

BACTERIAS PARA LA GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD: UN PANORAMA GENERAL

JOSÉ LUIS ALEMÁN RAMÍREZ,
DULCE K. BECERRA-PANIAGUA, M. MEJÍA-LÓPEZ, SOLEYDA TORRES
ARELLANO, P.J. SEBASTIAN

¿QUE SON LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS?

En 1910, el biólogo de plantas Michael Cressé Potter introdujo por primera vez el concepto de celda de combustible microbiana (CCM) o en inglés “Microbial Fuel Cell, (MFC)”. Las celdas de combustible son un sistema bioelectroquímico la cual emplea diferentes bacterias exoelectrógenas para la generación de bioelectricidad. Primeramente, las bacterias se alimentan de distintos desechos orgánicos e inorgánicos (almacenada como energía química) y utilizan su metabolismo oxidativo para convertir la energía química a energía eléctrica [1]. Para que una CCM sea exitosa en la generación de electricidad, esta debe tener agua con una alta concentración de materia orgánica [2]. Además, su manejo es simple y no requieren de altas temperaturas de operación (temperatura ambiente), por si fuera poco, las bacterias exoelectrógenas son las principales responsables y promotoras del rendimiento en la generación de bioelectricidad en una CCM.



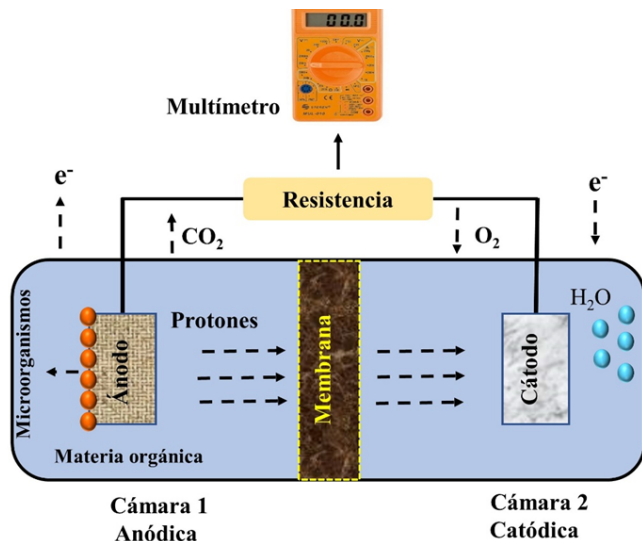
FIGURA 1. FOTOGRAFÍA DEL BIÓLOGO MICHAEL CRESSÉ POTTER [3].

¿CÓMO FUNCIONAN LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS?

El principio de funcionamiento de una celda de combustible microbiana es relativamente simple. Una CCM tradicional está compuesta por dos cámaras (anódica y catódica) divididas en la parte media por una membrana como se muestra en la Figura 2. En la primera cámara se coloca un electrodo conocido como ánodo, en la segunda cámara se emplea un segundo electrodo llamado cátodo. El primer electrodo (ánodo) tiene como principal función la adherencia de los microorganismos exoelectrógenos. Estos microorganismos reciben diferentes nombres tales como: “bacterias electroquímicamente activas” o “electricigen”; estos microorganismos se caracterizan por producir y transferir electrones. Por otra parte, estos microorganismos se adhieren en la superficie del electrodo (ánodo) formando una biopelícula (acumulación de microorganismos), y al mismo tiempo consumen la materia orgánica presente en el medio o sustrato, que suele ser generalmente agua residual compuesta por materia orgánica e inorgánica para generar electrones.



FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA TRADICIONAL Y SUS DIFERENTES COMPONENTES [FUENTE: ELABORACIÓN DE LOS AUTORES].



TIPOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS

Durante este proceso se lleva a cabo la transferencia de electrones desde el ánodo con biopelícula hasta el cátodo (segunda cámara), esto se logra gracias a la existencia de un circuito eléctrico; llevando a cabo una producción constante de flujo de electrones que recorre el circuito, generando electricidad.

También, estos microorganismos electroquímicamente activos son capaces de liberar al mismo tiempo protones y dióxido de carbono (CO₂), estos protones tienen la facilidad de viajar de la cámara anódica a la catódica a través de una membrana semipermeable. En este paso, estos productos producidos se combinan con el oxígeno del aire para reducirse a agua con los electrones que son captados en el cátodo [2].

