

Ciencia e **CI** Investigación

ASOCIACIÓN ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS

Primera revista argentina de información científica / Fundada en enero de 1945



Bacterias electrogénicas

■ JUAN PABLO BUSALMEN

Melanoma

■ MARÍA ELISA PICCO
NATALIA BRENDA FERNÁNDEZ
PABLO LÓPEZ BERGAMI

La investigación en el arte y el arte de la investigación: de Apolo a Dionisos

■ ENRIQUE T. SEGURA
CLAUDIA T. MARRO

Los Premios Nobel en Ciencias

■ JORGE T. BLAQUIER
MÁXIMO BARÓN
ALBERTO POSTIGO

Renina Angiotensina

■ ALBERTO C. TAQUINI (H)
NIDIA BASSO
MARIELA GIRONACCI

TOMO 60 N°2 - 2010

Bacterias electrogénicas: de los sedimentos a las celdas de combustible microbianas

Palabras clave: bioenergía, celdas de combustible, bacterias, transporte de electrones, citocromos.
Key words: Bio-energy, fuel cells, bacteria, electron transport, cytochromes.

En momentos en los que la utilización de fuentes no renovables de energía está alcanzando niveles excesivos e insospechados, surge la necesidad de encontrar alternativas energéticas que permitan reducir el impacto de la actividad humana sobre el medioambiente. La preocupante generación de residuos tóxicos y de gases con efecto invernadero requiere ser disminuida en forma drástica a fin de preservar el equilibrio natural de nuestro planeta y nuestras propias condiciones de vida. En tal sentido la búsqueda de nuevas fuentes de energía es incesante y ofrece cada vez más posibilidades de consolidar un conjunto de tecnologías que resuelva definitivamente el problema.

Entre las alternativas actualmente conocidas para la generación no contaminante de energía eléctrica, aquellas que dependen de la actividad de catalizadores biológicos son una opción que resulta de interés por su absoluta inocuidad para con el entorno y por su bajo costo. Las celdas microbianas de combustible son un ejemplo cuyas posibilidades han sido exploradas durante décadas, aunque sin mayores progresos. Sin embargo, el interés en esta tecnología se ha incrementado notablemente durante los últimos 5 años a partir del descubrimiento de microorganismos electrogénicos.

Originarios de distintos sedimentos anaeróbicos los microorganismos electrogénicos son capaces de intercambiar electrones con superficies conductoras (electrodos) y producir una corriente eléctrica a partir de la degradación de la materia orgánica presente, constituyendo así un catalizador ideal para la limpieza de aguas residuales o de sitios contaminados con hidrocarburos, con el beneficio adicional de la recuperación de energía. En este artículo se introducen los principios de funcionamiento de las celdas de combustible microbianas, se presentan los microorganismos electrogénicos y se avanza hasta la frontera actual del conocimiento sobre los mecanismos de transporte de electrones que les posibilitan la generación de energía eléctrica.

■ CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS: PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

Una celda de combustible es un dispositivo que transforma energía química en corriente eléctrica a través del acoplamiento de **reacciones electroquímicas de oxidación y re-**

ducción.

Para lograr el objetivo estas reacciones se producen en compartimientos separados por una membrana semipermeable, de manera que los electrones producidos en las oxidaciones circulen por un circuito externo para ser consumidos en las reducciones, esto permite aprove-

char la circulación de corriente (Fig. 1). A diferencia de las baterías, en las que una cierta cantidad de energía química almacenada se transforma en energía eléctrica hasta su agotamiento (Fig. 1a), en las celdas de combustible hay un flujo permanente de reactivos que alimenta la generación continua de corriente

■ Juan Pablo Busalmen

Laboratorio de Bioelectroquímica, Div. Corrosión INTEMA(CONICET). UNMdP, Juan B. Justo 4302, B7608FDQ, Mar del Plata, Argentina.
jbusalme@fi.mdp.edu.ar

