

Biosensores y celdas de combustible microbianas: Ciencia con texto

María Celina Bonetto¹, Eduardo Cortón¹, Martín Pέργola², Natalia Jimena Sacco¹

¹Laboratorio de Biosensores y Bioanálisis (LABB), Departamento de Química Biológica e IQUIBICEN-CONICET, FCEN-UBA. ²Instituto CEFIEC, FCEN-UBA, Buenos Aires, Argentina.

nsacco@qb.fcen.uba.ar

[Versión para imprimir](#) 

Resumen

En nuestro laboratorio nos dedicamos desde hace más de 10 años a la investigación, docencia y extensión. El objetivo del Laboratorio de Biosensores y Bioanálisis es el desarrollo de métodos analíticos que permitan la cuantificación de diferentes parámetros relacionados con el medio ambiente, la salud y la industria. En este artículo presentamos nuestra experiencia principalmente en el área de extensión, durante la participación en “La Noche de los Museos” y “La Semana de la Enseñanza de las Ciencias”, ambos eventos realizados en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, que tienen como objetivo compartir experiencias científicas con el público en general o con profesionales y alumnos de distintos niveles educativos.

Palabras clave: biosensores, Celdas de combustible microbianas, interés social

Biosensors and microbial fuel cells: Science with text

Summary

In our laboratory we have being dedicated to research, teaching and extension for more than 10 years. The aim of the Laboratory of Biosensors and Bioanalysis is the development of analytical methods that allow the quantification of different parameters related to the environment, health and industry. In this article we present some of our activities during "The Night of the Museums" and the "Science Teaching Week", both events held in the Faculty of Exact and Natural Sciences of the UBA, which aims to share scientific experiences with everyone interested in scientific matters, regardless of their educational level.

Keywords: biosensors, microbial fuel cells, social interest

Introducción

La Revolución Industrial fue impulsada por la máquina de vapor, que obtenía su poder del carbón, extraído por procedimientos primitivos que necesitaban mucho trabajo manual. Los trabajadores de las minas de carbón acostumbraban descender con un canario en su jaula, que solía ser colocada junto a una luz para que el animal cantara. En algún momento, esta práctica comenzó a ser utilizada como un “sistema de alarma” dado que si el canario dejaba de cantar o se desvanecía era advertencia suficiente para evacuar rápidamente el lugar. Los canarios son más susceptibles que los humanos frente a gases asfixiantes o tóxicos como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) o metano (CH₄), por lo tanto, la supervivencia del canario representaba la supervivencia de los trabajadores. Este podría ser considerado como ejemplo de un biosensor primitivo.

Muchos de los biosensores de hoy en día se basan en el mismo principio, se utiliza un organismo que responde a concentraciones de sustancias tóxicas más bajas que las que pueden detectar los humanos. Estos se llaman biosensores de toxicidad, y pueden formar parte de sistemas de alerta temprana, informando a la población cuando hay un problema con la calidad del agua de ríos y lagos. El ejemplo

más conocido en la actualidad de un biosensor es el que utilizan los pacientes con diabetes para realizarse periódicamente mediciones de glucosa en sangre.

El Laboratorio de Biosensores y Bioanálisis, perteneciente al Departamento de Química Biológica, FCEN-UBA, e IQUBICEN-CONICET está dedicado al desarrollo de métodos analíticos que permitan la cuantificación de diferentes parámetros relacionados con el medio ambiente, la salud y la industria. Dentro de los métodos analíticos se encuentran los biosensores, bioensayos microbianos, enzimáticos, nanosensores y celdas de combustible microbianas. El área de estudio del grupo se encuentra dentro del área de la bio-electroquímica, en la frontera entre la química, la física y la biología.

Un sensor químico es un dispositivo que transforma información química, como la concentración de una muestra, en una señal analítica útil (que puede ser cuantificada). Contiene dos componentes básicos interconectados: un sistema de reconocimiento químico, el receptor, y un transductor físico-químico.

