

# Aplicación de la Electrolisis biocatalítica al tratamiento de aguas residuales: nuevos avances y perspectivas de futuro

A. Escapa, I. San Martín, L. Gil-Carrera, A. Morán\*

Grupo de Ingeniería Química, Ambiental y Bioprocesos. Instituto de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad de León. Av. Portugal, nº 41. 24009 – León

(\*) amorp@unileon.es

## Resumen

La electrolisis biocatalítica aplicada al tratamiento de aguas residuales permite la eliminación de gran parte de la materia orgánica en la cámara anódica y la producción de hidrógeno en el cátodo. Los resultados de distintos autores muestran la necesidad de llevar a cabo diferentes mejoras en el funcionamiento de esta tecnología a escala real como son la mejora de los materiales del cátodo, mejora en la configuración de las celdas, disminución de resistencia eléctrica, evitar pérdidas del gas generado en el cátodo, etc.

## Abstract

Microbial electrolysis cell (MEC) applied to wastewater treatment allows the elimination of organic matter in the anode chamber and hydrogen production at the cathode. The results of different authors demonstrate the need to carry out various improvements in the operation of full-scale technology such as improved cathode materials, improved configuration of the cells, decreased electrical resistance, to prevent loss of gas generated at the cathode, etc..

## 1. Introducción

La electrolisis biocatalítica surge como una tecnología que pretende ofrecer soluciones alternativas al tratamiento de aguas residuales permitiendo tanto la generación de H<sub>2</sub>, como de electricidad (Liu et al., 2005). Los reactores bioelectroquímicos están basados en el descubrimiento de microorganismos activos electroquímicamente los cuales son capaces de transferir los electrones a una superficie sólida sin necesidad de mediadores (Chaudhuri & Lovley, 2003). Esta novedad supuso la base para muchas aplicaciones entre las que tenemos los sistemas bioelectroquímicos (BESs). En estos reactores los microorganismos activos crecen sobre un electrodo que será el ánodo, el cual se conecta, mediante un circuito eléctrico, a un cátodo donde se llevan a cabo las reacciones de reducción. Dependiendo de la reacción llevada a cabo en el cátodo, el sistema gana energía como es el caso de las pilas de combustible microbianas o el sistema requiere un aporte de energía para la generación de otros productos, como es el caso de los electrolizadores biocatalíticos. La producción de hidrógeno mediante electrólisis biocatalítica se consigue en cierto modo, invirtiendo el funcionamiento normal de una pila de combustible microbiana.

En un electrolizador biocatalítico EB (o MEC siglas en inglés), los electrones no circulan libremente hacia el cátodo. Esto es así porque en el compartimento catódico no existe ninguna sustancia oxidante capaz de actuar como aceptor final de electrones, por lo cual deben ser impulsados desde el ánodo mediante una fuente de tensión. Así, los electrones y protones procedentes del ánodo se combinan en el cátodo dando lugar al hidrógeno, ya que en este caso el compartimento catódico se encuentra en condiciones anaerobias (figura 1). Los procesos que ocurren en el ánodo son semejantes a los que tienen lugar en el compartimento anódico de una pila de combustible microbiana MFC.

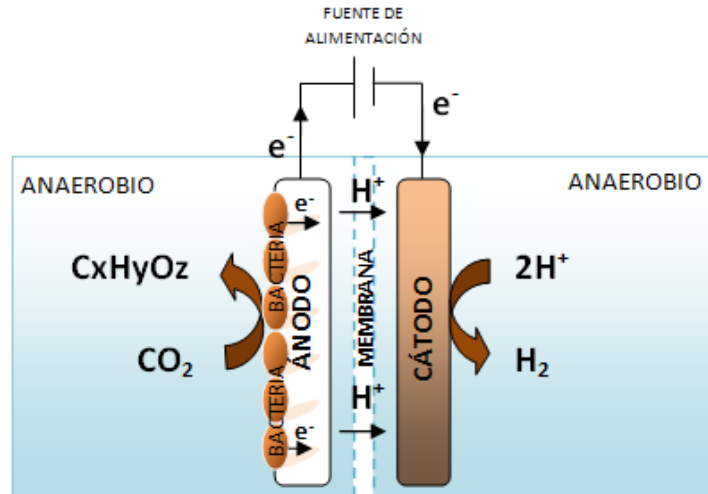


Figura 1. Esquema de un electrolizador biocatalítico EB (MEC).