(Fig. 1b). En una celda de combustible microbiana las reacciones redox son mediadas por microorganismos que funcionan como **catalizadores biológicos** (Fig. 1c). Estos dispositivos se utilizan para obtener energía eléctrica a partir de materia orgánica disuelta (MOD) de variadas fuentes incluyendo aguas residuales o sedimentos (5, 14-16). En la presentación típica una celda de combustible microbiana está conformada por una cámara anaeróbica en la que entra el efluente a tratar para ser oxidado en una reacción facilitada por las bacterias; y una cámara aeróbica en la que se reduce algún compuesto capaz de recibir electrones (generalmente el oxígeno disuelto) (Fig. 1c).

compuesto reductor (el combustible), intercambian electrones con los electrodos. Cuanto mayor la diferencia entre estos potenciales mayor el voltaje de la celda. Por otra parte, existen resistencias óhmicas, gradientes de concentración y limitaciones cinéticas (de velocidad de reacción) a la transferencia de electrones que afectan al desempeño de la celda (9). Estas variables dependen fuertemente entre otras cosas, del electrolito empleado, del material de los electrodos y del tipo de microorganismo utilizado.

$$(1) P_{\text{celda}} = V_{\text{celda}} \times I_{\text{celda}}$$

Para la producción de corriente eléctrica mediada por microorganismos es necesario que los electrones

células pudiera ser **oxidado electroquímicamente** sobre los electrodos; sin embargo, estos productos de fermentación son generalmente poco reactivos con los electrodos por lo que la investigación debió orientarse hacia la búsqueda de alternativas más eficientes. El siguiente paso fue utilizar **mediadores redox** sintéticos capaces de ingresar a la célula, captar los electrones del metabolismo y salir de la célula para ser oxidado sobre la superficie del electrodo. Esto permitió mejorar las prestaciones de las celdas biológicas, aunque debido a la toxicidad inherente a los mediadores redox el desarrollo de aplicaciones se vio limitado. Actualmente las celdas de combustible microbianas se construyen basadas en la utilización de microorganismos electrogénicos capaces de transferir electrones al electrodo ya sea en forma directa o bien a través de un mediador redox producido por la propia bacteria (Fig. 2).

■ MICROORGANISMOS ELECTROGÉNICOS

El paradigma de la generación de electricidad con celdas microbianas cambió radicalmente cuando en 2002, investigadores de la Universidad de Massachussets informaron acerca del enriquecimiento de microorganismos del grupo de las **δ -proteobacterias**, más concretamente de integrantes de la familia Geobacteraceae sobre electrodos enterrados en sedimento y **polarizados a un potencial positivo** (1). Los miembros de esta familia son microorganismos anaeróbicos con la habilidad de utilizar diferentes **aceptores electrónicos** para la respiración celular, entre los que curiosamente se cuentan aceptores sólidos como los óxidos de hierro y de manganeso (13). Los investigadores demostraron además que estos microorganismos podían crecer utilizando un electrodo como único aceptor de electrones y por lo tanto podían generar una corriente eléctrica (1). Por otra parte, investigaciones del Instituto de Ciencia y Tecnología de Korea mostraban actividad electroquímica

