

Nicté Luna Medina, Diego de la Merced Jiménez y P.J. Sebastian\*  
 Instituto de Energías Renovables-UNAM, Temixco, Morelos  
 \*Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

En una cena romántica no puede faltar una buena copa de vino tinto. Para disfrutar de un buen vino tinto es necesario extraer el jugo y la cáscara de las uvas para depositarlos en barricas selladas que se agitan de vez en cuando y se dejan reposar por varios meses, mientras las levaduras convierten a los carbohidratos, que son compuestos químicos contenidos en el jugo y la cáscara de la uva, en vino; un proceso que es conocido como fermentación. Este fenómeno intrigó a la humanidad desde hace siglos. Ya los antiguos egipcios producían cerveza por medio de este proceso; sin embargo, no se explicaban cómo sucedía, no imaginaban que los responsables de ello fueran seres microscópicos [1]. En 1661, Anton van Leeuwenhoek fue el primero en observar a los microorganismos a través de un lente que fabricó y que después dió lugar al microscopio, instrumento que aumenta varias veces la imagen de los objetos que observamos. Luis Pasteur descubrió, en 1861, que las levaduras intervienen en el proceso de fermentación. Este descubrimiento causó revuelo en aquella época, ya que sus colegas sostenían que era un proceso químico que no requería la intervención de ningún organismo, es decir, que se daba por generación espontánea.

Con el paso de los años, se han estudiado más a los microorganismos (como las bacterias, levaduras y hongos). En 1881 Beijerinck aisló las bacterias fijadoras de nitrógeno en los nódulos de las raíces de las leguminosas. Así entendió cómo es que las mismas fijan el nitrógeno para que las plantas puedan crecer. Asimismo, Alexander Fleming encontró la penicilina de manera accidental en 1926, pues se dio cuenta de que ciertos compuestos inhiben el crecimiento de las bacterias, descubriéndose de esta manera los antibióticos. Otro acontecimiento histórico relacionado con los microorganismos sucedió en 1978, cuando Michael Smith realizó la primera inserción de plásmido (un fragmento extracromosómico de ADN) a un microorganismo; ésta fue la primera vez que se realizó una modificación genética. Para 1996, se obtuvo la secuencia del genoma *Saccharomyces cerevisiae*, la bacteria responsable de la fermentación. Estos descubrimientos científicos han