Los biosensores son sensores químicos en los que el sistema de reconocimiento es algún material biológico (células, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) [1-3] (Figura 1) y su elección depende del compuesto o parámetro que se quiera determinar, muchas veces aprovechando la especificidad de las interacciones biomoleculares, otras, características más generales como la sensibilidad de un microorganismo ante diversos tóxicos. El transductor es capaz de interpretar la reacción de reconocimiento biológico que produce el receptor y "traducirla" en una señal cuantificable.

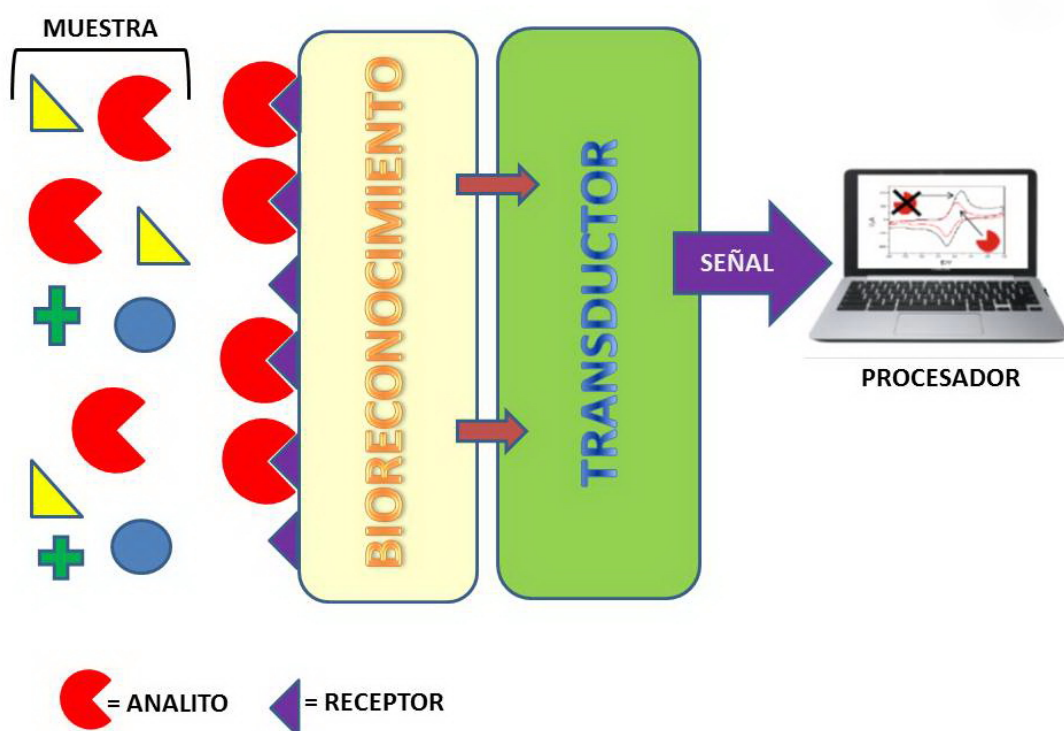


Figura 1: Biosensores. Esquema de los componentes de un biosensor.

El desarrollo de los métodos analíticos clásicos llevó a determinar la presencia y cantidad de una determinada sustancia en una mezcla, mediante un proceso físico-químico reproducible y controlable. Sin embargo, dichos métodos requieren de una cantidad grande de muestra, un equipo de análisis potente y generalmente costoso, y personal altamente capacitado para el manejo del instrumental y de las muestras.

Una de las grandes ventajas de los biosensores cuando se quiere conocer la concentración de un compuesto en muestras complejas (como la sangre o la leche), es que estas pueden medirse directamente, sin necesidad de realizar procesos de limpieza o preparación de las mismas (filtrado de

leche, centrifugación de sangre, etc.). Esto permite disminuir la cantidad de reactivos utilizados y el volumen de las muestras; asimismo permite aumentar la rapidez del proceso analítico (conocer la concentración de una sustancia en particular), disminuir el tamaño del equipamiento necesario (un biosensor puede guardarse en la mesa de luz de un paciente diabético, por ejemplo) y pueden ser utilizados por personas con poca capacitación para su uso, dado que son muy sencillos.

