

# Cómo cosechar bioenergía

## ► CÓMO COSECHAR bioenergía de una planta

ALICIA MIER Y NICTÉ LUNA

Alicia Mier es Ing. en Nanotecnología y Energías Renovables egresada de la UASLP, actualmente cursa la Maestría en Ingeniería en Energía en el IER-UNAM  
Nicté Luna es Mtra. en Filosofía de la Ciencia en el área de Comunicación de la Ciencia. Actualmente es académica del IER-UNAM.  
Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Llegar a casa y conectar el celular a la macteta de una planta es el sueño que actualmente persiguen algunas personas dedicadas a la investigación en el área de la generación de energía limpia. Cosechar bioenergía de una planta es una idea prometedora para el futuro. La propuesta tecnológica que se ha desarrollado para alcanzar este sueño es la celda de combustible microbiana de plantas.

Para entender cómo funciona esta tecnología, primero resumamos el funcionamiento de las plantas. Las plantas producen su propio alimento mediante el proceso de fotosíntesis (Figura 1), que inicia cuando la energía del Sol es absorbida por la clorofila contenida

en las hojas, este fenómeno da la energía necesaria a la planta para activar diversos procesos, como son absorber el dióxido de carbono del aire y descomponer la molécula del agua que absorbe de sus raíces. Posteriormente, la planta realiza reacciones bioquímicas para convertir esos ingredientes en glucosa y en otros carbohidratos que la planta utiliza como alimento que, como todo ser vivo, se traduce en energía para realizar las actividades de una planta: crecer, comunicarse con otras plantas y otros seres vivos, reproducirse y en general, actividades de todo ser vivo.

### Un mundo subterráneo

Hasta aquí, hemos descrito lo que sucede en la parte exterior de la planta, pero debajo de la tierra que sepulta sus raíces también suceden procesos que son importantes para mantenerla con vida. Alrededor de las raíces de la planta, hay una zona llamada rizosfera, que abarca desde el límite de la raíz hasta unos pocos milímetros antes del suelo. En la rizosfera se lleva a cabo la absorción de nutrientes; sucede la absorción y el transporte de líquidos, y también ocurren importantes procesos de comunicación y simbiosis (cooperatividad) entre la planta con otros seres vivos, como las micorrizas (hongos), las bacterias y otros microorganismos, incluyendo la interacción con

otras plantas cercanas. El 40% de la energía que obtiene la planta de la fotosíntesis es consumida por ella misma, pero el resto lo excreta al suelo por medio de las raíces, esto incluye azúcares, ácidos orgánicos, carbohidratos poliméricos y enzimas. Esta materia orgánica que excreta sirve de alimento para los diversos microorganismos que se encuentran en la rizosfera. Por medio de esta simbiosis con otros seres vivos, la planta crea su propio ecosistema que le beneficiará para que pueda desarrollarse correctamente; al ser así, la planta mantiene cerca de sus raíces un sistema rico en microorganismos a lo largo de su vida.

### De planta a celda de combustible

Una planta en una maceta no podrá generar energía eléctrica a menos que la convirtamos en una celda de combustible microbiana. Una celda de combustible es similar a las baterías que utilizamos en nuestros dispositivos electrónicos y que funciona con reacciones químicas que proveen electrones, por una parte, mediante la oxidación del ánodo, y por otra, mediante la reducción del cátodo. Cuando conectamos el ánodo y cátodo en serie lo que ocurre es que los electrones liberados en la oxidación del primer elemento (ánodo), serán conducidos por el circuito externo, ayudando a producir reaccio-

nes químicas complementarias en sustancias que se encuentran en el otro elemento (cátodo). Siempre en una celda de combustible, tendremos estos dos elementos que se complementan el uno al otro.