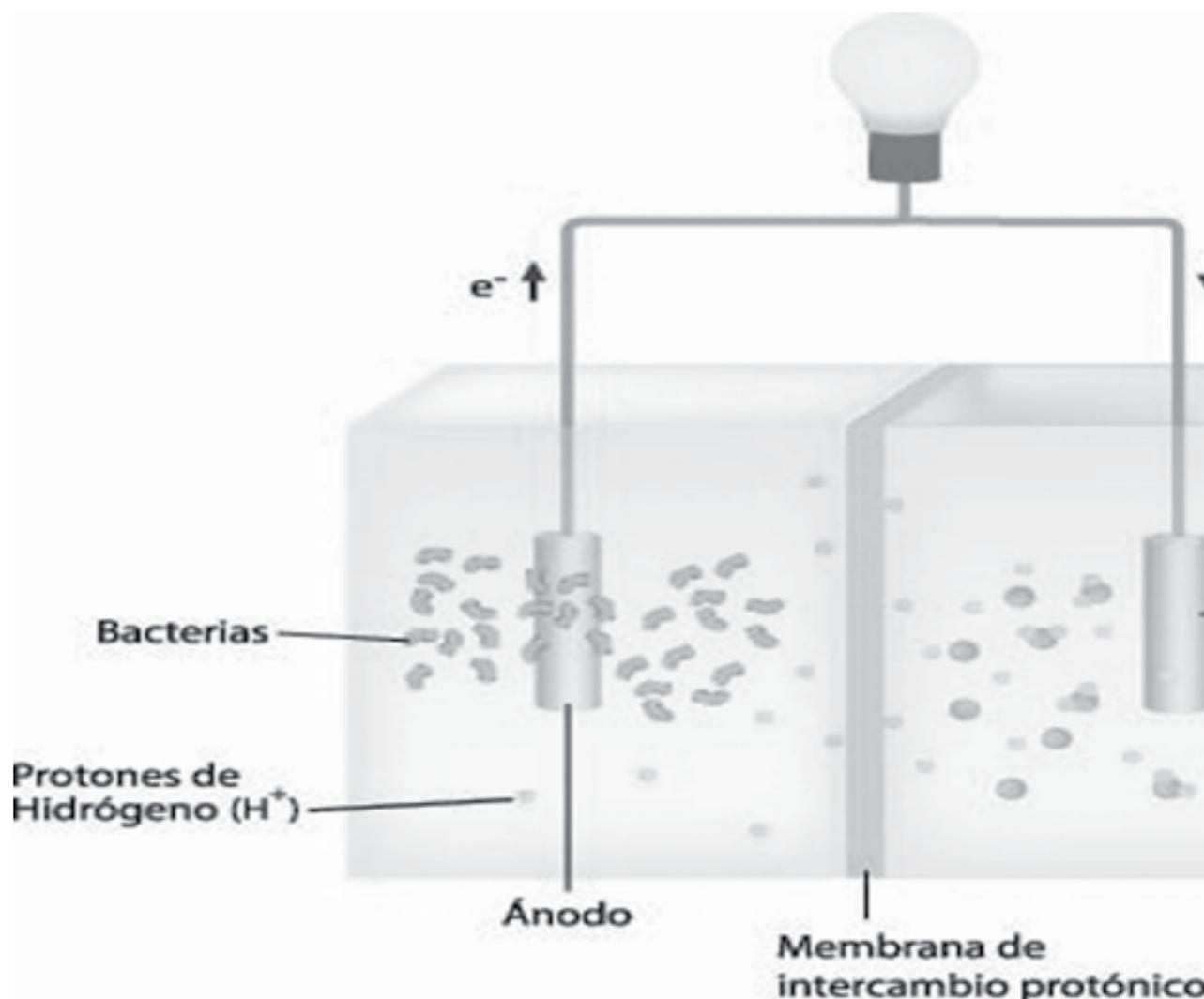
hecho posible que se realicen más inserciones de plásmidos y se secuencien genomas de muchos microorganismos diferentes.

A través de los microorganismos modificados genéticamente se producen antibióticos, vitaminas, colorantes, saborizantes, hormonas, etc. Todos estos estudios nos han mostrado los atributos que tienen los microorganismos, de los cuales podemos echar mano para recibir beneficios. ¿Será que dentro de los mil y un usos de estos microorganismos, específicamente de las bacterias, se hallará la *generación de electricidad*? La demanda energética actual nos ha llevado a explorar otras fuentes de energía distintas a los hidrocarburos, dado su eventual agotamiento y los efectos nocivos de su uso hacia nuestro planeta. Se han desarrollado tecnologías que utilizan fuentes de energías renovables como el sol, el viento, el calor interno de la tierra y el agua, entre otras. Esta búsqueda ha llevado a la construcción de dispositivos como las *celdas de combustible*, que si bien no han permitido aún la generación de electricidad a gran escala, son una promesa para el futuro.

Las celdas de combustible son dispositivos que transforman la energía química de un combustible en electricidad mediante una tecnología que data desde 1839 y se sigue estudiando hasta nuestros días. Estas celdas están formadas por una *cámara anódica*, un *ánodo*, una *membrana*, una *cámara catódica*, un *cátodo* y un *combustible*. La mayoría de las celdas de este tipo utilizan el hidrógeno como combustible por ser el elemento más abundante en la naturaleza.

