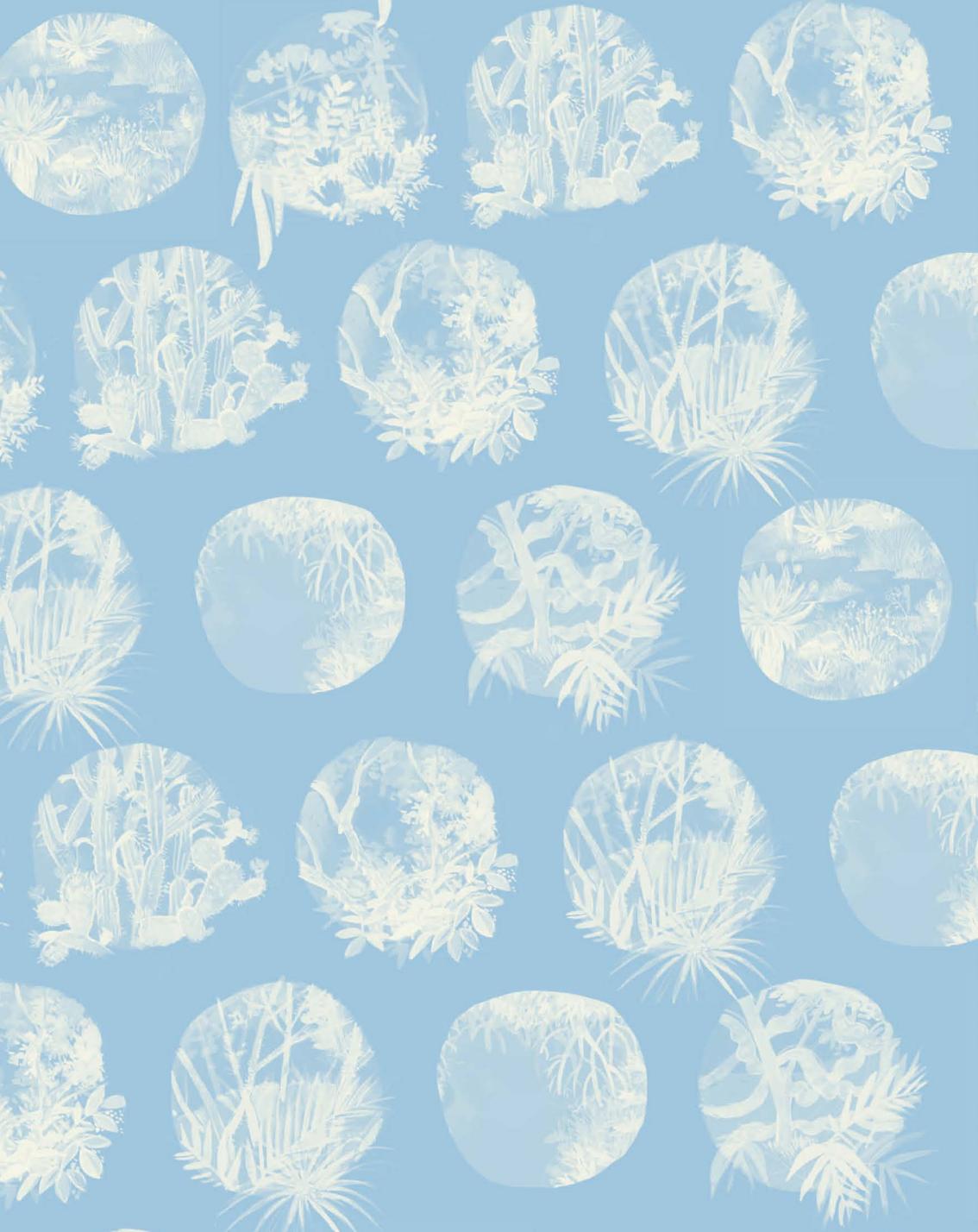


# camBio

Caja de herramientas de la evolución

GUÍA  
INSTRUCTORES

---



# camBio

Caja de herramientas de la evolución

GUÍA  
**INSTRUCTORES**

---



## camBio: caja de herramientas de la evolución

Asociación Colombiana de Biología Evolutiva - COLEVOL

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Wendy A. Valencia-Montoya, Carlos Jiménez-Rivillas, Blanca L. Arbeláez-Torres, Héctor Manuel Arango, Diego Londoño Correa, Lisa Rincón, Edwin A. Hurtado, Laura Sierra, Juan Manuel Villar, Luz Helena Oviedo, Henry Arenas-Castro

