



CÓMO UTILIZAR ESTE RECURSO

Las imágenes en este recurso comparan modelos de animales silvestres con animales que tienen una mutación que les hace carecer de una proteína necesaria para la coloración del cuerpo. Estas imágenes pueden servir como fenómenos para explorar los conceptos clave que se describen a continuación.

La práctica pedagógica de utilizar fenómenos para contextualizar la comprensión de conceptos y temas científicos es una [práctica de implementación](#) apoyada por los Estándares Científicos para las Próximas Generaciones (NGSS, por sus siglas en inglés). Los fenómenos son acontecimientos observables que los estudiantes pueden usar para generar preguntas científicas que promuevan la investigación o para diseñar soluciones a problemas que sean conducentes al aprendizaje. De este modo, los fenómenos conectan el aprendizaje con lo que ocurre en el mundo y, al mismo tiempo, brindan a los estudiantes la oportunidad de aplicar el conocimiento mientras lo profundizan/mejoran/desarrollan.

Las secciones “Sugerencias para la implementación” y “Consejos didácticos” ofrecen opciones para incorporar las imágenes a un plan o unidad de estudio, y se pueden modificar para utilizarse como actividad independiente o para complementar una lección existente. La “Hoja de trabajo para el estudiante” incluye las imágenes y la sección de “Información general”.

Para encontrar información adicional relacionada a la pedagogía e implementación de este material, incluida la audiencia sugerida y el tiempo estimado de la clase, favor de visitar la [página web de este recurso](#).

CONCEPTOS CLAVE

- A. El estudio de organismos modelo puede brindar información valiosa sobre la función de los genes.
- B. La coloración en los vertebrados puede ser estudiada a través de análisis genéticos, moleculares y celulares en distintos organismos y ayudar a esclarecer la evolución del color de piel en los seres humanos.

INFORMACIÓN GENERAL

Muchos animales tienen colores que cumplen con una variedad de funciones importantes. Estos colores pueden ayudarlos a comunicarse, a mezclarse con su ambiente (camuflaje), a reconocer a miembros de su familia o a escoger pareja. Por ello, el conjunto y la disposición de los colores de la piel de un animal, conocida como coloración, puede tener efectos evolutivos importantes.

La manera en que se forma la coloración en los vertebrados, incluyendo el color de la piel, es poco entendido. Los investigadores usan organismos modelo, como ratones y peces cebras, para estudiar los genes que se encargan de la coloración. Uno de los genes que la comunidad científica está investigando es el *MFSD12*, que juega un papel en la coloración de la piel humana. Los científicos han usado una técnica llamada CRISPR-Cas9 para inactivar el gen *MFSD12* en el pez cebra y en los ratones. “Inactivar” un gen detiene la expresión de su proteína.

Imágenes de la A a la D (pez cebra)

Estas cuatro imágenes son primeros planos de embriones de peces cebras de 6 días. Las imágenes A y C muestran peces cebra silvestres. Las imágenes B y D muestran peces cebras con una mutación que les ha inactivado la expresión del gen *MFSD12*.

La mayoría de los peces cebras tiene líneas horizontales formadas por células que contienen pigmento, llamadas cromatóforos. Un xantóforo es un tipo de cromatóforo que típicamente contiene pigmentos amarillos.

Para las imágenes A (silvestre) y B (mutante), los científicos pintaron los pigmentos de los xantóforos con un tinte de color oscuro. Para las imágenes C (silvestre) y D (mutante), usaron una técnica que les permite visualizar la localización de los xantóforos. Los xantóforos son las áreas que se ven de color claro en la imagen.

Imágenes E y F (ratones)

La imagen E muestra a dos ratones de la misma camada. El ratón café de la izquierda es silvestre, y el gris de la derecha es el mutante, en el cual se ha inactivado la expresión del gen *MFSD12*.

La imagen F muestra de cerca el pelo de cada ratón. El pelo de la izquierda fue tomado del ratón silvestre y el de la derecha fue tomado del mutante.

SUGERENCIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Las siguientes sugerencias describen varias opciones para incorporar las imágenes como fenómeno a una unidad de estudio:

Participación, conocimiento previo y contexto:

- Divide a los estudiantes en grupos de dos o tres y dale a cada grupo una copia de las imágenes. Explícales que las imágenes de la A a la D corresponden a embriones de peces cebra de 6 días y que las imágenes E y F son de ratones de una misma camada y de su pelo.
- Pide a cada grupo de estudiantes que examine las imágenes y haz una lista de las observaciones; primero de los peces cebra y después de los ratones. Promueve la utilización de frases como: “Yo observo que...”, “Esto me recuerda a...” y “Me pregunto si...”
- Haz que los estudiantes compartan sus observaciones con la clase. Escribe las observaciones de la clase, tomando nota de cuando hagan observaciones semejantes entre los estudiantes. También, asegúrate de escribir y discutir las preguntas que tengan los estudiantes acerca de estas imágenes. Puedes volver a estas preguntas y observaciones más adelante en la actividad.
 - Los estudiantes podrían preguntarse qué parte del pez cebra están mirando en las imágenes A a la D.
 - Los estudiantes podrían preguntarse por qué la imagen A parece tener estructuras semejantes a una telaraña, mientras que la imagen B no las tiene.
 - Los estudiantes podrían preguntar qué técnicas fueron utilizadas para visualizar las estructuras en las imágenes A y B, en comparación con las imágenes C y D.
 - Los estudiantes podrían preguntarse por qué los dos ratones en la imagen E tienen pelaje de color diferente.
 - Los estudiantes podrían mencionar que el pelo a la izquierda de la imagen F es amarillo o marrón en la punta, mientras que el pelo de la derecha no lo es.
 - Los estudiantes podrían observar que la base de los pelos de la imagen F tienen un tono oscuro similar entre ellos.
- Diles a los estudiantes que las imágenes están comparando peces cebra y ratones silvestres con individuos que tienen una mutación. Esta mutación afecta la expresión del gen relacionado a la coloración, tanto de los peces cebra como de los ratones. Pregúntales a los estudiantes por qué creen que los científicos estén interesados en investigar este gen.
 - Los estudiantes podrían afirmar que el gen podría estar presente también en otros animales, como los humanos.
 - Los estudiantes podrían sugerir que el gen podría estar ligado con la habilidad de los peces cebra y de los ratones para sobrevivir bajo diferentes condiciones ambientales.
 - Los estudiantes podrían sugerir que el gen podría estar ligado con uno o más problemas de salud.

- En este punto, pide a los estudiantes leer la “Información general” que aparece en las imágenes.
 - Como aclaración, esta lectura de información general analiza *MFSD12*, el gen que afecta el color de piel en humanos. Este gen tiene genes ortólogos con nombres distintos en diferentes organismos. En el pez cebra, el gen correspondiente se llama *mfsd12a*. En los ratones, el nombre del gen es *Mfsd12*. En esta actividad se usa el nombre *MFSD12* para simplificar.
- Pide a los estudiantes que releen la sección titulada “Imágenes A a la D (peces cebra)” y discutan las siguientes preguntas:
 - ¿Difiere la cantidad de pigmentación en los embriones de tipo silvestre de la de los embriones mutantes? (Los estudiantes deben usar las imágenes A y B para responder esta pregunta).
 - ¿Difiere el número de xantóforos en los embriones silvestres de los que tienen los mutantes? (Los estudiantes deben usar las imágenes C y D para responder esta pregunta).
 - ¿Qué parecen sugerir las observaciones previas que has hecho?
- Haz que los estudiantes reexaminen la imagen F y discutan la siguiente pregunta:
 - ¿Cuáles son algunas de las similitudes y diferencias entre los pelos de la imagen F? (Los estudiantes deben observar que los dos ratones tienen una pigmentación oscura cerca de la raíz. Sin embargo, el pelo del ratón silvestre tiene una pigmentación amarilla clara en la punta que no está presente en el pelo del ratón mutante).
- Haz que los estudiantes consideren las siguientes preguntas, ya sea como una evaluación formativa o para dar pie a alguna de las actividades que se sugieren en la siguiente sección:
 - Según tus observaciones de las imágenes ¿qué es lo que el gen *MFSD12* parece regular tanto en el pez cebra como en los ratones? ¿Cómo puede ser dañina o beneficiosa la presencia o ausencia de este gen? ¿Qué preguntas surgen con respecto al rol de *MFSD12* en el color de la piel humana?

Exploración, evaluación y extensión:

- Exploración/Investigación:
 - Los estudiantes pueden profundizar su investigación sobre la relación entre la coloración de los peces cebra y el color de la piel humana a través de la actividad [Zebrafish and Skin Color](https://www.hhmi.org/biointeractive/zebrafish-and-skin-color) (<https://www.hhmi.org/biointeractive/zebrafish-and-skin-color>) (recurso en inglés). Esta actividad se enfoca en otro gen, *SLC24A5*, que también juega un papel en la coloración del pez cebra. Las variaciones en este gen juegan un papel importante en la expresión de tonos de piel más claros en personas de ascendencia europea.
 - En esta actividad, los estudiantes exploran datos generados a partir de estudios genéticos en peces cebra que les ayudan a entender la función y evolución de *SLC24A5*. Usan datos reales para construir explicaciones, hacer predicciones, proponer hipótesis y generar argumentos con base en evidencia.
 - Como parte de esta actividad, los estudiantes deben ver el cortometraje [La biología del color de la piel](#). Este propone una explicación sobre la evolución de los diferentes tonos de piel de poblaciones humanas que viven en distintas partes del mundo.
 - De manera alternativa, los estudiantes pueden aprender directamente sobre la evolución del color de la piel humana a través de las siguientes actividades y películas:
 - Los estudiantes podrían empezar con la actividad [El color de la piel humana: Evidencia de selección](#). Durante esta actividad deben ver el cortometraje [La biología del color de la piel](#). Después de ver un segmento particular del cortometraje, deben analizar los datos de la figura científica presentada y generar argumentos basados en evidencia, usando los datos y la información de la película.
 - Después, los estudiantes pueden trabajar usando el video interactivo [How We Get Our Skin Color](#) (recurso en inglés). Este video muestra una animación que describe cómo y dónde se produce la

melanina en nuestras células y los factores que afectan nuestro color de piel. Los estudiantes pueden pausar la animación en cinco momentos distintos para aprender más y generar un mayor interés en el material.

