



### ¿CÓMO UTILIZAR ESTE RECURSO?

Las imágenes en este recurso, las cuales muestran las células de la punta de la raíz y del estoma de una planta, pueden servir como fenómenos ancla para explorar los conceptos clave que se describen a continuación. Cada imagen muestra una respuesta de las plantas a diferentes estímulos. En el caso de las raíces vemos la respuesta a la gravedad y a los niveles de agua; en el caso de los estomas, a los niveles de dióxido de carbono y de agua.

La práctica pedagógica de utilizar fenómenos para contextualizar la comprensión de conceptos y temas relacionados a las ciencias es una [práctica de implementación](#) apoyada por los Estándares de Ciencias para la Próxima Generación (NGSS, por sus siglas en inglés). Los fenómenos son eventos observables que los estudiantes pueden usar para generar preguntas de ciencias que promuevan la investigación o para diseñar soluciones a problemas que impulsen el aprendizaje. De esta manera, los fenómenos conectan el aprendizaje con lo que ocurre en el mundo mientras les proveen a los estudiantes la oportunidad de aplicar el conocimiento mientras lo construyen.

Las secciones “Sugerencias para la implementación” y “Consejos didácticos” proveen opciones para incorporar las imágenes en un currículo o unidad de estudio, y pueden ser modificadas para usarse como actividades individuales o para complementar una lección existente. La hoja de trabajo para el estudiante incluye reproducciones de 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, el tiempo estimado de la clase y las conexiones curriculares, favor de visitar la [página web de este recurso](#).

### CONCEPTOS CLAVE

- Tanto las plantas como los animales responden a estímulos en su ambiente, como los niveles de luz y agua, la temperatura y la gravedad.
- Las respuestas de las plantas incluyen mecanismos de retroalimentación que mantienen las condiciones internas de las plantas dentro de ciertos límites. Estos mecanismos de retroalimentación pueden ser investigados a través de experimentos.

### INFORMACIÓN GENERAL

#### El movimiento de la raíz

Cerca del final de su vida, Charles Darwin, con asistencia de su hijo, Francis, escribió varios libros sobre las plantas, incluyendo *El poder del movimiento en las plantas*, que fue publicado en 1880. El equipo de padre e hijo hizo muchos experimentos en plantas y observó que exhibían comportamientos que previamente solo habían sido atribuidos a los animales, lo cual era una conclusión controversial para esa época. Por ejemplo, las células cerca de la punta de la raíz (mostradas en el centro inferior de la imagen) usan el movimiento de organelos y la liberación de hormonas para percibir la gravedad, la cual afecta el momento y el lugar de la división celular y el alargamiento de las raíces. Estos procesos le permiten a la raíz crecer y adentrarse en el suelo.

Para generar esta imagen, unas plantas *Arabidopsis thaliana* fueron etiquetadas genéticamente con un marcador para la membrana plasmática (color verde) y un marcador nuclear (violeta). Las puntas de las raíces fueron fotografiadas con microscopía de lapso de tiempo en un microscopio confocal usando una platina vertical para

especímenes. El crecimiento en las puntas de las raíces fue captado con el programa de MATLAB® “TipTracker” que permite que el microscopio persiga a la raíz en crecimiento. La imagen muestra el movimiento de la raíz en un momento específico. Para ver un GIF de un video de lapso de tiempo mostrando el movimiento de la raíz, busca el archivo “Animación – movimiento de la raíz” en [la página del recurso](#).