Pero ¿en dónde entra lo "bio" en todo este asunto? En una celda de combustible microbiana, al igual que en una celda de combustible, tendremos también el ánodo y el cátodo, sin embargo, las protagonistas de la generación de la electricidad que cosecharemos son las bacterias contenidas en el suelo donde la planta crece. Las bacterias, durante un proceso metabólico llamado glucólisis, descomponen la materia orgánica que la planta provee como alimento y como producto de esta descomposición, se obtienen electrones. Las bacterias pueden transmitir esos electrones hacia el exterior de su membrana celular por medio de diversos mecanismos, así, el electrón es transferido directamente al ánodo que estará conectado a un circuito externo, por donde los electrodos serán conducidos, será en su trayecto hacia el cátodo donde se encuentre con alguna carga que requiera de electricidad para su funcionamiento. A su vez, la bacteria también transferirá al suelo protones de hidrógeno, ya que este elemento también está presente en los compuestos orgánicos. Los protones de hidrógeno serán transportados hacia el cátodo por las sales minerales del suelo, que actuarán como un electrolito, ya que el suelo tiene cierta conductividad eléctrica e iónica. Cuando los protones de hidrógeno y los electrones llegan al cátodo, reaccionan con el oxígeno del aire para formar agua, completando la reacción oxidación-reducción que normalmente está presente en las celdas de combustible (Figura 2). Así es como cosechamos bioenergía de las plantas.

Como el nombre lo sugiere, las celdas de combustible microbiana usan combustible que, en este caso, es materia orgánica presente en el suelo. Esta materia orgánica está formada por diferentes elementos como los restos de hojas, insectos o gusanos muertos y básicamente cualquier organismo en proceso de descomposición. Una vez que el combustible se agota, es necesario adicionar más para que la celda pueda continuar funcionando, de lo contrario las bacterias no tendrán más sustancias para realizar su metabolismo.

### La unión hace la energía

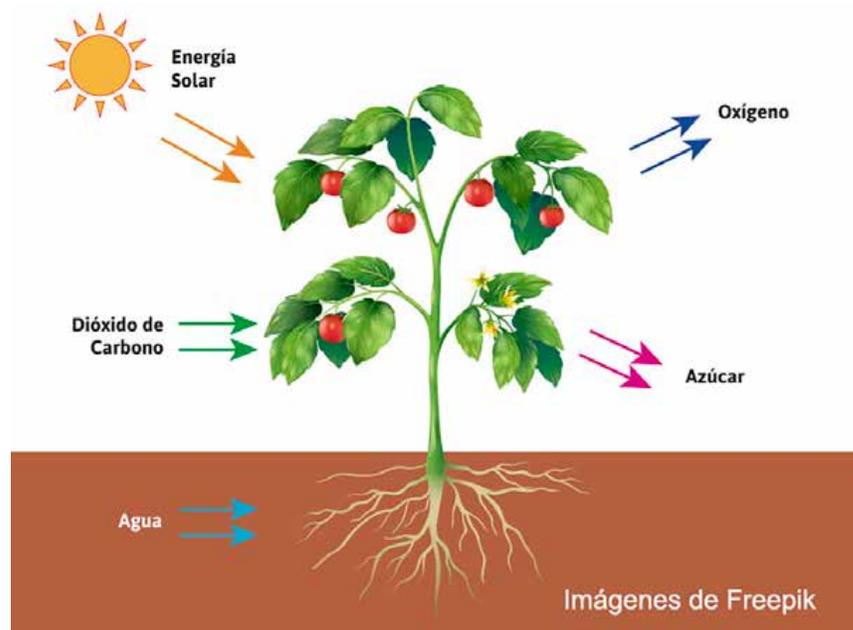
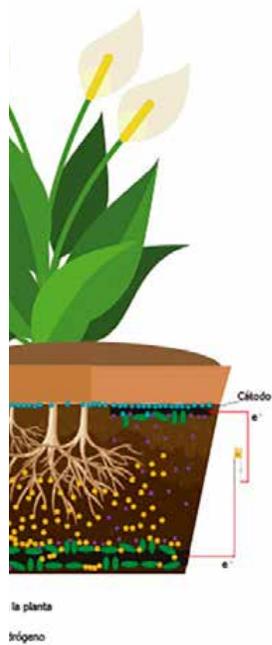


FIGURA 1. ESQUEMA de la fotosíntesis en una planta. Tomada de <https://bit.ly/2L9OPmf>

### Referencias

Felix Tetteh Kabuteya, et al. (2019). An overview of plant Configurations and applications. Renewable and Sustainable Energy Engineering. Renewable and Sustainable Energy Engineering.