Las celdas de combustible microbianas son sistemas bio electroquímicos que permiten conocer el estado metabólico, actividad y diversidad de bacterias presente en los sedimentos, por lo que son excelentes biosensores metabólicos, además de la posibilidad de ser utilizadas para generar energía a partir de microorganismos.

La capacidad de las bacterias de producir electricidad fue descrita por primera vez por el investigador Potter hace más de 100 años [4] pero no fue hasta la década de los ochenta que este fenómeno llamó la atención de otros científicos, en parte por la necesidad actual de buscar nuevas fuentes de energía. Fueron importantes para que se avanzara en este tema de investigación los descubrimientos de fisiología microbiana relacionados con el transporte de electrones entre bacterias y electrodos y, finalmente, el desarrollo de celdas de combustible microbianas [5-8].

Una celda de combustible microbiana (CCM) es un dispositivo donde se utilizan microorganismos para convertir la energía química presente en los sustratos biodegradables (glucosa, acetato, u otras formas de materia orgánica disuelta) en energía eléctrica. Estos procesos se llevan a cabo bajo ciertas condiciones donde los microorganismos transfieren los electrones producidos en su actividad metabólica a un electrodo (ánodo) en lugar de a un aceptor final natural de electrones como por ejemplo el oxígeno. Por lo general, trabajamos con celdas de combustible sedimentarias (CCSs), el concepto de funcionamiento es simple (Figura 1b), se requiere el contacto del ánodo con el sedimento anaerobio (sedimento marino, de río, arrozales u otros), mientras que el cátodo queda expuesto en la fase acuosa que cubre el sedimento, usualmente saturada o con elevada concentración de oxígeno.

