



BACTERIAS ELÉCTRICAS

Artículo realizado por Gonzalo Ortiz Álvarez,
Laura Moreno Guerrero y Julia Jiménez López

¿Alguna vez has oído hablar de que las bacterias pueden ser usadas como fuente de electricidad? ¿Sabías que existen robots que utilizan microorganismos para autoabastecerse? La aparición de sistemas conformados por organismos minúsculos ha permitido el desarrollo de una nueva forma de obtener energía de una fuente inagotable. Quizá en un futuro podamos utilizar “pilas bacterianas”.

Una “*fuel cell*” o *celda de combustible* es un dispositivo cuya finalidad es la obtención de energía eléctrica. Presenta dos cámaras separadas, físicamente o mediante una membrana semipermeable: en una se aloja un electrodo (ánodo) sumergido en una solución química, y en el otro un segundo electrodo (cátodo) también dentro de la solución química. En el primero se lleva a cabo la oxidación de ciertas fuentes de combustible, y en el segundo se produce la reducción de un aceptor de electrones que se encuentra en la solución. Estos dos electrodos están conectados por un circuito externo por el que viajan los electrones, del ánodo al cátodo.

Existe una variedad de combustibles empleados como fuente de electrones: hidrógeno y oxígeno, NaOH, y materia orgánica. En este último caso pueden ser microorganismos los que catalicen el proceso. En ese caso tendríamos una “*microbial fuel cell*” (MFC), o *celda de combustible microbiana*.

La MFC se caracteriza porque en el compartimento del ánodo se introduce materia orgánica y cultivo de microorganismos, que son los responsables de llevar a cabo la oxidación de los sustratos. Este cultivo puede ser puro, es decir, estar formado por un solo tipo de microorganismo, o puede ser una sociedad de éstos, lo que supone una ventaja porque

se aumenta la gama de posibles sustratos que se podrían utilizar.

La solución en la que se encuentra inmerso el ánodo debe cumplir unas condiciones de estricta anaerobiosis. En caso contrario, los electrones generados en el metabolismo bacteriano que tienen como destino el ánodo, pueden reducir el oxígeno, que combinado con protones produce agua. Por lo tanto, los microorganismos que se utilizan en estos sistemas deben ser anaerobios facultativos o estrictos, para que puedan cumplirse estas condiciones.

Para optimizar la obtención de energía se debe procurar desarrollar un sistema de MFC de modo que el potencial redox del ánodo sea mayor que cualquier otro posible aceptor natural que pueda haber en el medio y que compita con el electrodo por los electrones procedentes de la oxidación de los sustratos (por ejemplo: oxígeno, nitrato o sulfato). Lo importante es redireccionar los electrones al ánodo.

Sin embargo, debe existir una concentración mínima de estos aceptores naturales de electrones para que los microorganismos no inicien un metabolismo fermentativo de los sustratos, lo que conduciría a que no se extrajese el máximo número de electrones del combustible.

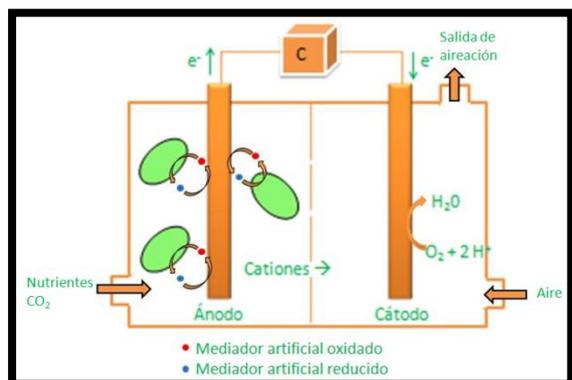


Figura 1. Representación de una MFC con un cátodo abiótico. (*)

Tras la captación de electrones por el ánodo, se produce un transporte hacia el cátodo a través un circuito externo. De esta forma la energía eléctrica generada puede ser empleada para transformarla en cualquier otra forma de energía. Una vez que los electrones llegan al electrodo catódico, pueden ser adquiridos por microorganismos que actúen como aceptores finales (los llamados *biocátodos*), o bien por aceptores naturales que se encuentren en contacto con el cátodo, como el O_2 como en una celda de combustible convencional.

Los protones liberados de la oxidación de la materia orgánica migran hacia el cátodo, a menudo a través de una membrana selectiva de cationes que limita la difusión de oxígeno en la cámara del ánodo. Los electrones, los protones y el oxígeno se combinan en la superficie del cátodo y forman agua.

