

# *Electricidad:*

## EL LENGUAJE SECRETO DE LAS PLANTAS

**Ian Elías Cuartas Arzuza**

**José Miguel Arbeláez Arbeláez (Q. E. P. D.)**

Estudiantes de Biología, Instituto de Biología  
Integrantes del Grupo de Biofísica. Universidad de Antioquia

**Juan Camilo Calderón**

Médico, doctor en Fisiología y Biofísica  
Coordinador del Grupo PHYSIS, Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia

**Marco Antonio Giraldo**

Físico, doctor en Biofísica  
Coordinador del Grupo Biofísica, Instituto de Física,  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia  
[mantonio.giraldo@udea.edu.co](mailto:mantonio.giraldo@udea.edu.co)

Como si se tratara del sistema nervioso de los humanos y otros animales, se ha descubierto que las plantas también tienen la capacidad de generar y transmitir señales eléctricas de una célula a otra. Estos mensajes eléctricos les ayudan a crecer, a responder al sol y al agua, o a protegerse de los insectos. El laboratorio de los grupos de Biofísica y PHYSIS ha medido propiedades eléctricas de células animales (corazón y neuronas), y ahora se ha enfocado en hacer estas mediciones en las plantas, siendo el primer laboratorio del país en este tipo de investigaciones.

## Las plantas: activas exploradoras de su entorno

Seguramente, de niños jugamos con aquellas curiosas plantitas que, cuando las tocábamos, cerraban las hojas con rapidez como si se durmieran. Estas plantas, a las que llamamos comúnmente dormideras o dormilonas, se cierran así para protegerse de los herbívoros. Todo ello ocurre gracias a los impulsos eléctricos.

*Mimosa pudica*, como se llama esta planta, genera señales eléctricas cuando es sometida a un estímulo mecánico. Estos son potenciales de acción, que análogamente a como sucede en nosotros los humanos, y en los demás animales, viajan desde las hojas hasta unas estructuras llamadas pulnículos, que se encuentran en su base, donde provocan una redistribución del agua de unas células a otras, lo que en últimas genera que la hoja se cierre.

Este mismo mecanismo es el que utiliza la planta carnívora Venus atrapamoscas (*Dionaea*

*muscipula*) para cerrar sus hojas y atrapar la presa: algún insecto, o, incluso, alguna pequeña rana desprevenida. A pesar de que en estas dos plantas la respuesta eléctrica está asociada a un movimiento rápido bastante notorio y llamativo, no son las únicas que presentan dinámicas eléctricas; de hecho, estos fenómenos hidro-electro-químicos están en todas las plantas cumpliendo diversos roles fisiológicos, desde regular el intercambio de gases y determinar la direccionalidad del crecimiento hasta desatar mecanismos de defensa, o incluso comunicarse con otros organismos. De esta manera, las plantas, a pesar de sus hábitos sésiles, son organismos activos que censan su medio y responden de acuerdo con las condiciones de este. Las plantas son consideradas por algunos investigadores como organismos inteligentes, con memoria y capaces de aprender, todo esto gracias a la señalización eléctrica.

## El surgimiento de la electrofisiología vegetal

Hablar de electricidad en las plantas parecería algo ilógico, y lo mismo pensó la comunidad científica a comienzos del siglo XX. Sin embargo, el biofísico e inventor indio J. C. Bose presentó en 1921, por primera vez, sus trabajos sobre la «electricidad vegetal». En ese entonces, luego de una larga confrontación académica entre Galvani y Volta, ya era ampliamente aceptado que los animales mostraran fenómenos eléctricos en sus tejidos. Pero ¿y las plantas? Esos organismos considerados inferiores, básicos, aburridos y sin movimiento, ¿cómo podrían tener electricidad? Parecía imposible, y ni siquiera con los arduos, metódicos y complejos experimentos realizados por Bose esta idea llegó a ser aceptada.

La fisiología de las plantas se explicaba únicamente por fenómenos químicos, los cuales son lentos, al igual que las dinámicas que en estas ocurren. El tema fue marginado y no fue sino hasta los años ochenta del siglo pasado que se volvió a hablar de él, cuando nuevas técnicas y aproximaciones teóricas permitieron dar forma a muchas

de las ideas ya propuestas años atrás por Bose. De esta manera, surgió una nueva área dentro de las ciencias botánicas: la electrofisiología vegetal.