Las dos celdas microbianas más utilizadas a nivel laboratorio son la celda de combustible microbiana de una sola cámara y la celda de combustible de dos cámaras. La primera, se caracteriza por estar constituida por un solo compartimiento. En este espacio se introducen el ánodo y el cátodo los cuales se encuentran separados por algunos centímetros. Además, se coloca una membrana intercambiadora de protones (separator) (ver Figura 3). La segunda, está compuesta por dos compartimientos o cámaras (anódica y catódica) las cuales están divididas por un separator como puede observarse en la figura anterior (ver Figura 2). Sin importar cuál sea el diseño todas las celdas comparten el mismo principio de funcionamiento [4].

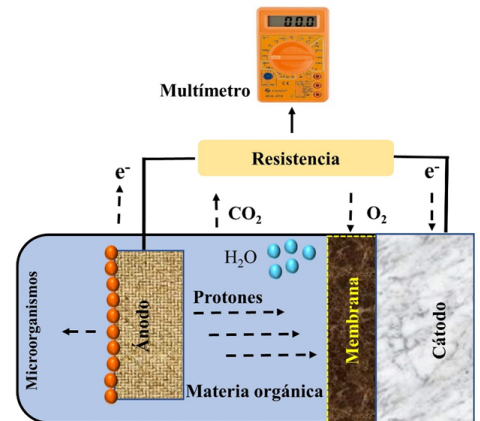


FIGURA 3. CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA DE UNA SOLA CÁMARA [FUENTE: ELABORACIÓN DE LOS AUTORES].

MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS

Para la fabricación de una CCM se han utilizado diferentes materiales, los de preferencia para su ensamblaje son el acrílico y el vidrio. Estos materiales se caracterizan principalmente por ser de bajo costo, de fácil acceso y sencillos de manipular en el momento del ensamblaje de la celda microbiana. En el caso del separador, este tiene como principal objetivo impedir el paso de los electrones, dejando pasar solamente los protones de la cámara anódica a la catódica. Existen diversos tipos de separadores como son la membrana de intercambio de cationes (MIC), membrana de intercambio de aniones (MIA), membrana bipolar, membrana de microfiltración, membrana de ultrafiltración, puente salino, fibra de vidrio, membrana porosa y la más utilizada en la actualidad, la membrana de nafión debido a su alta permeabilidad de protones [2]. Mientras tanto, los ánodos se han fabricado de diversos materiales carbonosos tales como son las barras de carbono, papel carbón, carbono vítreo reticulado y grafito. Otro material que ha sido utilizado se encuentra el fieltro y finalmente los materiales metálicos como son la malla de acero inoxidable, láminas de níquel y láminas de cobre [5].



Los mismos materiales que suelen ser utilizados en la fabricación de ánodos, también pueden ser utilizados para el cátodo.

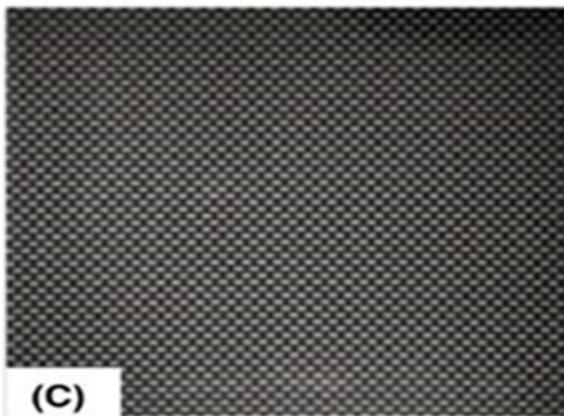
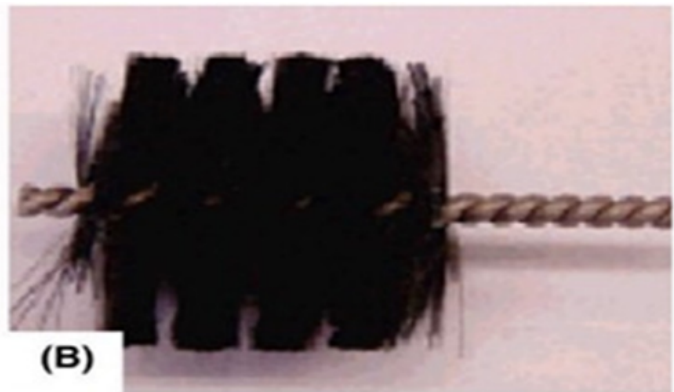


FIGURA 4. DIVERSOS ELECTRODOS A BASE DE CARBONO UTILIZADOS EN LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS. A) ELECTRODO TIPO VARILLA DE GRAFITO, B) ELECTRODO DE CEPILLO DE FIBRA DE CARBONO, C) ELECTRODO DE TELA DE CARBONO Y D) ELECTRODO DE FIELTRO DE CARBONO. IMÁGENES TOMADAS DE [5].