### Ilustraciones

Elizabeth Builes

### Diseño y diagramación

Mauricio Ramírez  
Julián Güiza Cubides

### Apoyan

European Society for Evolutionary Biology - ESEB  
Society for the Study of Evolution - SSE

2017

**camBio** ofrece cuatro actividades que te ayudarán a introducir la complejidad de los procesos evolutivos a través del juego. Así, los participantes aprenderán cómo actúan las fuerzas evolutivas simulando fenómenos naturales.

En *Aquí empieza el cambio*, se afectará la habilidad del cóndor andino para percibir olores a través de la simulación del proceso de replicación del ADN, generando **mutaciones** que producirán nuevas formas de un rasgo. En *Recorriendo el bosque seco*, la **migración** entre poblaciones de aves mostrará a los participantes otra forma de generar variación.

En *A que te cojo ratón*, un águila cazando ratones mostrará cómo la **selección natural** determina qué organismos sobreviven dependiendo de sus rasgos y ambiente. En *La vida te da sorpresas*, un evento inesperado determinará qué organismos sobreviven de forma aleatoria y sin importar sus rasgos, tal como actúa la **deriva genética**.

Estas actividades están diseñadas para desarrollarse en cualquier escenario cultural y educativo con personas mayores de 12 años. Aplicados en el aula de clase, contribuirán a alcanzar los estándares básicos de competencias en ciencias naturales delineados por el Ministerio de Educación de Colombia:

## SEXTO A SÉPTIMO

- ☉ Observo fenómenos específicos.
- ☉ Formulo preguntas específicas sobre una observación o experiencia y escojo una para indagar y encontrar posibles respuestas.
- ☉ Formulo explicaciones posibles, con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos, para contestar preguntas.
- ☉ Identifico condiciones que influyen en los resultados de un experimento y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables).
- ☉ Registro mis observaciones y resultados utilizando esquemas, gráficos y tablas.
- ☉ Utilizo las matemáticas como una herramienta para organizar, analizar y presentar datos.
- ☉ Establezco relaciones causales entre los datos recopilados.
- ☉ Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.
- ☉ Propongo respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas y con las de teorías científicas.
- ☉ Reconozco en diversos grupos taxonómicos la presencia de las mismas moléculas orgánicas.
- ☉ Propongo explicaciones sobre la diversidad biológica teniendo en cuenta el movimiento de placas tectónicas y las características climáticas.
- ☉ Establezco las adaptaciones de algunos seres vivos en ecosistemas de Colombia.

## OCTAVO A NOVENO

- ☉ Observo fenómenos específicos.
- ☉ Formulo preguntas específicas sobre una observación, sobre una experiencia o sobre las aplicaciones de teorías científicas.
- ☉ Formulo hipótesis, con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
- ☉ Identifico y verifico condiciones que influyen en los resultados de un experimento y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables).
- ☉ Propongo modelos para predecir los resultados de mis experimentos.
- ☉ Registro mis observaciones y resultados utilizando esquemas, gráficos y tablas.
- ☉ Utilizo las matemáticas como herramienta para modelar, analizar y presentar datos.
- ☉ Establezco relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados.
- ☉ Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.
- ☉ Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas y con las de teorías científicas.
- ☉ Reconozco la importancia del modelo de la doble hélice para la explicación del almacenamiento y transmisión del material hereditario.
- ☉ Formulo hipótesis acerca del origen y evolución de un grupo de organismos.
- ☉ Comparo diferentes teorías sobre el origen de las especies.