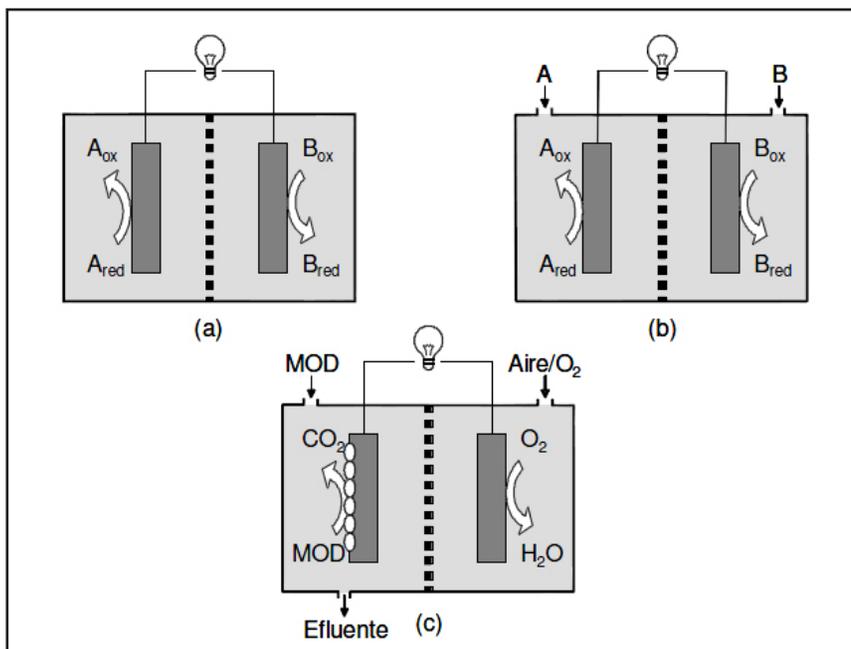


Figura 1: Representación esquemática que muestra las diferencias entre una pila (a) en la que los compuestos que producen la corriente se agotan; una celda de combustible (b) en la que dichos compuestos son repuestos continuamente desde el exterior y una celda de combustible microbiana (c) en la que la oxidación del combustible es mediada por bacterias. MOD: materia orgánica disuelta. A y B: compuestos susceptibles de ser oxidados o reducidos sobre los electrodos. Las líneas punteadas representan membranas semipermeables.

La potencia que es posible obtener de una celda de combustible (P_{celda}) es el producto del voltaje (V_{celda}) y la corriente (I_{celda}) de la misma (ecuación 1). El voltaje de la celda está principalmente determinado por los potenciales a los cuales el compuesto oxidante y el

que éstos obtienen de la oxidación de la MOD lleguen al electrodo de alguna manera. Las primeras celdas de combustible microbianas se construyeron con **microorganismos fermentadores** capaces de producir algún metabolito reducido que luego de su liberación al exterior de las

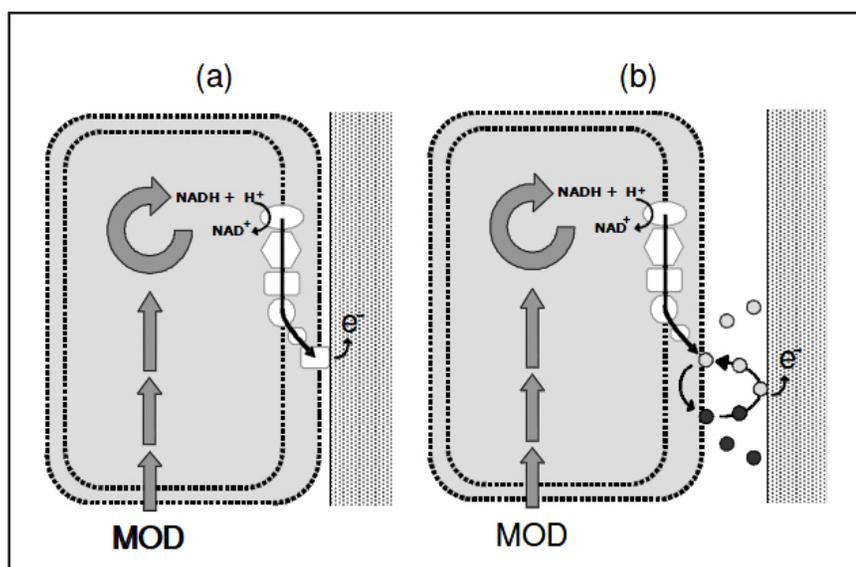


Figura 2: Mecanismos conocidos de transporte de electrones hacia el exterior celular en microorganismos electrogénicos. a) transporte por interacción directa con la superficie (típico de *G. sulfurreducens*) y b) transporte mediante mediadores redox (descrito para *S. oneidensis*).

en cultivos puros de otras bacterias reductoras de hierro pertenecientes al género *Shewanella* (10). Rápidamente se generalizó la hipótesis de que la posibilidad de generación de corriente eléctrica estaba relacionada con la habilidad de los estos microorganismos para utilizar aceptores insolubles de electrones como los óxidos de hierro y se potenció la investigación al respecto. Como resultante, hoy se desarrollan celdas de combustible basadas en microorganismos electrogénicos cuyo rendimiento energético alcanza al 98% de los electrones disponibles en la materia orgánica a degradar.