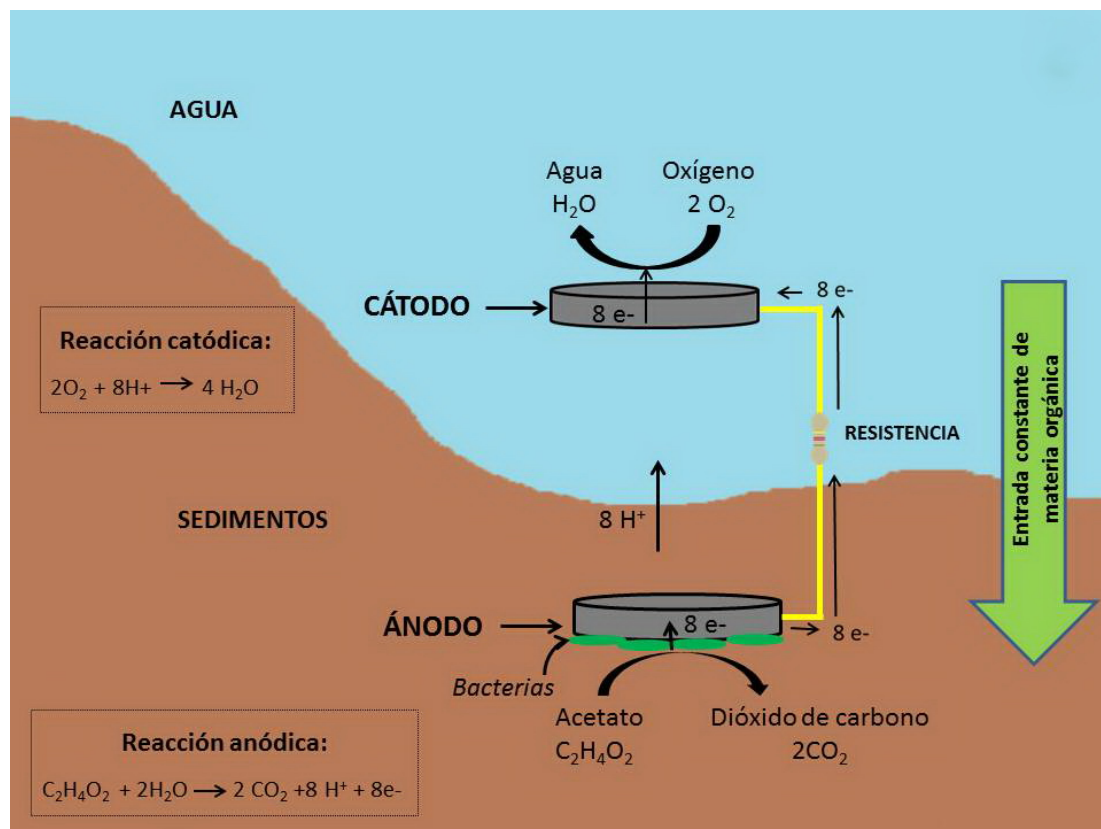


Figura 2: Esquema de una celda de combustible, a partir de la cual podría producirse electricidad.

Objetivo

Desde hace años, participamos en “La Noche de los Museos”, evento que se realiza una vez al año en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), y que permite que el público en general se acerque a ver los temas de investigación que se desarrollan en esta facultad. En este evento, hay actividades para público de todas las edades, que incluyen experimentos, demostraciones, visitas guiadas, talleres y juegos.

Este año realizamos también varios talleres, en colaboración con el Profesor Martín PÉrgola y la Dra. Lydia Galagovsky, para docentes en servicio de distintos niveles educativos y estudiantes de profesorado de Química -nivel terciario-, informando acerca de la posibilidad de generar energía a partir de microorganismos en las aulas.

Para nosotros es muy interesante el intercambio constante de preguntas, ideas y opiniones acerca de sus percepciones.

Dispositivo de intervención y población destinataria

En el stand de La Noche de los Museos exponemos los materiales que utilizamos cotidianamente para el desarrollo de los diferentes biosensores y celdas de combustible microbianas. Nos interesa que la gente participe activamente de manera que mostramos bacterias crecidas en placas de Petri en medios de cultivo (selectivos o diferenciales) que evidencian características metabólicas interesantes desde el punto de vista de la utilidad que tendría en el diseño de algún biosensor o celda de combustible (en el laboratorio hemos trabajado mucho en biosensores microbianos para medir la calidad del agua); se le habla al público acerca de los anticuerpos, material biológico que generalmente conocen, y la manera en que el reconocimiento de sus moléculas blanco nos puede ser útil para el diseño de varios tipos de biosensores.

Mostramos al público electrodos de distintos materiales como diversos tipos de carbono (nanotubos de carbono, carbón vítreo, minas de lápices, tinta de carbono), metales (oro, plata, platino, cobre) y distintas formas y configuraciones. También se exponen celdas de combustible microbianas (Figura 1b) o sistemas de microanálisis total (dispositivos que integran sistemas de canales para el manejo de volúmenes de fluidos extremadamente pequeños, con micro electrodos, también de pequeñas dimensiones).

Y el público en general se interesa, participa. Piensan en situaciones conocidas y comienzan a relacionarlas con lo que uno les cuenta. En estas actividades la retroalimentación con el público es excepcional y las preguntas que nos realizan siempre sirven de gatillo para plantearnos nuevos desafíos. Es muy agradable e interesante el diálogo que se genera, así como también sumamente alentador ver el interés que despierta nuestro trabajo.

En la sociedad, hay temas que están más instalados que otros como las enfermedades, los antibióticos, la contaminación ambiental o las energías alternativas. En el laboratorio trabajamos con todos estos temas, y la gente se acercó porque lo que se veía en el stand de alguna manera era conocido. Eso es lo que hacemos en el laboratorio, intentamos trabajar en temas conocidos y de interés social para diseñar dispositivos analíticos de relevancia para el país, con materiales comunes y preferentemente de bajo costo.