## DÉCIMO A UNDÉCIMO

- ☉ Observo y formulo preguntas específicas sobre aplicaciones de teorías científicas.
- ☉ Formulo hipótesis con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
- ☉ Identifico variables que influyen en los resultados de un experimento.
- ☉ Propongo modelos para predecir los resultados de mis experimentos y simulaciones.
- ☉ Registro mis observaciones y resultados utilizando esquemas, gráficos y tablas.
- ☉ Establezco relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados.
- ☉ Relaciono la información recopilada con los datos de mis experimentos y simulaciones.
- ☉ Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.
- ☉ Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otros y con las de teorías científicas.
- ☉ Explico la relación entre el ADN, el ambiente y la diversidad de los seres vivos.
- ☉ Establezco relaciones entre mutación, selección natural y herencia.
- ☉ Comparo casos en especies actuales que ilustren diferentes acciones de la selección natural.
- ☉ Explico y comparo algunas adaptaciones de seres vivos en ecosistemas del mundo y de Colombia.

Las actividades pueden ser desarrolladas en una sola jornada o de forma independiente en el siguiente orden:

- ☉ Mutación. *Aquí comienza el cambio*. 15 min.
- ☉ Migración. *Recorriendo el bosque seco*. 15 min.
- ☉ Selección natural. *¡A que te cojo ratón!* 15 min.
- ☉ Deriva genética. *La vida te da sorpresas*. 15 min.

La caja de herramientas de la evolución contiene:

- ☉ 4 tableros de juego
- ☉ 4 dados
- ☉ 40 fichas de bobitos punteados
- ☉ 40 fichas de tortugas palmeras
- ☉ 2 marcadores

## RECURSOS EN LÍNEA

- ☉ ARKive Education. <<http://www.arkive.org/education/>>.
- ☉ Comprendiendo la Evolución. <<http://sesbe.org/evosite/evohome.html>>.
- ☉ BioInteractive Evolution. <<http://www.hhmi.org/biointeractive/evolution-collection>>.

**MUTACIÓN****AQUÍ EMPIEZA EL CAMBIO****¿QUÉ HAREMOS?**

En *Aquí empieza el cambio*, se simulará la replicación del ADN. El orden de las bases que lo componen (Adenina, Timina, Citosina y Guanina), leídas en grupos de a tres (tripletas), determina el tipo de proteínas que se producen. Diferentes combinaciones pueden codificar el mismo producto o uno diferente. Los participantes copiarán rápidamente una secuencia que codifica tres veces el mismo receptor olfativo de un cóndor. Si cometen errores, podrían obtener los mismos receptores o alguno nuevo que detecte sustancias menos o más volátiles. Al final, discutirán cómo un error aleatorio puede hacer variar un rasgo importante para la supervivencia.

**¿QUÉ OBSERVAREMOS?**

La mayoría de los participantes cometerán errores aleatorios al copiar la secuencia de ADN. Estas mutaciones pueden *i)* no producir cambios en el receptor olfativo, *ii)* producir un nuevo receptor que detecte sustancias más volátiles o *iii)* producir un nuevo receptor que detecte sustancias menos volátiles. Así, las mutaciones podrían no afectar la capacidad del cóndor para detectar alimento o afectarla positiva o negativamente. Si el nuevo receptor detecta sustancias muy volátiles, el cóndor podrá encontrar alimento desde grandes distancias. Si detecta sustancias poco volátiles, el cóndor solo podrá encontrar el alimento cercano a el.

**¿QUÉ APRENDEREMOS?**

- ☉ Durante la replicación del ADN se producen mutaciones.
- ☉ Las mutaciones pueden alterar o no un rasgo. Cuando lo alteran, puede tener consecuencias positivas o negativas para la supervivencia de los organismos.
- ☉ Las mutaciones ocurren de forma aleatoria.