■ DEL MECANISMO DE TRANSPORTE DE ELECTRONES

Para la reducción de aceptores insolubles los microorganismos electrogénicos han debido evolucionar hacia una mayor versatilidad respiratoria que incluyera la extensión de la cadena de transporte electrónico hacia el exterior de la célula (Fig. 2). Actualmente se sabe por ejemplo que en *G. sulfurreducens* un número importante de moléculas transportadoras de electrones (incluidos **citocromos** (6, 12) y **pili** conductores (7, 17)) se encuentran en la cara más

externa de las células y son capaces de contactar físicamente con los óxidos (Fig. 2a)

(para excelentes revisiones ver (19, 20)). Se sabe además que algunos de estos transportadores son **sobre-expresados** en células que están produciendo electricidad (8), lo

que sugiere que la maquinaria utilizada por los microorganismos para reducir óxidos, o al menos parte de la misma, es utilizada también en la cadena de transporte hacia los electrodos.

El mecanismo de transporte parece ser diferente en cepas del género *Shewanella*. Investigadores de la Universidad de Minnesota han demostrado la producción de **riboflavinas** que son excretadas al medio y se adsorben sobre el electrodo acondicionando la superficie (11). Se postula que estos compuestos hacen las veces de transportadores redox capaces de ser liberados al medio en estado reducido, para que luego de oxidarse a una cierta distancia de la célula puedan ser capturados nuevamente para ser utilizados como aceptor (Fig. 2b). Además de la oxidación directa o del uso de transportadores redox, se ha propuesto que los microorganismos electrogénicos utilizarían también **nanocables** moleculares para el transporte de los electrones (7, 17). Estos serían pilis con alta conductividad eléctrica que facilitarían la conexión con la superficie y también entre células de

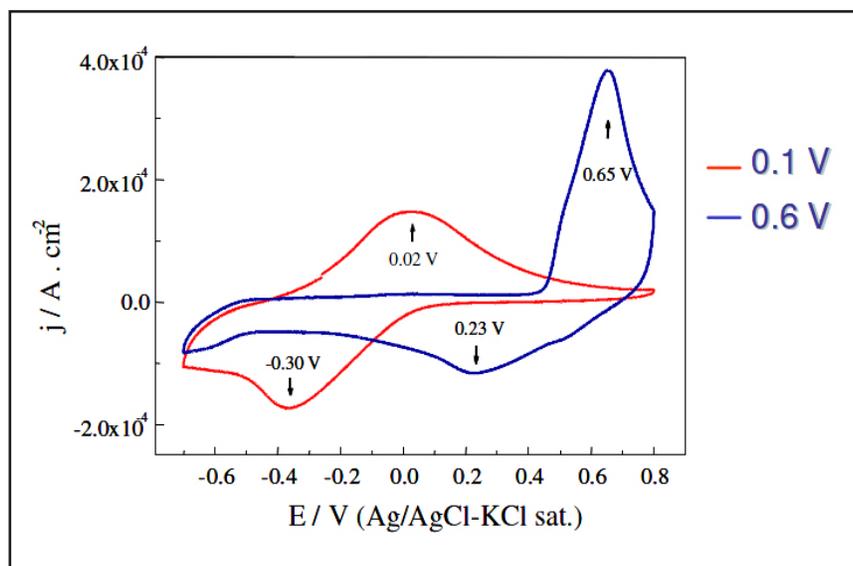


Figura 3: Análisis voltamétrico de *G. sulfurreducens* adaptadas a la interacción con un electrodo polarizado a 0.1 ó 0.6 V durante 18 horas. Durante el análisis voltamétrico el potencial del electrodo es modificado externamente para forzar la transferencia de electrones entre la superficie y los compuestos redox (en este caso las moléculas de la superficie bacteriana) en contacto con la misma. Los picos positivos indican los potenciales a los que se dan los procesos de oxidación (las bacterias ceden electrones) en tanto que los picos negativos corresponden a los procesos de reducción. Reproducido con permiso de la Referencia 3.

una misma población o comunidad (7, 17, 18). Aunque esta hipótesis resulta atractiva y a pesar del impacto que ha producido, se encuentra aún en vías de ser contrastada con resultados electroquímicos concluyentes.