BENEFICIOS Y APLICACIONES DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS

Los beneficios que presentan las CCM son diversos, destacándose la remoción de materia orgánica presente en aguas residuales, biorremediación de ambientes contaminados por metales pesados y finalmente la de mayor interés científico, la generación de bioelectricidad. Además, pueden ser utilizados para la producción de combustibles como el biohidrógeno y en el desarrollo de biosensores para el análisis de contaminación. Otro de los beneficios que tienen estos sistemas es que los diferentes microorganismos presentes pueden ser utilizados en lodos anaeróbicos de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, domésticas, residenciales e industriales, de rellenos sanitarios, sedimentos de ríos y marinos entre otras fuentes.

AVANCES RECIENTES EN LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS



Aún existen algunas áreas de las CCM que deben ser exploradas y mejoradas para alcanzar una mejor eficiencia en la generación de bioelectricidad. La mayoría de estas investigaciones se han llevado a cabo a nivel laboratorio, por lo que un posible escalamiento podría llevarse a cabo en un futuro no muy lejano. Dentro de los principales avances que se han desarrollado en torno a las CCM; son la reducción de oxígeno y la producción de combustibles a través de la electrosíntesis microbiana para llevar a cabo la reducción de CO₂, para la producción de compuestos orgánicos y la producción de hidrógeno (H₂). Además, se encuentran la mejora del tipo de inóculo, membranas y la optimización de diseños para la producción de diferentes bioproductos.

Otros estudios se han enfocado en buscar nuevos materiales para la construcción de estos sistemas bioelectroquímicos. Tal es el caso de la Dra. Mónica P. Mejía López, quien actualmente se encuentra realizando una estancia postdoctoral y en conjunto con el Grupo de Hidrógeno del Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) a cargo del Dr. P.J Sebastian, encabezan un proyecto en el desarrollo, construcción y optimización de celdas de combustible microbianas y en la mejora de ánodos a partir del biocarbono de diferentes fuentes renovables, con el objetivo de aumentar la adherencia de diversos microorganismos para alcanzar altas densidades de potencia y con ello, mejorar la producción de bioelectricidad.

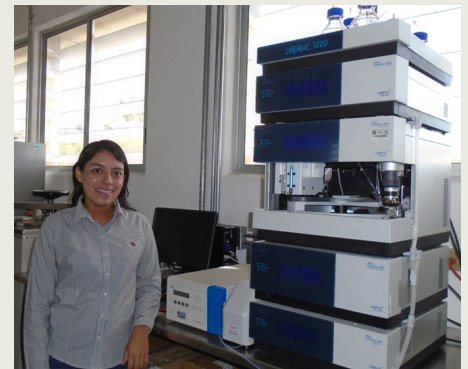


FIGURA 5. DRA. MÓNICA P. MEJÍA LÓPEZ EN EL LABORATORIO DE BIOENERGÍA Y CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS.

Referencias bibliográficas

- [1] H. Guo, C. Huang, X. Geng, X. Jia, H. Huo, y W. Yue, «Influence of the original electrogenic bacteria on the performance of oily sludge Microbial Fuel Cells», *Energy Reports*, vol. 8, pp. 14374-14381, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.440.
- [2] D. M. Revelo, N. H. Hurtado, y J. O. Ruiz, «Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica», *Inf. tecnol.*, vol. 24, n.o 6, pp. 7-8, 2013, doi: 10.4067/S0718-07642013000600004.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [3] Wikimedia Commons, Michael Cressé Potter (1858-1948), photo from studio of Lafayette, individual photographer unknown. 1932. Accedido: 17 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michael_Cress%C3%A9_Potter_%281929.png
- [4] P. Sengodan y D. Hays, «Microbial Fuel Cells», 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.npc.org/FTF_topic_papers.html
- [5] R. Kaur, A. Marwaha, V. A. Chhabra, K.-H. Kim, y S. K. Tripathi, «Recent developments on functional nanomaterial-based electrodes for microbial fuel cells», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 119, p. 109551, mar. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109551.