### Súper Estoma

Los estomas son aperturas, o poros, en la superficie de las hojas que les permiten a las plantas absorber el dióxido de carbono que luego usan para formar moléculas orgánicas en la fotosíntesis. Los estomas están compuestos por dos células oclusivas que permiten que el poro que está entre las células se abra o se cierre. Cada vez que un estoma se abre, el dióxido de carbono entra a la hoja y el agua y el oxígeno (uno de los productos de la fotosíntesis) escapan. Las plantas regulan la apertura y el cierre de los estomas para mantener el equilibrio entre la ingesta de dióxido de carbono y la pérdida de agua. La estructura básica de los estomas (dos células oclusivas que protegen un poro central) se ha conservado en las plantas terrestres, con algunas variaciones, a lo largo de su historia de 400 millones de años. Por ejemplo, en algunos miembros de la familia de la grama, que evolucionó durante los últimos años del periodo cretáceo, las células oclusivas son protegidas por otras dos células de apoyo que las ayudan a afinar la regulación de la apertura y el cierre de los poros. Este afinamiento puede haber hecho posible que las gramas se adaptaran con más facilidad a los cambios ambientales. Los científicos ahora están explorando los efectos de esos cambios al estudiar la grama *Brachypodium distachyon*, la cual tiene estomas con las dos células oclusivas tradicionales (centro de la imagen) además de muchas células de apoyo (rodeando las células oclusivas). Estudios como estos pueden tener aplicaciones prácticas para producir cultivos que tengan una asimilación de carbono y un uso de agua mejorados. Esto es, que puedan adaptarse más fácilmente a los cambios climáticos súbitos.

Para generar esta imagen, el tejido de la grama fue teñido con un tinte fluorescente que resalta el contorno de la célula (en magenta) y con una proteína fluorescente atada al factor involucrado en el control de las expresiones genéticas (en amarillo). La imagen se produjo usando microscopía confocal láser de barrido.

### SUGERENCIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

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

#### Participación, conocimiento previo y contexto:

- Pregúntales a los estudiantes: ¿qué distingue a las plantas de los animales? Haz que los alumnos generen una lista de las características que ellos atribuyen a las plantas, a los animales, o a ambos. Las respuestas de los estudiantes pueden estar enfocadas en cómo cada uno obtiene energía (autótrofos vs. heterótrofos, etc.) o en características físicas (“Las plantas son verdes y tienen cloroplastos”). Muchos estudiantes también pueden sugerir que las plantas no se mueven o no lo hacen de una manera tan notable como lo hacen los animales.
- Pídeles a los estudiantes que examinen la imagen del movimiento de la raíz usando las frases: “Yo noto...” o “Me pregunto...”. Menciona que las membranas plasmáticas de las células están identificadas con un marcador de color verde y su núcleo con un marcador de color violeta. Pide a los estudiantes que compartan sus observaciones y preguntas entre sí y luego con la clase, y menciona cuando ocurran observaciones o preguntas en común.
  - Las observaciones y/o preguntas de los estudiantes pueden incluir que las raíces tienen ramificaciones (pelos en la raíz), que los núcleos parecen estar aglomerados en la punta y en el exterior de la raíz, y pueden referirse al tamaño relativo y a la densidad de las células en varias partes de las raíces. Las raíces crecen a través de una zona de división celular que contiene tejido meristemático protegido por la cobertura de la raíz, la cual se puede ver en la aglomeración de núcleos cerca del final de la raíz. Luego las

células se alargan y se diferencian; en la imagen se puede ver que a medida que la densidad celular disminuye, el tamaño celular aumenta.

- Pregúntales a los estudiantes en que dirección ellos creen que las raíces crecen normalmente. Algunas respuestas pueden ser: “hacia abajo”, “hacia abajo y hacia el lado”, y “hacia donde el ambiente ‘les diga’ que crezcan”.
  - Muéstrales a los alumnos el video corto (GIF) de la imagen “movimiento de la raíz” y pídeles que hagan observaciones acerca del comportamiento de la raíz.
  - Pide a tus estudiantes que consideren cuales estímulos ambientales pueden afectar la dirección del crecimiento de las raíces de una planta. Sus respuestas pueden incluir la gravedad, los niveles de luz y agua, contacto con el suelo o con el medio en el que crecen, etc. Haz que los estudiantes trabajen en grupos o en parejas para generar las listas de estímulos. Comparte las respuestas en clase y comenta cuando surjan estímulos en común.
- Pide a los alumnos que lean la información general que corresponde con la imagen de “El movimiento de la raíz” y que anoten cualquier término que desconozcan.
  - Sería útil aclarar que las células madre son células que pueden generar varios tipos de células pero que estas no se encuentran en el tallo de la planta. También sería útil especificar que el sufijo “tropismo” se refiere a un organismo que se mueve en la dirección de cierto estímulo, para ayudar a los estudiantes a deducir el significado de palabras como gravitropismo o hidrotropismo.
  - Pide a los estudiantes que resuman el párrafo entre ellos, incluyendo cómo Darwin y su hijo pudieron recolectar evidencia sobre el comportamiento de las plantas.
- Diles a los estudiantes que examinarán otra imagen tomada de una parte diferente de la planta. Haz que examinen la imagen del Súper Estoma usando las frases “Yo noto...” o “Me pregunto...”. Señala que los contornos de las células han sido teñidos de color magenta y el factor que controla las expresiones genéticas, de color amarillo. Haz que los estudiantes compartan sus observaciones y preguntas entre ellos y después compártanlo con toda la clase. Comenta cuando haya observaciones y preguntas iguales.
  - Los alumnos pueden notar que las células del súper estoma difieren en tamaño, forma y arreglo en comparación con las células en la imagen de la raíz. Los estudiantes pueden mostrarse curiosos acerca de las células oclusivas en el centro de la imagen, al notar la aparición de un pequeño espacio entre ellas.
- Haz que los estudiantes lean la información general que corresponde a la imagen del súper estoma y que anoten cualquier término que desconozcan. Pídeles que identifiquen los estímulos ambientales a los que las plantas responden, los cuales incluyen los niveles de dióxido de carbono y agua.
  - Pide a los estudiantes que resuman el párrafo entre ellos y que incluyan por qué las plantas abren y cierran sus estomas y la razón por la cual los científicos están interesados en estudiar las respuestas de las plantas.