**PASO A PASO**

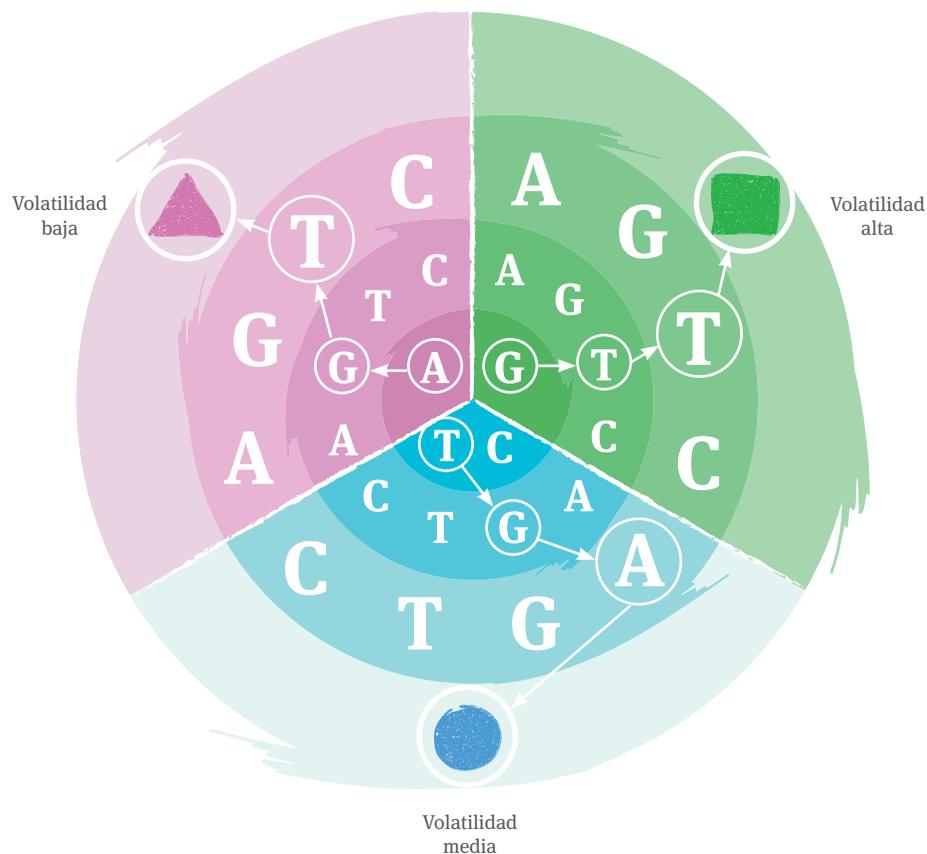
1. Entrega una hoja de papel y lápiz a cada participante.
2. Léeles la descripción de *Aquí empieza el cambio* que se encuentra en la Guía Jugadores.
3. Pídeles que observen cuidadosamente y memoricen la secuencia de ADN que les mostrarás a continuación.
4. Muéstrales la siguiente secuencia por *5 segundos*.

T	G	A	C	A	G	C	T	C
---	---	---	---	---	---	---	---	---

*Secuencia original*

5. Solicítales que copien en silencio la secuencia que les acabas de mostrar.
6. Guiados por el código genético simplificado del tablero de juego, ayúdales a identificar qué tipo de sustancias detectan los receptores codificados por la copia de ADN que realizaron.

Las letras del centro representan la primera base de la tripleta, las del medio representan la segunda base y las del borde exterior representan la tercera base.



- ⊙ Primera base de la tripleta
- ⊙ Segunda base de la tripleta
- ⊙ Tercera base de la tripleta

**Ejemplos de secuencias**

- G → T → T = ■
- T → G → A = ●
- A → G → T = ▲

7. Pídeles que comparen el receptor que produjeron con el codificado por la secuencia original:

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">C</td> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">C</td> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">C</td> </tr> </table>	T	G	A	C	A	G	C	T	C	<i>Secuencia original</i>		
T	G	A	C	A	G	C	T	C				
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px; color: yellow;">T</td> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px; color: yellow;">G</td> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">C</td> </tr> </table>	T	G	A	T	A	G	G	T	C	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-weight: bold;">2</span> <i>Número de mutaciones</i>		
T	G	A	T	A	G	G	T	C				
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 2px; color: yellow;">A</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">C</td> <td style="padding: 2px; color: yellow;">T</td> <td style="padding: 2px;">G</td> <td style="padding: 2px;">C</td> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">C</td> </tr> </table>	A	G	A	C	T	G	C	T	C	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-weight: bold;">2</span> <i>Número de mutaciones</i>		
A	G	A	C	T	G	C	T	C				