Finalmente se requiere de un *electrolito* y un *circuito eléctrico* [2]. Existe una variedad de celdas de combustible, entre las que se encuentra las *Celdas de Combustible Microbianas* (CCM), dispositivos que podemos utilizar para que las bacterias nos ayuden a producir electricidad. La idea de utilizar condiciones *anaeróbicas* en las celdas de combustible surgió en los años 70 y 80. Las CCM operan a 20 °C, lo que podemos considerar una temperatura ambiente. Las CCM son dispositivos capaces de convertir la energía química presente en la materia orgánica en electricidad; para ello se utilizan bacterias denominadas *bacterias activas electroquímicamente* (BAE) –como las del género *Shewanella*, *Geobacter* y algunas especies de *Pseudomonas*– que son las encargadas de degradar la materia orgánica. Estas bacterias se encuentran

# Los mil y un usos de los micr...



1. Nombre de la figura: Representación de una Celda de Combustible Microbiana.

en las aguas residuales, en los sedimentos marinos, en los suelos terrestres y en la materia orgánica producida por organismos fotosintéticos. La degradación del material orgánico en estas celdas sucede bajo condiciones anaeróbicas.

Las CCM están conformadas por dos compartimentos: un ánodo y un cátodo que están unidos por una membrana de intercambio protónico. El compartimento del ánodo se mantiene bajo condiciones anaeróbicas, y el cátodo está expuesto al oxígeno o aire [4]. La figura anexa muestra esquemáticamente una celda de este tipo.

Dentro de la cámara del ánodo se inmovilizan las bacterias. Posteriormente, se vierte la materia orgánica que funcionará como combustible. Las bacterias se alimentarán de los carbohidratos, lípidos, proteínas y microelementos contenidos en la materia orgánica y los convertirá en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), electrones libre ( $e^-$ ) e iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ). De estas partículas y moléculas son los electrones libres los que se aprovechan para generar electricidad utilizando un circuito eléctrico y/o electrónico. La eficiencia de corriente se determina con base a la *eficiencia*

*coulómbica* que se define por la cantidad de energía eléctrica que se obtiene de la materia orgánica. Los iones se mueven hacia el cátodo y éstos reaccionan con el oxígeno para formar agua. Una CCM *Tubular* es un tipo de celda de combustible microbiana en donde el ánodo se encuentra empaquetado. Dentro de la cámara anódica se inmovilizan los microorganismos y entre ellos fluye el agua residual. El ánodo se encuentra en la parte exterior del lecho. El  $\text{CO}_2$  producido por la CCM se puede almacenar para utilizarse en otros experimentos o como aditivo para la industria alimentaria, por ejemplo, para inhibir el crecimiento de los microorganismos, tal como se usa en las *bolsas* de papitas.

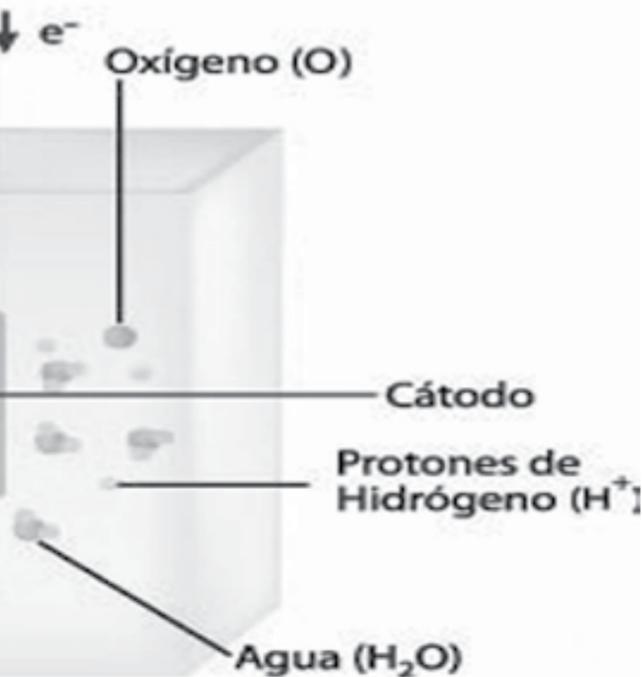
Además de generar electricidad, las CCM nos proporcionan otros beneficios, dependiendo del tipo de materia orgánica que se utilice. Por ejemplo, se pueden tratar aguas residuales dentro de una CCM. Esta idea fue introducida por W. Habermann y E. Pommer en 1991. Este tratamiento representaría un ahorro económico y energético ya que el sistema tradicional para tratar las aguas residuales requiere de instalaciones costosas y la instalación de equipos electromecánicos