- Evaluación:

- Dale a cada estudiante una hoja de papel. Pídeles que escriban su nombre en la parte superior y que enumeren tres factores que han influido en la evolución del color de la piel humana. Después, haz que los estudiantes intercambien su lista con otro estudiante. Establece un sistema en el que el intercambio de las listas se haga de manera organizada.
- La siguiente persona debe examinar la nueva lista y añadir cualquier idea de su propia lista que no se encuentre en la que tiene en sus manos. Diles cuando sea el tiempo de pasar las listas al siguiente estudiante. Dependiendo del tamaño de tu clase, determina cuántas respuestas debe revisar cada estudiante. Continúa el proceso hasta que hayan alcanzado ese número. En ese punto, las listas deben regresar a sus autores originales.
- Pide a los estudiantes que compartan uno de los factores de su lista y que expliquen de qué manera influyó ese factor en la evolución del color de la piel humana.
- También pide a los estudiantes que compartan cualquier factor que haya sido agregado a su lista y sobre el que tengan alguna duda. Haz que la clase discuta si estos factores pueden haber influido en el color de la piel y qué información necesitarían saber para tomar esa decisión.

- Extensión:

- Haz que los estudiantes completen la actividad [Explicando los cambios de color de pelaje en poblaciones de ratones de bolsillo](#). Esta actividad está basada en el estudio clásico sobre la evolución del color del pelaje en las poblaciones de ratones de bolsillo. Esta actividad se basa en el cortometraje [Selección natural y adaptación](#). Pide a los estudiantes que resuman la evidencia sobre la evolución por selección natural presentada en la película y en las figuras de un artículo científico.
 - Pide a los estudiantes que apliquen lo que han aprendido en esta actividad para explicar la evolución del color en la piel humana. ¿Existen elementos en común?
 - Divide a los estudiantes en grupos de dos o tres y pídeles que discutan cómo la variación, la herencia, la supervivencia diferencial y la reproducción han jugado un papel en la evolución del color del pelaje de los ratones y del color de la piel humana.
 - Haz que cada grupo comparta sus ideas con la clase. Los estudiantes deberían concluir que el color de la piel está regulado por varios genes y que hay variantes de esos genes en todas las poblaciones de vertebrados. En muchos casos, los factores ambientales seleccionan a favor o en contra de estas variantes en el color de la piel, generando reproducción y supervivencia diferencial y, por lo tanto, cambios en las poblaciones de ratones a lo largo del tiempo.
- Haz que los estudiantes completen el *Punto de datos* [Skin Color and Human Evolution](#) (recurso en inglés), que explora una figura del mismo artículo científico que las imágenes usadas en esta actividad.
 - Los estudiantes avanzados pueden leer el artículo original, que se encuentra listado abajo en la sección de “Recursos”, para aprender más sobre las imágenes usadas en esta actividad y en el Punto de Datos.
- Haz que los estudiantes trabajen en el *Haz clic & aprende* [CRISPR-Cas9: Mecanismo y aplicaciones](#) que explora el CRISPR-Cas9 como una herramienta biotecnológica. El CRISPR-Cas9 fue usado para crear los peces cebra y los ratones con mutaciones de las imágenes. El *Haz clic & aprende* incluye videos de investigadores usando el CRISPR-Cas9 tanto para hacer investigación básica como para hacer investigación aplicada en agricultura y medicina.

CONSEJOS DIDÁCTICOS

- Muéstrales las imágenes a los estudiantes antes de que lean la información general.
- La información general puede modificarse de acuerdo con la habilidad de los estudiantes, la secuencia del curso, etc.
- Puedes proyectar las imágenes en lugar de utilizar materiales impresos.
- Las imágenes impresas se pueden laminar para ser utilizadas en múltiples clases.

SUGERENCIAS DE RECURSOS ADICIONALES

Usa estas imágenes para presentar las lecciones sobre:

- Organismos modelo
- CRISPR-Cas9
- Herencia y variación de rasgos
- Selección natural y adaptación

RECURSOS

Figura 7 de:

Nicholas G. Crawford, Derek E. Kelly, Matthew E. B. Hansen, Marcia H. Beltrame, Shaohua Fan, Shanna L. Bowman, Ethan Jewett, et al. "Loci associated with skin pigmentation identified in African populations." *Science* 358, 6365 (2017). <https://doi.org/10.1126/science.aan8433>.

Una versión anotada del artículo también está disponible en [Science in the Classroom](#) (recurso en inglés).

CRÉDITOS

Escrito por Mary Colvard (retirada), Cobleskill-Richmondville High School, NY

Editado por Sydney Bergman, Esther Shyu, HHMI

Traducido al español por Jara M. Ríos Rodríguez, Independent Scholar; y editado por Lorena Villanueva-Almanza, Freelance Editor; Inés Gutiérrez Jaber, Red Mexicana de Periodistas de Ciencia y Zulmarie Pérez Horta, HHMI.