Los sistemas MFC presentan numerosas ventajas respecto a otras alternativas de producción energética a partir de materia orgánica. En primer lugar, la conversión directa a electricidad dota al MFC de una elevada eficiencia. Por otro lado, al contrario que lo que ocurre con otros sistemas de pilas de combustibles convencionales, las MFCs pueden funcionar tanto a temperatura ambiente como a bajas temperaturas. Además, no es necesario llevar a cabo un tratamiento

posterior de los gases producidos durante el proceso de oxidación de la materia orgánica, pues dichos gases están compuestos mayoritariamente de CO_2 .

Uno de los aspectos más difíciles del desarrollo de la celda de combustible microbiana es aprovechar el sistema de transporte electrónico intracelular y el transporte de los electrones desde los receptores naturales, fuera de la célula, hasta el ánodo. Esta transferencia electrónica se puede conseguir por contacto directo a través de componentes de la cadena respiratoria, mediadores, artificiales o sintetizados por el organismo, o por nanohilos o *pili* producidos por las bacterias, que permiten el contacto directo con el ánodo. Los nanohilos son estructuras, formadas por filamentos, altamente conductoras que se forman entre las bacterias, que no están en contacto con el electrodo, y el electrodo, o bien entre bacterias.

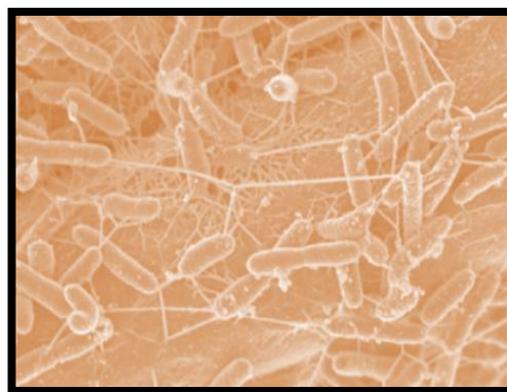


Figura 2. En esta microscopía electrónica podemos observar los nanohilos de la bacteria *Geobacter* conectados al ánodo.

A pesar de existir estos mecanismos, la mayoría de los microorganismos son incapaces de transportar electrones directamente al ánodo debido a la composición externa, que impide dicha transferencia: membrana lipídica, peptidoglicanos y polisacáridos, todos ellos estructuras no conductoras. Por ello, en los sistemas de MFC se suelen adicionar

mediadores externos para facilitar el transporte electrónico desde el microorganismo al ánodo.

En general, los mediadores que se encargan del transporte electrónico deben cumplir una serie de requisitos: poseer una cinética rápida (es decir, deben oxidarse y reducirse rápidamente en el ánodo y en el interior del organismo, respectivamente); penetrar fácilmente en la membrana celular; ser químicamente estables; no interferir con otras vías metabólicas; ser solubles en la solución en la que está inmerso el electrodo y no ser tóxicos.

Debido al creciente gasto de energía en el mundo, así como el aumento de las emisiones contaminantes y la mayor dependencia de los combustibles fósiles, las celdas de combustible microbianas han captado la atención de las investigaciones científicas en los últimos años, ya que suponen una alternativa en la producción de energía eléctrica a partir de materia orgánica. Las MFCs constituyen el principal sistema bioelectroquímico capaz de convertir la biomasa de forma espontánea en electricidad, sencillamente a través de la actividad metabólica de los microorganismos. No obstante, la generación neta de energía a partir de una MFC es todavía muy baja porque la tasa de extracción de electrones es limitada.

Una de las aplicaciones más destacadas en generación de electricidad ha sido implantar MFCs en robots, como los *Gastrobots*, los cuales usan la energía procedente de la biomasa que ellos mismos recogen (azúcares, fruta, insectos muertos, malas hierbas, etc.). De este modo, una MFC sería suficiente para alimentar un robot que realizara tareas básicas como su propia locomoción, el actuar como sensor o comunicarse.

Otra de las aplicaciones más destacadas en los sistemas de MFCs es la biorremediación. En este contexto, se manifiesta sobre todo en el tratamiento de aguas residuales y, en definitiva, en el tratamiento de sustancias contaminantes como nitratos, sulfuros y sulfatos. Las aguas residuales de los municipios constituyen un buen sustrato para las MFCs, pues favorecen el crecimiento de microorganismos bioelectroquímicamente activos, gracias a la enorme variedad de compuestos orgánicos que contienen. La electricidad generada puede reducir en gran magnitud la energía necesaria en el propio proceso de tratamiento de estas aguas, a la vez que elimina los contaminantes en las mismas, obteniendo así dos ventajas en el uso de este sustrato en MFCs.