La versatilidad respiratoria de los microorganismos electrogénicos hace pensar que cuentan con un mecanismo de reconocimiento del aceptor electrónico. Se ha descrito por ejemplo que *G. metallireducens* es **quimiotáctica** hacia los óxidos sólidos que le sirven de aceptor a través del reconocimiento de sus productos de reducción Fe(II) y Mn(IV) (4), aunque hasta el presente éste es el único dato disponible. En el caso particular de la "respiración de electrodos" no hay producto de reducción alguno que pueda ser detectado, por lo que se ha propuesto que es el potencial del aceptor, en este caso el electrodo, el que determina la respuesta biológica a través de un mecanismo que sería homologable a la **taxis redox** (3). Así un electrodo polarizado puede simular la presencia de diferentes aceptores de electrones dependiendo del potencial impuesto, induciendo la producción de vías enzimáticas específicas para el transporte de electrones (3). La propuesta se fundamenta en que la respuesta electroquímica de *G. sulfurreducens* cambia radicalmente cuando las células interactúan con un electrodo polarizado a 0.1 o a 0.6 V (Ag/AgCl – KCl saturado) (Fig. 3) (3). El cambio da cuenta de la expresión de diferentes elementos redox en la superficie celular según el potencial del aceptor disponible.

Una de las grandes limitaciones para el mejoramiento de las celdas de combustible microbianas, es la poca información disponible acerca del mecanismo molecular de transporte de electrones hacia el electrodo. En el caso de *G. sulfurreducens*, resultados muy recientes demuestran que la transferencia de los electrones al electrodo se realiza en forma directa y que las moléculas implicadas son **citocromos** del tipo C (2). Esta información fue obtenida mediante modernas técnicas de

espectroelectroquímica como **ATR-SEIRAS** (attenuated total reflexion – Surface enhanced IR absorption spectroscopy) y **SNIFTIRS** (Subtractively normalized interfacial Fourier transform infrared spectra). Registrando los espectros de células interactuando con un electrodo a potenciales de oxidación y reducción, fue posible demostrar una **transición conformacional** de las moléculas íntimamente ligadas al electrodo.

Este cambio ocurre durante la transferencia de electrones y presenta las características espectrales de la oxidoreducción de citocromos aislados (2). Este descubrimiento consolida las hipótesis planteadas a partir de la información fisiológica y molecular disponible y da cuenta del enorme potencial de los métodos espectroelectroquímicos para el estudio de sistemas bioelectroquímicos de célula completa.

La investigación para el desarrollo de las celdas de combustible microbianas está en pleno auge. En menos de una década y a partir del descubrimiento de los microorganismos adecuados, la labor de inge-

nieros, biólogos, químicos y físicos ha conducido a que hoy se cuente con una tecnología susceptible de ser utilizada en variadas aplicaciones. Inicialmente, estos dispositivos proveerían la energía necesaria para abastecer los requerimientos del propio proceso de tratamiento del efluente, que de otra manera deben ser cubiertos con inversión en otra fuente de energía, aunque no se descarta que con el avance en su conocimiento permitan generar energía extra que pueda utilizarse con otros fines. En tal sentido la identificación de las moléculas implicadas en el transporte de electrones aporta nueva información que permitirá mejorar por ejemplo, la biocompatibilidad de los materiales de electrodo, o la eficiencia del transporte electrónico molécula-superficie, a través del diseño de interfaces inteligentes que se podrán aplicar no solamente en las celdas de combustible microbianas sino también en biosensores de célula completa con aplicaciones ambientales y en procesos de biorremediación asistidos eléctricamente.