8. Revisa los resultados con los participantes y pídeles que discutan entre ellos las siguientes preguntas durante 5 minutos:

- a. ¿Las copias de ADN que generaron contienen mutaciones? ¿Cuántas?
- b. ¿Todas las mutaciones se produjeron en los mismos sitios o fueron aleatorias?

- c. Inicialmente, el cóndor andino sólo tenía un tipo de receptor olfativo, ¿las mutaciones generaron nuevas variantes de este rasgo?
  - d. Si se produjo una nueva variante del receptor olfativo, ¿esta afectará positiva o negativamente la capacidad del cóndor para encontrar alimento?
9. Socializa las respuestas y resuelve las inquietudes de los participantes.



## MIGRACIÓN

# RECORRIENDO EL BOSQUE SECO

### ¿QUÉ HAREMOS?

En *Recorriendo el bosque seco*, el bobito punteado se desplazará por cuatro fragmentos de bosque seco. Cada fragmento alberga una población de diez individuos con rasgos únicos: garganta blanca y una banda en el pecho, garganta blanca y dos bandas en el pecho, garganta colorada y una banda en el pecho o garganta colorada y dos bandas en el pecho. Los participantes conformarán cuatro grupos, uno por cada población, y lanzarán los dados en cinco rondas. Cada ronda representará una generación y el resultado de los dados dirigirá los eventos de migración entre poblaciones.

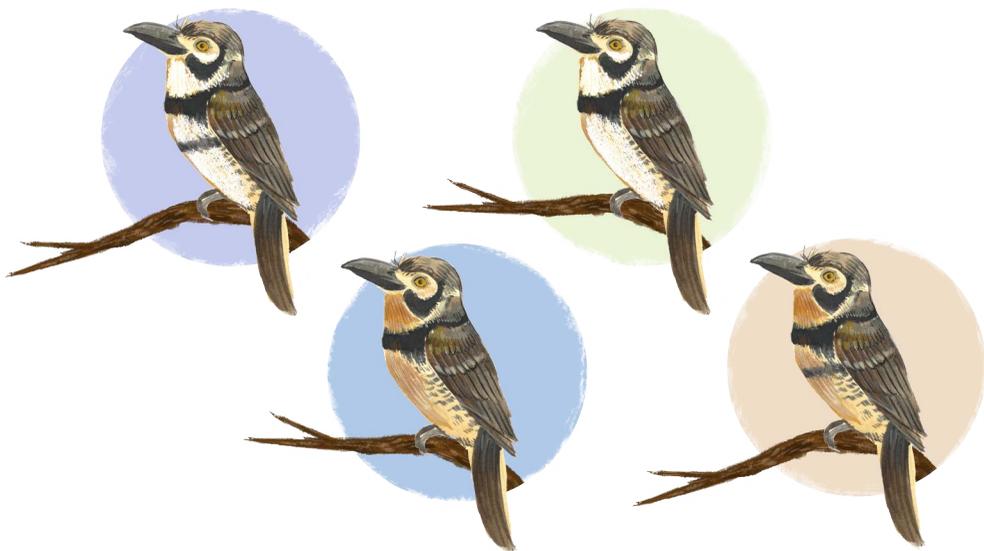
### ¿QUÉ OBSERVAREMOS?

Luego de cinco generaciones con eventos de migración entre todas las poblaciones, los cuatro fragmentos de bosque seco ya no estarán compuestos únicamente por bobitos de un solo tipo, sino por bobitos con rasgos provenientes de diferentes poblaciones. Al rastrear el origen de los nuevos individuos, la mayoría de los migrantes vendrán de las poblaciones más cercanas y unos pocos de las más alejadas.