## Respuestas electrofisiológicas de las plantas

La electrofisiología vegetal es la rama de la biología que estudia los procesos eléctricos que ocurren en las plantas. Conocer las dinámicas eléctricas de las plantas permite tener una visión más amplia e integral de sus procesos fisiológicos. Solo cuando se tuvieron en cuenta los fenómenos eléctricos se pudo dar explicación a algunos procesos fundamentales como el intercambio de gases a través de los estomas, la direccionalidad del crecimiento (tropismos), los movimientos, ya sean rápidos como en *Mimosa pudica* y *Dionaea muscipula*, o lentos, como las plantas que abren y cierran las hojas de acuerdo con el ciclo día/noche, la toma de nutrientes del suelo, la respuesta al estrés abiótico (e. g. salinidad, sequía, acidez, falta de oxígeno), la presencia de patógenos y herbívoros, la interacción simbiótica con hongos y bacterias en las raíces, entre muchos otros.

También es posible, gracias a técnicas electrofisiológicas, determinar cuándo hay alteraciones de los sistemas celulares y qué implicaciones pueda tener esto en la fisiología de la planta.

De esta manera surgieron metodologías como la estimación de flujo iónico con microelectrodo —MIFE, por sus siglas en inglés—, entre otras, que permiten identificar variedades de plantas tolerantes a algún tipo de estrés de acuerdo con la respuesta eléctrica, lo cual es de gran utilidad a nivel agronómico. Además, saber cómo afectan los diversos tipos de estrés a las plantas y cómo responden para sobrellevar los mismos permite escoger qué medidas tomar para menguar el efecto negativo de las condiciones de estrés y mejorar así la producción. De este modo, la electrofisiología tiene amplias aplicaciones en la agricultura, y sus utilidades aumentan cada vez más con el tiempo, si se consideran las posibilidades que brinda de mejorar las condiciones de seguridad alimentaria, algo de tanta urgencia para la humanidad en la actualidad.

## ¿Cómo se estudian los fenómenos eléctricos en las plantas?

Diversas técnicas se han desarrollado a lo largo de los años con el fin de elucidar las propiedades electrofisiológicas, en un comienzo de células animales, pero luego extrapoladas a modelos vegetales.

Para poder aplicar dichas técnicas se debe tener acceso a la membrana celular, sin embargo, a diferencia de las células animales

Fotografía: Krishnendu Pramanick en Pixabay.com



las células vegetales tienen, además, pared celular. Esta estructura está compuesta en gran parte por polisacáridos que confieren sostén, firmeza y resistencia a las presiones de turgencia altas, propias de las células vegetales. Para poder acercarnos a la membrana debemos primero remover la pared celular y obtener protoplastos (célula vegetal sin pared).

Una vez obtenidos los protoplastos se puede entonces acceder a la membrana celular. La técnica más importante para caracterizar y describir los canales iónicos en una membrana es la de *patch-clamp* y es la que aplicamos en el laboratorio de los grupos de Biofísica y PHYSIS. Para ello fabricamos pipetas cuya punta tiene un diámetro de aproximadamente 1 o 2 micrómetros, por lo que se conocen como micropipetas. Estas se llenan de una solución que simula la del citoplasma celular y que además se conecta a un electrodo metálico. La punta de la micropipeta se acerca y adhiere a la membrana celular, gracias a una succión aplicada con una manguera conectada a la boca del investigador o a una jeringa (presión negativa), obteniendo así una resistencia eléctrica muy grande que se conoce como un gigasello (cuando la resistencia es superior a  $1 \text{ G}\Omega = 10^9 \Omega$ ). Una vez formado el sello, y gracias a una nueva succión, se rompe la membrana en el pedacito dentro de la pipeta y su contenido se mezcla con el citoplasma de la célula, adquiriendo así lo que se conoce como la configuración *whole-cell*.

De esta manera, ya podemos analizar la actividad eléctrica de todos los canales iónicos ubicados en la membrana, pues al poner otro electrodo en la zona al exterior de la célula estamos midiendo y controlando el potencial eléctrico entre el interior y el exterior celular. Así, cuando inducimos un cambio de voltaje en la célula los canales se abren generando una corriente iónica, la cual es registrada por los electrodos del equipo. Cada tipo de canal posee respuestas diferentes de acuerdo con el protocolo de estimulación, de modo que con esta técnica podemos identificar los tipos de canales presentes y caracterizarlos.

Lo descrito solo es una de las formas de hacer *patch-clamp*, y que realizamos en el laboratorio; sin embargo, existen diferentes configuraciones y variaciones de la técnica de acuerdo con el fenómeno eléctrico celular que se desee medir. Así, *patch-clamp* se considera una técnica muy versátil y útil en electrofisiología.

## Desentrañando el movimiento de *Mimosa pudica*

La próxima vez que veamos una plantita dormidera cerrar sus hojas ya sabremos que no es porque tenga sueño, sino porque ha percibido un estímulo



# DINÁMICAS ELÉCTRICAS: DE TEJIDOS A CÉLULAS

Para que un estímulo pueda desencadenar una respuesta fisiológica en la planta debe ocurrir lo que se conoce como transducción de la señal; es decir, que el estímulo genere una respuesta molecular en la membrana o al interior de la célula.