Uno de los temas más concretos que permite integrar visual y conceptualmente el desarrollo de un biosensor y energías alternativas es el diseño de CCSs. Esta es la razón por la cual nos dedicamos desde hace más de 10 años a realizar actividades de extensión mostrando este tipo de dispositivos.

Los microorganismos muchas veces no tienen buena prensa, dado que se los relaciona con muchas enfermedades en humanos, animales y plantas, por este motivo nos dedicamos a realizar actividades de extensión para transmitir al resto de la comunidad que podemos obtener resultados positivos y beneficiosos para la humanidad a partir del uso de los mismos.

Una de las mayores ventajas que poseen las CCSs desde el punto de vista de las demostraciones en eventos como la Noche de los Museos, o en actividades escolares, es que pueden ser utilizadas de manera sencilla, económica y con materiales cotidianos (agua, lodo, un material conductor como las minas de lápiz, cables, resistencias y un *tester* o multímetro).

Nuestros trabajos de extensión han sido muy variados y en distintos niveles académicos lo que representa un desafío permanente para poder comunicar con claridad nuestra experiencia.

En La noche de los Museos los visitantes pueden participar en actividades que demuestran, mediante CCSs expuestas en el stand, que la producción de corriente mediante el uso de bacterias es posible.

Evaluación de resultados e impacto

Con estos sistemas de CCSs hemos ganado algunos premios como INNOVAR 2009 (categoría escuelas técnicas) y nos ha permitido participar en varios proyectos en colaboración con grupos del ámbito educativo en muchos niveles de enseñanza. Hemos presentado un proyecto que ganó la financiación de la Fundación YPF donde se apuntaba a la interdisciplinariedad en escuelas de educación media, en donde participaron la Escuela de Educación Técnica N° 2, la Escuela de Educación Técnica N° 3, el Club de Ciencias Cóndor, y el INTEMA (Dr. Juan Pablo Busalmen). Durante 2012, colaboramos también en la dirección del trabajo de los alumnos de la carrera Ingeniería Química del ITBA supervisado a través del Dr. Ramón Pizarro.

Estas han sido experiencias productivas, ya que les permitió a los alumnos efectuar prácticas de laboratorio, armar, construir y preparar todos los materiales necesarios para poner en funcionamiento el sistema, así como seguir la evolución de los mismos. Es muy gratificante poder ver las caras de emoción y asombro cuando los alumnos se enfrentan por primera vez a este tipo de actividades.

Este año realizamos varios talleres, en colaboración con el Profesor Martín Pérgola y la Dra. Lydia Galagovsky, para docentes en servicio de distintos niveles educativos y estudiantes de profesorado de Química -nivel terciario-, acerca de la posibilidad de trabajar con un material innovador que aborde la generación de energía a partir de microorganismos. En uno de estos talleres, efectuado en el marco de la "Semana de la Enseñanza de las Ciencias" organizada por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA participaron 23 asistentes, a los que se solicitó que escribieran todos sus comentarios, dudas y sugerencias, más allá del intercambio verbal durante el taller.

Los asistentes manifestaron gran interés por la temática durante todo el taller y expresaron el valor educativo potencial, por la motivación de los estudiantes al poder armar un dispositivo sencillo y económico y obtener de él una forma alternativa de generación de energía no contaminante y renovable. En la Tabla 1 se detallan los interrogantes más relevantes planteados.

Tabla 1. Comentarios e inquietudes más relevantes señaladas por los docentes y estudiantes de profesorado acerca de las celdas de combustible y celdas de combustible microbianas