### ¿QUÉ APRENDEREMOS?

- ☉ La migración introduce nuevas formas de un rasgo a una población, alterando sus proporciones.





☉ Las poblaciones más cercanas intercambian más individuos entre ellas.

**PASO A PASO**

1. Conformar cuatro grupos y asignar uno de los siguientes fragmentos de bosque seco en el tablero de juego: A, B, C, D.
2. Pídele a cada grupo que ubique 10 fichas de un mismo color, que representan una población de bobitos punteados, en el fragmento de bosque que les corresponde.
  - Fragmento A: garganta blanca y una banda en el pecho.
  - Fragmento B: garganta blanca y dos bandas en el pecho.
  - Fragmento C: garganta colorada y una banda en el pecho.
  - Fragmento D: garganta colorada y dos bandas en el pecho.
3. Léales la descripción de *Recorriendo el bosque seco* que se encuentra en la Guía Jugadores.

4. Realiza cinco rondas de lanzamiento de dados, equivalentes a cinco generaciones, para definir la dirección de migración de los bobitos guiados por el siguiente código:

DADOS	ACCIÓN
2	Ningún individuo se desplaza esta generación.
3	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la derecha.
4	Desplaza un individuo al fragmento ubicado en frente.
5	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la izquierda.
6	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la derecha.
7	Ningún individuo se desplaza esta generación.
8	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la izquierda.
9	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la derecha.
10	Desplaza un individuo al fragmento ubicado en frente.
11	Desplaza un individuo al fragmento ubicado a la izquierda.
12	Ningún individuo se desplaza esta generación.

5. Cuenta con los participantes cuántos bobitos de cada tipo hay en cada fragmento de bosque seco luego de cinco generaciones y presenta los resultados de la siguiente forma:

Bobitos	Fragmento A	Fragmento B	Fragmento C	Fragmento D
Garganta blanca Una banda				
Garganta blanca Dos bandas				
Garganta colorada Una banda				
Garganta colorada Dos bandas				



6. Revisa los resultados con los participantes y pídeles que discutan entre ellos las siguientes preguntas durante 5 minutos:
  - a. ¿Cómo están compuestas las poblaciones de bobitos punteados en los fragmentos de bosque seco luego de 5 generaciones de migración? ¿Sigue existiendo un solo tipo de bobito por fragmento?
  - b. ¿La migración introdujo variación en las poblaciones del bobito punteado?
  - c. ¿Cuáles poblaciones intercambiaron más bobitos: las más cercanas o las más alejadas?
7. Socializa las respuestas a estas preguntas y resuelve las inquietudes de los participantes.



## SELECCIÓN NATURAL

# ¡A QUE TE COJO RATÓN!

### ¿QUÉ HAREMOS?

En *A que te cojo ratón*, los participantes asumirán el rol de un depredador, un águila paramuna, en dos ecosistemas con vegetación contrastante: el páramo es de tonos marrones y el bosque de niebla es oscuro por la sombra de sus árboles. La presa, un ratón andino, se encuentra entre la vegetación y puede ser negra o marrón. Los participantes deberán localizar la mayor cantidad de ratones en cada ecosistema en poco tiempo. Al contar cuántos ratones de cada tipo fueron cazados en cada ecosistema, se evaluará cómo las diferencias en el ambiente y los rasgos de los individuos pueden afectar la supervivencia.

### ¿QUÉ OBSERVAREMOS?

Los ratones negros serán más depredados en el páramo y los marrones en el bosque de niebla, pues su coloración contrasta más con la vegetación de su ecosistema y son más evidentes para el águila. Tras varias generaciones ocurriendo el mismo proceso, los ratones marrones aumentarán su proporción en el páramo y los negros en el bosque de niebla. Al considerar el tipo de ecosistema y los rasgos de los ratones, se puede predecir el efecto de la selección natural sobre estas poblaciones.