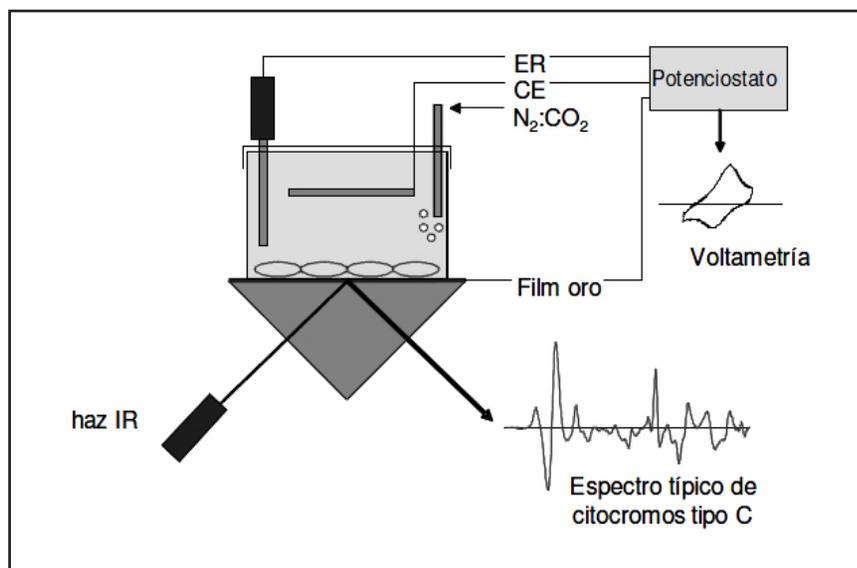


Figura 4: Esquema del arreglo experimental utilizado para el análisis espectroelectroquímico de células productoras de electricidad. El experimento consiste en adherir bacterias electrogénicas a un electrodo (film de oro) sobre el que se hace impactar un haz de luz infrarroja con longitudes de onda que van desde los 1000 a los 4000 cm^{-1} .

Dependiendo del potencial aplicado al electrodo (con un potenciostato) la cantidad y calidad de la luz absorbida por las bacterias cambia. Estos cambios se recogen en forma de espectros de absorción y su análisis da información acerca de las moléculas involucradas en el transporte de electrones entre bacterias y electrodo.

■ AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo fue financiado por Comunidad Económica Europea a través de una Beca Marie Curie (contrato N°: MIF1-CT-2006-021347), por la Universidad Nacional de Mar del Plata (subsidio 15G/183) y por la ANPCyT (PICT 22050). JPB es investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

■ REFERENCIAS:

- Bond, D. R., D. E. Holmes, L. M. Tender, and D. R. Lovley.** 2002. Electrodereducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science* **295**:483-5.
- Busalmen, J. P., A. Esteve-Nuñez, A. Berna, and J. M. Feliu.** 2008. C-type cytochromes wire electricity-producing bacteria to electrodes. *Angewandte Chemie International Edition*.
- Busalmen, J. P., A. Esteve-Nuñez, and J. M. Feliu.** 2008. Whole Cell Electrochemistry of Electricity-Producing Microorganisms Evidence an Adaptation for Optimal Extracellular Electron Transport. *Environmental Science & Technology* **42**:2445-2450.
- Childers, S. E., S. Ciufo, and D. R. Lovley.** 2002. *Geobacter metallireducens* accesses insoluble Fe(III) oxide by chemotaxis. *Nature* **416**:767-769.
- Clauwaert, P., K. Rabaey, P. Aelterman, L. DeSchampelaire, T. H. Pham, P. Boeckx, N. Boon, and W. Verstraete.** 2007. Biological Denitrification in Microbial Fuel Cells. *Environmental Science Technology* **41**:3354-3360.
- Ding, Y.-H. R., K. K. Hixson, C. S. Giometti, A. Stanley, A. Esteve-Nuñez, T. Khare, S. L. Tollaksen, W. Zhu, J. N. Adkins, M. S. Lipton, R. D. Smith, T. Mester, and D. R. Lovley.** 2006. The proteome of dissimilatory metal-reducing microorganism *Geobacter sulfurreducens* under various growth conditions. *BBA - Proteins & Proteomics* **1764**:1198-1206.
- Gorby, Y. A., S. Yanina, J. S. McLean, K. M. Rosso, D. Moyles, A. Dohnalkova, T. J. Beveridge, I. S. Chang, B. H. Kim, K. S. Kim, D. E. Culley, S. B. Reed, M. F. Romine, D. A. Saffarini, E. A. Hill, L. Shi, D. A. Elias, D. W. Kennedy, G. Pinchuk, K. Watanabe, S. i. Ishii, B. Logan, K. H. Nealson, and J. K. Fredrickson.** 2006. Electrically conductive bacterial nanowires produced by *Shewanella oneidensis* strain MR-1 and other microorganisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **103**:11358-11363.
- Holmes, D. E., S. K. Chaudhuri, K. P. Nevin, T. Mehta, B. A. Methe, A. Liu, J. E. Ward, T. L. Woodard, J. Webster, and D. R. Lovley.** 2006. Microarray and genetic analysis of electron transfer to electrodes in *Geobacter sulfurreducens*. *Environmental Microbiology* **8**:1805-1815.
- Katz, E., A. N. Shipway, and I. Willner.** 2003. Biochemical fuel cells, p. 355-382. In W. Vielstich, A. Lamm, and H. A. Gasteiger (ed.), *Handbook of fuel cells. Fundamentals, technology and applications*, vol. 1. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Kim, H. J., H. S. Park, M. S. Hyun, I. S. Chang, M. Kim, and B. H. Kim.** 2002. A mediator-less microbial fuel cell using a metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*. *Enzymes & Microbial Technology* **30**:145-152.
- Marsili, E., D. B. Baron, I. D. Shikhare, D. Coursolle, J. A. Gralnick, and D. R. Bond.** 2008. *Shewanella* secretes flavins that mediate extracellular electron transfer. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*: 0710525105.
- Mehta, T., M. V. Coppi, S. E. Childers, and D. R. Lovley.** 2005. Outer membrane c-type cytochromes required for Fe(III) and Mn(IV) oxide reduction in *Geobacter sulfurreducens*. *Applied & Environmental Microbiology* **71**:8634-41.
- Methe, B. A., K. E. Nelson, J. A. Eisen, I. T. Paulsen, W. Nelson, J. F. Heidelberg, D. Wu, M. Wu, N. Ward, M. J. Beanan, R. J. Dodson, R. Madupu, L. M. Brinkac, S. C. Daugherty, R. T. DeBoy, A. S. Durkin, M. Gwinn, J. F. Kolonay, S. A. Sullivan, D. H. Haft, J. Selengut, T. M. Davidsen, N. Zafar, O. White, B. Tran, C. Romero, H. A. Forberger, J. Weidman, H. Khouri, T. V. Feldblyum, T. R. Utterback, S. E. Van Aken, D. R. Lovley, and C. M. Fraser.** 2003. Genome of *Geobacter sulfurreducens*: metal reduction in subsurface environments. *Science* **302**:1967-9.
- Morris, J. M., and S. Jin.** 2008. Feasibility of using microbial fuel cell technology for bioremediation of hydrocarbons in groundwater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **43**:18 - 23.
- Nielsen, M. E., C. E. Reimers, and H. A. Stecher.** 2007. Enhanced Power from Chambered Benthic Microbial Fuel Cells. *Environmental Science & Technology* **41**:7895-7900.
- Rabaey, K., K. VandeSompel, L. Maignien, N. Boon, P. Aelterman, P. Clauwaert, L. DeSchampelaire, H. T. Pham, J. Vermeulen, M. Verhaege, P. Lens, and W. Verstraete.** 2006. Microbial Fuel Cells for Sulfide Removal. *Environmental Science & Technology* **40**:5218-5224.
- Reguera, G., K. D. McCarthy, T. Mehta, J. S. Nicoll, M. T. Tuominen, and D. R. Lovley.** 2005. Extracellular electron transfer via microbial nanowires. *Nature* **435**:1098-101.
- Reguera, G., K. P. Nevin, J. S. Nicoll, S. F. Covalla, T. L. Woodard, and D. R. Lovley.** 2006. Biofilm and Nanowire Production Leads to Increased Current in *Geobacter sulfurreducens* Fuel Cells. *Applied & Environmental Microbiology* **72**:7345-7348.
- Shi, L., T. C. Squier, J. M. Zachara, and J. K. Fredrickson.** 2007. Respiration of metal (hydr)oxides by *Shewanella* and *Geobacter*: a key role for multiheme c-type cytochromes. *Molecular Microbiology* **65**:12-20.
- Weber, K. A., L. A. Achenbach, and J. D. Coates.** 2006. Microorganisms pumping iron: anaerobic microbial iron oxidation and reduction. *Nature Reviews Microbiology* **4**:752-64.

■ GLOSARIO:

Aceptor electrónico: compuesto que en estado oxidado es capaz de recibir los electrones de las enzimas que participan en la respiración bacteriana.