# Electricidad de una planta



**FIGURA 2. DIAGRAMA** de una celda de combustible microbiana de planta. Diseño de Nicté Luna

La planta y las bacterias crean un ecosistema que puede ser sostenible en el tiempo ya que las plantas son seres vivos que necesitan solo de luz para fabricar su propio alimento y proveen alimento a los microorganismos, lo que permitirá que la producción de bioelectricidad en una celda de combustible microbiana sea constante. Este fenómeno ha llamado la atención de muchos investigadores, pero dada la complejidad de estos sistemas, es necesario considerar muchos aspectos involucrados. Además, aún hay varios misterios sobre su funcionamiento que quedan por descubrir y es un tema multidisciplinario.

De los misterios que aún quedan por resolver es la influencia de la fotosíntesis de las plantas en el comportamiento y la eficiencia de estos dispositivos. Uno de esos problemas es la intensidad de la luz óptima para maximizar la eficiencia de la fotosíntesis, ya que así la planta podrá secretar la máxima cantidad de los compuestos orgánicos por la raíz y así generar una simbiosis más eficiente con las bacterias. Esto provocará que las bacterias tengan suficiente materia orgánica de donde “comer”, para poder llevar a cabo su metabolismo celular y, por lo tanto, produzcan más electrones.

Otro aspecto biológico involucrado en la producción de bioelectricidad es el tipo de microorganismos que tendremos en el suelo donde la planta crece. Los tipos de microorganismos predominantes pertenecen a los géneros *Geobacter*, *Ruminococcaceae*, *Desulfobulbus*, *Bacillus*, *Geothrix*, *Pseudomonas*, *Shewanella* y *Acidobacteria*. Se ha reportado que el ecosistema microbiano en la raíz de una planta depende mucho del tipo de suelo que se utiliza, y que los suelos de agricultura poseen un ecosistema microbiano más denso que el de suelo boscoso y que añadiendo composta incrementa también la producción de voltaje.

Los tipos de fotosíntesis y el proceso de generación de bioelectricidad De acuerdo con el reporte realizado por el Dr. Felix Tetteh Kabuteya y sus colaboradores, publicado este año en la revista *Renewable and Sustainable Energy*, las investigaciones han mostrado que las especies de plantas que funcionan mejor para estas celdas son aquellas cuya fotosíntesis es tipo C4

porque tienen un alto porcentaje de conversión de energía solar en nutrientes, lo que se refleja en el incremento de excreciones por parte de las raíces. Para explicar más a fondo, existen tres tipos de fotosíntesis: C3, C4 y CAM. Los nombres se refieren a la cantidad de carbono obtenido al final de un ciclo llamado Ciclo de Calvin que se lleva a cabo en los cloroplastos. Este es el ciclo principal de la fotosíntesis.

Las plantas más abundantes en la Tierra son las de tipo C3, las cuales fijan 3 moléculas de carbono por cada Ciclo de Calvin realizado, es la forma original de la fotosíntesis. Estas plantas en su mayoría son aquellas que tienen semillas que en general no florecen, como árboles, arbustos boscosos o pinos. Existe otro tipo de fotosíntesis llamado CAM, cuyas siglas en inglés significan “Metabolismo ácido de las crasuláceas”, es propio de plantas desérticas o propias del clima seco. Los ciclos metabólicos de las plantas tipo CAM son contrarios a los tipos de fotosíntesis C3 Y C4; en las CAM, el dióxido de carbono es absorbido por la noche y se forma ácido málico que se almacena en los tejidos de las cactáceas, durante el día se toman las moléculas de carbono para formar hidratos de carbono. Las plantas C4, evoluti-