Bacterias	Funcionamiento de las CC y las CCM	Generación de energía por las CC y las CCM
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué bacterias son aptas para las CCMs? - ¿Cómo liberan los electrones? - ¿Cuánto viven en la celda? - ¿Cómo se reabastecen de 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué costos de funcionamiento tienen? - ¿Se podrían usar a nivel hogareño e industrial? - ¿Cuánta energía se necesita para iniciar las reacciones en la célula? - ¿Qué tipo de materia orgánica se utiliza como nutrientes? - ¿Cómo se regenera el oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo hay que alimentar a las bacterias? - ¿Por cuánto tiempo producen energía? - ¿Qué potencia y voltaje generan y cómo se podría aumentar? - ¿Se podría optimizar la generación de energía aumentando la superficie del

materia orgánica? - ¿Se pueden encontrar fácilmente en la naturaleza? - Condiciones de reproducción, crecimiento y nutrición. - ¿Son aeróbicas o anaeróbicas?	dentro del dispositivo? - ¿Se requiere una instalación especial? - ¿Se podrían llevar a cabo de forma casera? - ¿Cuál es la función de los nanocables que generan las bacterias y de qué están formados?	electrodo? - ¿Cuánta energía produce cada celda?
--	---	---

El uso educativo de las CCMs requiere una adaptación desafiante porque es un tema interdisciplinario, y se necesita la articulación conceptual en distintos niveles de profundidad, acordes con la presencia de los contenidos curriculares. Particularmente, las CCSs permiten desarrollar habilidades de diseño y análisis de variables experimentales. La generación de un material didáctico sobre esta temática resulta novedosa porque sólo existen en bibliografía algunas experiencias aisladas, no relacionadas con el plan de estudios actual de química u otra disciplina escolar.

Como conclusión de este taller hemos podido ver que las celdas de combustible microbianas despiertan interés en el ámbito educativo por sus aplicaciones actuales y potenciales. Las temáticas que permiten explicar sus fundamentos involucran modelos de distintas disciplinas de ciencias naturales que -aún en forma sencilla- bien podrían abordarse en los últimos años de la escuela secundaria: circuitos eléctricos, conductividad y diferencia de potencial (física); reacciones de reducción y oxidación (química y electroquímica); metabolismo y respiración celular (química biológica y biología); crecimiento de bacterias y requerimiento de nutrientes (biología).

El interés de nuestro laboratorio ha ido más allá del ámbito académico y comercial (se busca también el patentamiento de los sistemas desarrollados) y está siendo muy aceptado en el ámbito educativo. Esto nos renueva el interés y hace que nos planteemos nuevos enfoques y desafíos.

Referencias:

1. **Eggins BR** (2002) Introduction in: Chemical sensors and biosensors. *Chichester : Wiley & Teubner*, pp. 1-5.
2. **Severinghaus JW** (2002) The invention and development of blood gas analysis apparatus. *Anesthesiology* 97: 253-256.
3. **Banica FG** (2012) What are chemical sensors? Chemical sensors and biosensors: Fundamentals and applications. *Chichester : John Wiley & Sons* pp. 1-17.
4. **Potter MC** (1911) Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences* 84: 260-276. DOI: 10.1098/rspb.1911.0073
5. **Holmes DE, Bond DR, O'Neil RA, Reimers CE, Tender LR, Lovley DR** (2004) Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments. *Microbial Ecology* 48: 178-190. DOI:10.1007/s00248-003-0004-4
6. **Tender LM, et al** (2002) Harnessing microbially generated power on the seafloor. *Nature Biotechnology* 20: 821-825. DOI:10.1038/nbt716
7. **Donovan C, Dewan A, Heo D, Beyenal H** (2008) Batteryless, wireless sensor powered by a sediment microbial fuel cell. *Environmental Science and Technology* 42: 8591-8596. DOI:10.1021/es801763g
8. **Logan BE** (2008) Exoelectrogens in: Microbial fuel cells. *New York: John Wiley & Sons*, pp.12-28.

Páginas WEB del grupo y otras interesantes para visitar:

<http://www.iqubicen.fcen.uba.ar/grupodeinvestigacion/laboratorio-de-biosensores-y-bioanalisis/>
<https://www.youtube.com/watch?v=iaZUsASFI6Y>
https://www.youtube.com/watch?v=y_47yMzncJo
https://www.youtube.com/watch?v=zyvaqT_uxyM



ISSN 1666-7948

Revista **QuímicaViva**

Número 1, año 17, Abril 2018

quimicaviva@qb.fcen.uba.ar