## LA TRANSDUCCIÓN

**DE SEÑALES** es un mecanismo complejo en el que hay múltiples procesos involucrados:



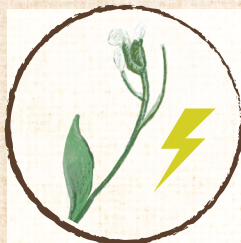
**MECÁNICOS:**  
Como la presión y la turgencia.



**HIDRÍCOS:**  
Asociados a la ósmosis y el movimiento del agua.

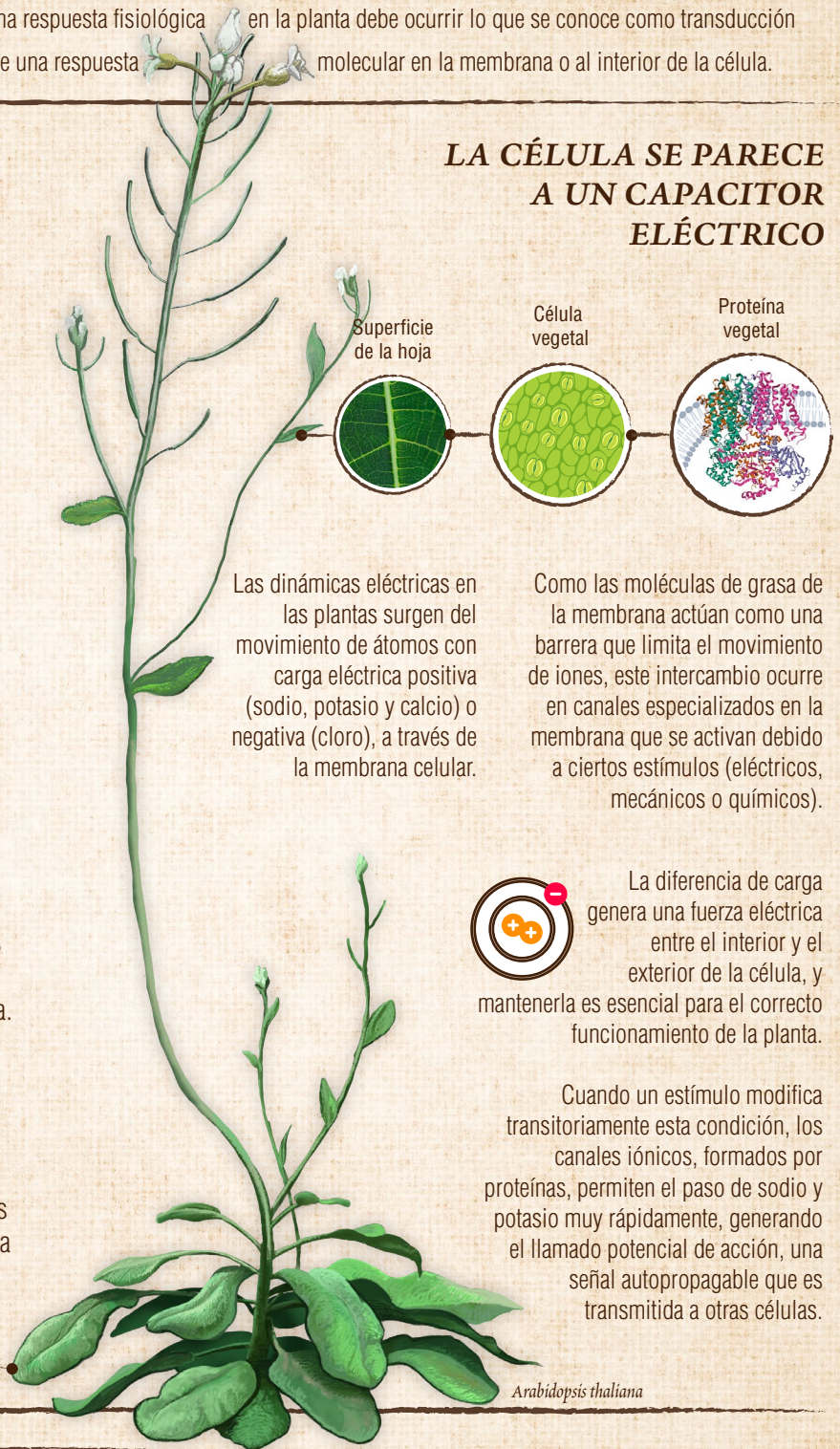


**QUÍMICOS:**  
A través de hormonas y otras moléculas de diversa naturaleza.



**LUMÍNICOS, TÉRMICOS O ELÉCTRICOS:**  
Son estos últimos en los que nuestra atención está puesta.

## LA CÉLULA SE PARECE A UN CAPACITOR ELÉCTRICO



Las dinámicas eléctricas en las plantas surgen del movimiento de átomos con carga eléctrica positiva (sodio, potasio y calcio) o negativa (cloro), a través de la membrana celular.