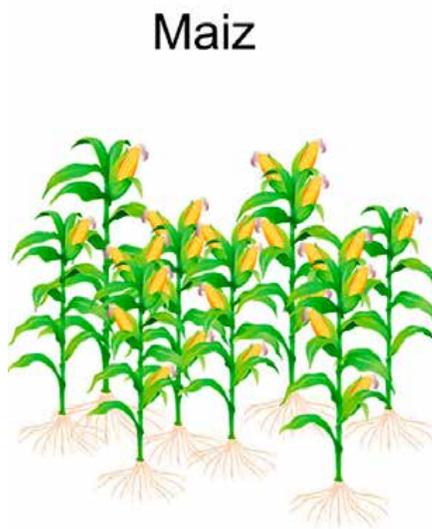
vamente más nuevas, fijan 4 moléculas de carbono por cada Ciclo de Calvin. Las plantas con flor que forman parte de este tipo son por ejemplo el maíz y la caña de azúcar (Figura 3). Tal vez no es muy evidente que estas plantas tengan precisamente flores como las que podemos encontrar en un jardín, esto es porque usan su flor como aparato reproductor para posteriormente dar lugar a un fruto, así, los frutos del maíz es cada grano de cada mazorca y de la caña son un tipo de pasto con flor. Las plantas tipo C4 trabajan 24 horas, los 7 días de la semana, es decir, todo el tiempo están generando el proceso de la fotosíntesis, y por ello resultan ser las óptimas para cosechar bioelectricidad ya que contribuyen a que el sistema sea más eficiente y estable a lo largo del tiempo. Hasta ahora se han probado cultivos de arroz y especies de hierbas. Ahora bien, la formación de las bacterias dependerá de la especie de la planta, la temperatura, la humedad, el pH y el oxígeno que permea en el suelo.

### Perspectivas a futuro

Las celdas de combustible microbiana de plantas podrían ser más grandes que el tamaño de una ma-

ceta si se acoplan a otras tecnologías, por ejemplo, adaptarlas a una planta de aguas residuales. Dado que estas celdas son capaces de generar bioelectricidad de manera continua sin que se coseche la planta, la energía que se produce es estable todo el año, por lo que podría alimentar a biosensores para monitorear la calidad de las aguas residuales, mientras se produce un proceso de biorremediación. También podrían aplicarse en techos verdes, humedales, parques o jardines. Esto ayudaría a reducir gases de efecto invernadero al tiempo que contribuyen a mantener la temperatura estable del lugar en donde se coloquen. Incluso, las celdas de combustible microbiana de plantas pueden integrarse en tierras agrícolas sin competir con la producción de alimentos.

Es una tecnología totalmente sostenible y de producción limpia con muchos retos aún que afrontar, sin embargo, ya hay dos empresas de base tecnológica en el mundo que han probado el concepto. Sin embargo, la tecnología es por ahora divulgativa, por lo que hay mucho qué saber y descubrir acerca de esta maravillosa tecnología y así poder disponer de energía eléctrica cuidando y creando ecosistemas.



**FIGURA 3. EJEMPLOS** de plantas C4. Tomadas de: <https://bit.ly/2rDIWYj> y <https://bit.ly/33y6kDD>

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*

### Lecturas recomendadas

- Magallon, L., Gonzalez-Gutierrez, Alanis, j. (08 de octubre de 2012). Una mirada al intrigante mundo de las celdas de combustible. Disponible en <http://www.acmor.org.mx/?q=content/una-mirada-al-intrigante-mundo-de-las-celdas-de-combustible>
- Luna, N., De la Merced-Jiménez, D. (2 de marzo de 2015). Los mil y un usos de los microorganismos <http://www.acmor.org.mx/?q=content/los-mil-y-un-usos-de-los-microorganismos>

ant microbial fuel cells (PMFCs): *Renewable Energy*.110, 402–414.  
 icrobial fuel cells: A promising *energy*. 76, 81–89.