### ¿QUÉ APRENDEREMOS?

- ☉ Los rasgos de los individuos determinan quiénes son seleccionados en una población.
- ☉ El efecto de la selección natural puede variar dependiendo del ambiente en que se encuentre la población.
- ☉ La trayectoria del cambio evolutivo producido por la selección natural en una población se puede predecir al considerar los rasgos seleccionados y el ambiente.

### PASO A PASO

1. Entrega una hoja de papel y lápiz a cada participante.
2. Léeles la descripción de *¡A que te cojo ratón!* que se encuentra en la Guía Jugadores.
3. Aún con el tablero de juego cubierto, pídeles que busquen la mayor cantidad de ratones que puedan y que registren sus coordenadas (ej. A2, C4, D3).
4. Muéstrales el tablero de juego por *5 segundos*.
5. Pídeles que cuenten cuántos ratones de cada tipo fueron cazados en cada ecosistema con la ayuda de la siguiente tabla:

Celda	Color	Ecosistema	Celda	Color	Ecosistema	Celda	Color	Ecosistema
A1	Negro	Páramo	B3	Negro	Páramo	C6	Negro	Bosque
A2	Negro	Páramo	B5	Negro	Bosque	D1	Marrón	Bosque
A3	Marrón	Páramo	B6	Marrón	Bosque	D2	Marrón	Bosque
A4	Marrón	Páramo	C1	Marrón	Páramo	D3	Negro	Bosque
A5	Negro	Páramo	C2	Marrón	Páramo	D4	Marrón	Bosque
B1	Negro	Páramo	C4	Negro	Bosque	D6	Negro	Bosque
B2	Marrón	Páramo	C5	Marrón	Bosque			

6. Suma cuántos ratones de cada tipo fueron cazados en cada ecosistema por todos los participantes y registra los resultados así:

Ecosistema	Ratones cazados	
	Negros	Marrones
Páramo		
Bosque de niebla		

7. Revisa los resultados con los participantes y pídeles que discutan entre ellos las siguientes preguntas durante 5 minutos:
  - a. ¿Cuál fue el tipo de ratón más cazado en cada ecosistema?
  - b. ¿Cuál fue el rasgo de los ratones que se seleccionó?
  - c. ¿El ecosistema en que viven los ratones afectó la selección del rasgo? ¿Cómo?
  - d. ¿Cuál será el tipo de ratón más abundante dentro de varias generaciones en cada ecosistema si la presión del águila paramuna persiste?
8. Socializa las respuestas a estas preguntas y resuelve las inquietudes de los participantes.



**DERIVA GENÉTICA****LA VIDA TE DA SORPRESAS****¿QUÉ HAREMOS?**

En *La vida te da sorpresas*, algunos eventos aleatorios alterarán la proporción de un rasgo en una población. Una inundación repetida cubrirá algunas playas de un humedal donde reposan los huevos de tortugas palmeras. Los participantes definirán la suerte de los huevos de cuatro poblaciones lanzando dados. En algunos casos el huevo sobrevivirá y en otros no, sin que el resultado dependa del color del caparazón de la tortuga. Al final, los participantes evaluarán cómo un evento aleatorio puede alterar la proporción de un rasgo en varias poblaciones con resultados diferentes.

**¿QUÉ OBSERVAREMOS?**

La tormenta tendrá consecuencias diferentes en cada población: la proporción de tortugas de caparazón negro puede aumentar, disminuir o permanecer igual. En algunos casos extremos, una de las formas del rasgo puede desaparecer en una población de una generación a otra, eliminando la variación. En conjunto, se mostrará cómo algunos eventos aleatorios e independientes de los rasgos de los individuos pueden producir cambios evolutivos impredecibles.

**¿QUÉ APRENDEREMOS?**

- ☉ Eventos aleatorios pueden determinar cuáles individuos pasan sus rasgos a la siguiente generación, independientemente de sus rasgos.
- ☉ La trayectoria del cambio evolutivo no se puede predecir cuando opera la deriva genética.