ATR-SEIRAS: técnica de espectroscopia infrarroja extremadamente sensible y selectiva a la absorción infrarroja de compuestos ubicados en la superficie de un electrodo.

Cadena de transporte electrónico: la respiración a nivel celular comprende el transporte de electrones a lo largo de una serie de enzimas redox que los conducen hacia un compuesto capaz de aceptarlos. Este aceptor electrónico es el oxígeno para las células aeróbicas, pero es reemplazado por otros en los distintos tipos de respiración que se pueden encontrar en diferentes bacterias anaeróbicas (que no respiran oxígeno).

Catalizador: compuesto que aumenta la velocidad de una reacción química bajando la energía necesaria para que ésta ocurra, sin ser consumido en el proceso.

Citocromo: Proteína redox que contiene hierro y participa los procesos de respiración celular.

Electrolito: solución salina con cierto grado de conductividad eléctrica debido a la presencia de iones.

Espectroelectroquímica: conjunto de técnicas de análisis que se basan en la detección de la absorción o emisión de luz por parte de los compuestos que participan en una reac-

ción electroquímica.

Mediador redox: compuesto capaz de aceptar o ceder electrones sirviendo de transportador de los mismos.

Microorganismos electrogénicos: también definidos como "reductores de electrodos", son aquellos capaces de entregar los electrones que obtienen de la degradación de la materia orgánica a un electrodo, produciendo entonces una corriente eléctrica.

Microorganismos fermentadores: aquellos capaces de degradar anaeróticamente glucosa o compuestos orgánicos para obtener energía sin mediación de procesos de respiración.

Nanocables: véase pili.

Oxidación: reacción por la cual un compuesto cede electrones.

Oxidación electroquímica: proceso por el cual un compuesto cede electrones a un electrodo polarizado.

Pili: apéndice celular a modo de pelo en bacterias. Se cree que algunos pueden conducir electricidad aunque esto no está demostrado.

Polarizado a un potencial positivo: electrodo sobre el cual se aplica una diferencia de potencial respecto de un electrodo de referencia, de manera que su carga superficial sea positiva y favorezca los procesos de oxidación.

Proteobacterias: denominación bajo la cual se clasifican un gran número de bacterias en virtud de similitudes en su secuencia de ADN. Se reconocen 5 clases diferentes: a, b, d, g y e.

Quimiotaxis: habilidad de censar diferencias de concentración de algún compuesto químico y desplazarse a favor o en contra de dicho gradiente según el compuesto sea atractante o repelente.

Reacciones electroquímicas (redox): reacciones químicas en las que se intercambian electrones entre los compuestos o materiales participantes.

Redox: relativo a compuestos susceptibles de oxidarse o reducirse intercambiando electrones.

Reducción: reacción por la cual un compuesto gana electrones.

Riboflavinas: proteína redox que participa en el transporte de electrones.

SNIFTIRS: técnica basada en la comparación de espectros infrarrojos obtenidos sobre un mismo compuesto en diferentes estados de oxidación.

Sobre-expresado: refiere a la sobreproducción de una proteína u otro compuesto mediante incremento de la transcripción del gen que la codifica.

Taxis redox: proceso de reconocimiento de gradientes en el potencial redox del medioambiente y posicionamiento posterior.

Transición conformacional: en el caso aquí descrito, cambio de forma o estructura en consecuencia del intercambio de electrones.

Voltimetría: técnica electroquímica en la cual se varía el potencial (voltaje) de un electrodo y se registra la variación en la corriente producida por dicho potencial.



INSTITUTO LELOIR
FUNDACIÓN



60 años produciendo conocimiento de excelencia

- 22 laboratorios en los que trabajan 170 investigadores, becarios y estudiantes.
- Repatriación de científicos argentinos.
- Evaluación trienal externa del desempeño de los investigadores.
- Biblioteca Nacional de Referencia en Bioquímica.
- Primera Agencia de Noticias Científicas y Tecnológicas Argentina.
- Convenios de vinculación tecnológica.

Av. Patricias Argentinas 435, Buenos Aires. (54-11) 5238-7500, www.leloir.org.ar