Uno de los grandes descubrimientos realizados en los últimos años sobre las MFCs ha sido el desarrollo de sistemas que pueden producir electricidad a partir de materia orgánica presente en sedimentos acuáticos; son conocidos como “*Benthic Unattended Generators*” o “*BUGs*”. El objetivo principal de su creación es hacer funcionar dispositivos electrónicos en localizaciones remotas como puede ser el fondo del océano.

Estos artilugios poseen un ánodo que se entierra bajo sedimentos marinos con ausencia de oxígeno. En este ecosistema, un consorcio de microorganismos se encarga de oxidar la materia orgánica sedimentada, con la consecuente transferencia al ánodo. A su vez, este electrodo se encuentra conectado a un cátodo suspendido en el agua, la cual se encuentra oxigenada.

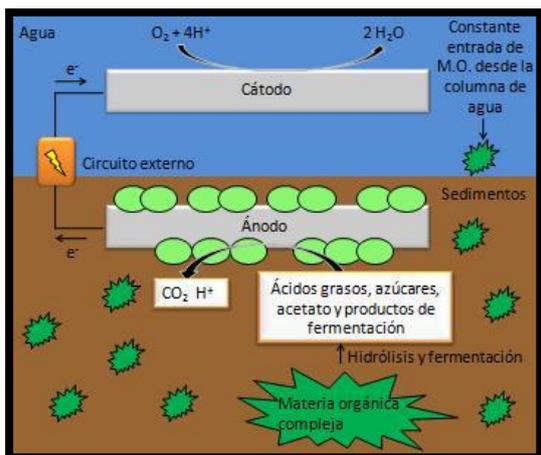


Figura 3. Modelo de producción de electricidad con MFC a partir de sedimentos. (*)

Debido a recientes problemas con las actuales fuentes de energía como el agotamiento de los combustibles fósiles o como el incidente con las centrales nucleares de Fukushima, las grandes compañías se han lanzado al desarrollo de formas alternativas de obtener energía, en un intento por minimizar el impacto causado sobre el medio, de forma que su acelerado deterioro se ralentice todo lo posible. La aparición de los sistemas MFC trae consigo una nueva posibilidad de

conseguir el ansiado objetivo de un modo de vida más respetuoso con la naturaleza.

¿Qué pasaría si un día no pudiéramos ducharnos porque no hay agua caliente o no pudiéramos encender ninguna luz en nuestra casa? Mentees científicas como nosotros debemos concienciarnos de estos problemas y colaborar en lo que se pueda a buscar nuevas alternativas. Es nuestra labor como científicos y como personas ayudar a preservar nuestro planeta.

Bibliografía:

- ♣ Lovley D.R. (2006) *Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches*. *Current Opinion in Biotechnology* 17, 327-332
- ♣ Rabaey K., Verstraete W. (2005) *Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation*. *Trends in Biotechnology* 23, 291-298
- ♣ Osman M.H., Shah A.A., Walsh F.C. (2010) *Recent progress and continuing challenges in bio-fuel cells. Part II: Microbial*. *Biosensors and Bioelectronics* 26, 953-963
- ♣ Pant D., Bogaert G.V., Diels L., Vanbroekhoven K. (2010) *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*. *Bioresource Technology* 101, 1533-1543
- ♣ Du Z., Li H., Gu T. (2007) *A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy*. *Biotechnology Advances* 25, 464-482

(*) Las figuras 1 y 3 han sido realizadas por los autores.



HIDRÓGENO: DEL GAS MÁS SIMPLE AL COMBUSTIBLE DEL FUTURO

Artículo realizado por Amparo Martínez Pérez

Muchos ecologistas y personas preocupadas por el medio ambiente en general han debatido durante muchos años acerca de la búsqueda de combustibles alternativos, hasta dar con uno especialmente importante: El hidrógeno. Pero ¿es cierto que podríamos obtener energía eficiente a partir de este gas o son sólo conjeturas? Y más importante aún, ¿qué pasaría si realmente lo consiguiésemos?

El elemento químico más abundante en el universo es el hidrógeno. Las estrellas en su ciclo principal están formadas por hidrógeno en estado de plasma. Sin embargo este elemento en su estado

fundamental (H₂) es muy escaso en nuestro planeta (solamente constituye el 0,87% de la masa de la Tierra) ya que al parecer, grandes cantidades de hidrógeno escaparon de la Tierra durante sus inicios.