**PASO A PASO**

1. Conformar cuatro grupos y asignar una de las siguientes playas del humedal en el tablero de juego: A, B, C, D.
2. Pídele a cada grupo que ubique cinco fichas de tortugas negras y cinco fichas de tortugas verdes, que representan una población de tortugas palmeras, en la playa del humedal que les corresponde.
3. Léales la descripción de *La vida te da sorpresas* que se encuentra en la Guía Jugadores.
4. Pídeles que lancen *un dado por cada ficha* para determinar cómo la tormenta afectará la supervivencia del huevo que representa guiados por la siguiente tabla:



DADO	EFEECTO
Número par	Retirar la ficha. El rasgo de esta tortuga <i>no pasará</i> a la siguiente generación.
Número impar	Conservar la ficha. El rasgo de esta tortuga <i>sí pasará</i> a la siguiente generación.

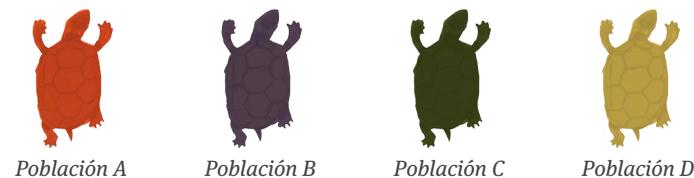
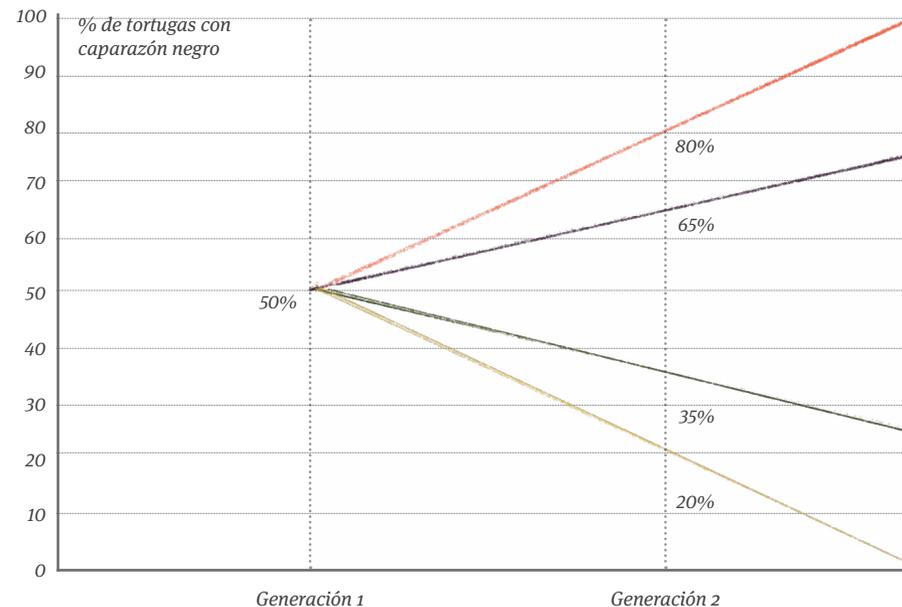
5. Registra los resultados de la siguiente forma:

Población	Total de huevos sobrevivientes	Huevos sobrevivientes de tortugas con caparazón negro	% de tortugas con caparazón negro en la siguiente generación
			
			
			
			

El porcentaje de tortugas con caparazón negro en la siguiente generación se calcula así:

$$\frac{\text{Huevos sobrevivientes de tortugas de caparazón negro}}{\text{Total de huevos sobrevivientes}} \times 100$$

6. Grafica los resultados de la siguiente forma:



Recuerda que al inicio (generación 1) el 50 % de las tortugas tenían caparazón negro.

7. Revisa los resultados con los participantes y pídeles que discutan entre ellos las siguientes preguntas durante 5 minutos:

- a. ¿La tormenta alteró la proporción de tortugas con caparazón negro de una generación a otra?
  - b. ¿La proporción de tortugas con caparazón negro cambió de forma similar en todas las poblaciones?
  - c. ¿El color del caparazón determinó cuáles huevos sobrevivieron a la tormenta?
8. Socializa las respuestas a estas preguntas y resuelve las inquietudes de los participantes.