que consumen mucha energía eléctrica. En el caso de utilizar subsuelo marino, la CCM puede abastecer de energía a sensores marinos y vehículos marinos autónomos. Si utilizamos suelo marino y terrestre, la CCM se convierte en una celda de biorremediación. Por su parte, con la materia orgánica de organismos fotosintéticos estamos aprovechando la energía desde los productores de la cadena alimenticia.

El uso de CCM presenta varias ventajas frente a tecnologías similares: disminuyen los costos energéticos, operan a temperatura ambiente e incluso a bajas temperaturas. La oxidación de la materia orgánica ocurre como un proceso natural. Con ésta se recuperan metales pesados como el cobre, el cromo, el manganeso y el selenio o compuestos químicos de interés comercial y se puede extraer hasta el 90% de los electrones que proporcionan los microorganismos a partir de la oxidación de la materia orgánica, además de ser autosostenible.

Además de todo lo anterior, el biogás generado en la celda no requiere tratamiento, y el cátodo tampoco requiere un tratamiento para airearlo pues éste se puede airear pasivamente. Por último, es una tecnología

# Microorganismos



que puede aplicarse en lugares remotos que no cuentan con infraestructura eléctrica. Es por esto que las celdas de combustible microbiana se consideran una opción para generar electricidad.

De esta forma, hemos mostrado que podemos añadir a la lista de los usos de los microorganismo la generación de electricidad. Esos microorganismos que son únicamente visibles a través del lente de un microscopio nos ofrecen la oportunidad de aprovechar combustibles que pudieran tener poco valor – tal es el caso de las aguas residuales- como una fuente de energía a través de tecnologías que nos ayuden a la transición energética. Así podríamos utilizar las CCM como un complemento de las plantas termoeléctricas que queman hidrocarburos y además tratar las aguas residuales que acumulamos en nuestra comunidad.

#### Para leer más

[1] Madigan, M. (2004). *Brock, Biología de los microorganismos*. (P. Hall, Ed.) (10th ed., pp. 1-1096)

[2] Alzate, L. Fuentes, C. Álvarez, A. Sebastian J. (2008). Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo PEM. *INCI*, 510-517. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0378-18442008000700008&lng=en&nrm=iso&ignore=.html>

[3] Wang, H., Ren, Z. J. (2013). A comprehensive review of microbial electrochemical systems as a platform technology. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1796-1807. doi:10.1016/j.biotechadv.2013.10.001

[4] <http://www.acmor.org.mx/?q=content/una-mirada-al-intrigante-mundo-de-las-celdas-de-combustible>



**La Unión**  
DE MORELOS

**DIVISIÓN IMPRESOS**

**ROTATIVA Y PRE-PRENSA**  
Impresiones blanco y negro y a todo color  
Plástico brillante y mate

Pone a su servicio toda  
clase de impresión:

- Periódicos
- Revistas
- Trípticos
- Volantes

En Papel:

- Bond
- Couché
- Estándar
- Papel periódico

**Nuestras cotizaciones incluyen diseño.**

**Ofrecemos los ¡Mejores Precios!**

**Y TIEMPOS DE ENTREGA**

Liámenos o visítenos:  
Av. Vicente Guerrero #777  
Col. Tezantepec

Tel. 311-46-31 al 34  
Ext. 251 y 232