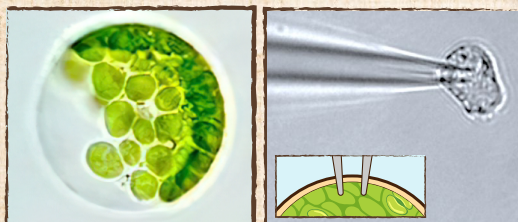
Como las moléculas de grasa de la membrana actúan como una barrera que limita el movimiento de iones, este intercambio ocurre en canales especializados en la membrana que se activan debido a ciertos estímulos (eléctricos, mecánicos o químicos).



La diferencia de carga genera una fuerza eléctrica entre el interior y el exterior de la célula, y mantenerla es esencial para el correcto funcionamiento de la planta.

Cuando un estímulo modifica transitoriamente esta condición, los canales iónicos, formados por proteínas, permiten el paso de sodio y potasio muy rápidamente, generando el llamado potencial de acción, una señal autopropagable que es transmitida a otras células.

*Arabidopsis thaliana*



**PATCH CLAMP** es una técnica experimental que permite medir las propiedades eléctricas de una parte de la membrana (parche o *patch*) o de la célula completa.

mecánico, el cual ha generado la activación de ciertos canales iónicos de membrana en las células de las hojas, provocando un movimiento de iones que, a su vez, desencadena un potencial de acción que viaja a través del sistema vascular a las células adyacentes; esta señal induce la activación de los canales en las células a las que llega, propagándose hasta que finalmente alcanza a las células objetivo: las células motoras del pulvínulo. En estas, la activación de los canales provoca una respuesta conjunta, ocurriendo una salida de agua y metabolitos, lo que hace que se pierda la presión interna que mantiene a las células y a las estructuras que las conforman firmes y erguidas. Este es el ejemplo más claro y llamativo de la actividad eléctrica en las plantas, aunque ahora sabemos que todas las plantas presentan este tipo de fenómenos, y que son además esenciales para su fisiología.

Organismos que parecieran tan simples y comunes, y que creíamos comprender en su totalidad, nos siguen sorprendiendo día a día. En su momento, el comportamiento excepcional de las plantas carnívoras representó un reto para el mismísimo Charles Darwin, quien estaba empeñado en darle un lugar a tales organismos en su teoría de la evolución de las especies, cosa que no le fue posible, ya que el sesgo del pensamiento antropocéntrico de la época dificultaba siquiera imaginar comportamientos complejos en las plantas. Hoy en día nos hemos dado cuenta de que las plantas son organismos mucho más activos de lo que pensábamos, interactuando constantemente con su entorno para poder sobrevivir y responder a los retos que se

les presentan; algo tan descabellado e increíble que fue ignorado por mucho tiempo. A pesar de los avances en el entendimiento de estos fenómenos biofísicos de señalización eléctrica, aún hay bastantes interrogantes y mucho por descubrir en esta reciente, intrigante y desafiante área de las ciencias botánicas, la cual está esperando de mentes curiosas que se quieran aventurar a develar los secretos de la vida vegetal.

Después del trabajo realizado por nuestros grupos de investigación Biofísica y PHYSIS durante los últimos años sobre electrofisiología de las células cardíacas y neuronas, nos estamos adentrando en el fascinante mundo de la electrofisiología vegetal. Animales y plantas somos diferentes, pero también muy parecidos. X

## Glosario

**Capacitor eléctrico:** dispositivo que almacena carga eléctrica para liberarla de manera controlada, de uso muy común en los aparatos electrónicos. Consta de dos partes metálicas cargadas separadas por un aislante.

**Estomas:** estructuras especializadas a modo de poro, presentes en la superficie de las hojas y algunos tallos para el intercambio gaseoso.

**Genómica:** estudio de todo el ADN de un organismo.

**Gigasello:** sello de muy alta resistencia entre una membrana celular y una micropipeta de electrofisiología.

**Micrómetro:** una milésima parte de un milímetro, o una millonésima parte de un metro.

**Potencial de acción:** estado temporal de una célula caracterizado por una variación grande de la polarización eléctrica.

**Sésil:** que vive fijo a un sustrato o superficie.

**Tropismo:** crecimiento direccional de las plantas o partes de ellas, ya sea hacia un estímulo u opuesto a este.

**Turgencia:** ganancia de volumen en la célula gracias a un aumento de su contenido celular, lo que genera que se ejerza presión hacia el exterior.