### Exploración, investigación y extensión:

- Exploración/Investigación: Los estudiantes deben poder articular de qué manera (a través de experimentos) y por qué (el mejoramiento de los cultivos, entre muchas otras razones) los científicos estudian las respuestas de las plantas. La exploración estudiantil debe incluir que diseñen sus propios experimentos para estudiar las respuestas de las plantas, por ejemplo: las respuestas de las raíces a la luz, a la gravedad, al agua, etc., o las respuestas de los estomas a los niveles de luz, agua, o dióxido de carbono.
- Evaluación: Puede que los estudiantes articulen fácilmente que las plantas necesitan responder cuando hay demasiado o muy poco de cierto recurso o estímulo, pero les cueste articular el concepto de la retroalimentación o de la homeostasis. Haz que los estudiantes creen modelos iniciales (bosquejos o diagramas) de los comportamientos que predijeron que tendrían las plantas en los experimentos que diseñaron en el ejercicio anterior y que luego revisen esos modelos para ilustrar los resultados de sus experimentos.

- Si bien la NGSS especifica que se excluyan de la evaluación los mecanismos intracelulares involucrados en el control del movimiento de la raíz y en la respuesta de los estomas, sería beneficioso que los estudiantes investiguen cómo las plantas perciben la gravedad a través de los estatolitos o cómo controlan la apertura y el cierre de los estomas a través de las concentraciones de potasio, cloro y agua, y que añadan esto a sus modelos.
- Extensión:
  - El video (en inglés) [Can a Fungus Save Plants from Global Warming?](#) de la serie “I Contain Multitudes” examina cómo las plantas manejan el estrés causado por el calor a través de la simbiosis con los hongos. El video traza el proceso de comprender la tolerancia al estrés de las plantas, desde la observación de un fenómeno inicial hasta el análisis experimental y finalmente en la aplicación para el mejoramiento de los cultivos.
  - Las puntas de las raíces se usan a menudo para estudiar la mitosis porque contienen muchas células que están activamente en división. Explora las fases y los controles de la mitosis y los efectos de la desregulación con el “Haz click & aprende” [El ciclo celular eucarionte y el cáncer](#)

### CONSEJOS DIDÁCTICOS

- Muéstrales las imágenes a los estudiantes antes de que lean la información general.
- La información general puede ser editada para apoyar el conocimiento de los estudiantes, la secuencia de curso, etc.
- Las imágenes pueden ser proyectadas en vez de ser repartidas como documentos.
- Parea o agrupa a los estudiantes para que trabajen una o más de las sugerencias de implementación.

### CRÉDITOS

Sydney Bergman, HHMI

Editado por Paul Beardsley, PhD, y Laura Bonetta, PhD, HHMI

Traducido al español por Jara M. Ríos Rodríguez, PhD, Independent Scholar y editado por Jamillah Echeverria, Vialux Media y Zulmarie Pérez Horta, PhD, HHMI.