## 2. Aplicación de los sistemas bioelectroquímicos a las AR

Una revisión de la literatura ofrece un amplio rango de valores en cuanto a la tasa de producción de hidrógeno, tasa de depuración y el consumo de electricidad. Los primeros estudios realizados en MECs obtuvieron unos volúmenes de hidrógeno de  $0.36 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 \text{ m}^{-3}$  de reactor y día con un consumo de  $1 \text{ kWh Nm}^{-3} \text{ H}_2$  empleando acetato como sustrato (tensión aplicada de  $0.45 \text{ V}$ ) (Liu et al., 2005) pasando por los  $10 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 \text{ m}^{-3}$  de reactor y día con una eficiencia catódica del 90% con unos niveles de depuración en torno a  $7 \text{ kg-DQO m}^{-3}$  de reactor y día con un sustrato sintético (Rozendal et al., 2007) hasta lograr producciones de  $17 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 \text{ m}^{-3}$  con agua residual sintética (Cheng and Logan, 2011). Tras obtenerse buenos resultados con sustratos sintéticos se han evaluado sustratos reales como es el caso de aguas residuales con los que se obtuvieron valores que van desde los  $0.01 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 \text{ m}^{-3}$  reactor y día con un consumo de  $2.5 \text{ kWh Nm}^{-3} \text{ H}_2$  (tensión aplicada de  $0.5 \text{ V}$ ) (Ditzig et al., 2007), así como los  $0.3 \text{ LH}_2 \text{ L}_R^{-1} \text{ d}^{-1}$  con consumos de  $1.2 \text{ kWh Kg-DQO}^{-1}$  eliminado (Escapa et al., 2012a) utilizando también aguas residuales urbanas (aplicando una tensión de  $1 \text{ V}$ ).

La mayoría de las celdas bioelectrolíticas estudiadas hasta el momento se han realizado en escala de laboratorio con compartimentos anódicos con volúmenes menores a un litro y solamente se tiene conocimiento de varios intentos de escalado. Uno de ellos se llevó a cabo en una planta piloto de un reactor MFC de  $1 \text{ m}^3$  que fue destinado al tratamiento de aguas residuales de cervecería, en este caso se encontraron varios factores que afectaron negativamente a el funcionamiento de la celda, como fueron la baja densidad de corriente generada y la limitada capacidad depurativa. Posteriormente se estudió la eficacia de una planta piloto MEC de  $1000 \text{ L}$  donde se evaluó la capacidad de depuración de aguas residuales de producción de una bodega de vino (Cusick et al., 2011). En este caso los resultados mostraron bajas tasas de eliminación de DQO así como importantes pérdidas de hidrógeno debido a su transformación en metano mediante los microorganismos metanógenos hidrogenotróficos. Por último recientemente se ha evaluado una planta piloto MEC de  $120 \text{ L}$  operada con agua residual doméstica, en este caso se han obtenido unos consumos energéticos de  $0.64 \text{ kWh kg-DQO}^{-1}$ , lo cual está por debajo de la energía requerida en los tratamientos aeróbicos tradicionales  $0.7\text{-}2 \text{ kWh kg-DQO}^{-1}$  (Pant et al., 2011). Sin embargo, los resultados de producción de gas no fueron tan alentadores ya que la tasa de generación de hidrógeno fue tan solo de  $0.015 \text{ L H}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , con lo que se concluyó que sería necesario una mejora en la captura del hidrógeno así como en el

diseño de la celda para poder incrementar notablemente la eficacia de la MEC para aguas residuales urbanas de baja carga a temperaturas ambientales.

### 3. Desarrollos experimentales

El trabajo del grupo en este campo se está desarrollando en dos líneas principales: tratamiento en línea de aguas, y tratamiento en línea de fangos.

#### Línea de aguas

Es en la línea de aguas, donde ha sido el desarrollo inicial como anteriormente se ha comentado, se acaban de probar celdas de más de 3,5 L de cámara anódica (figura 2) en un proyecto en colaboración con las empresas Proingesa e Isolux.

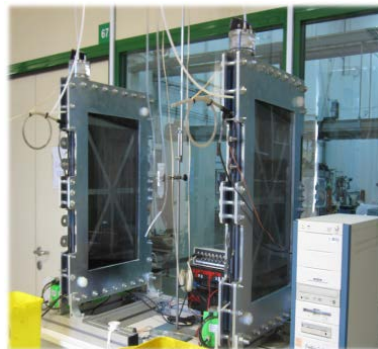


Figura 2. Celdas de electrolisis biocatalítica

#### Línea de lodos

Se pretende analizar la capacidad de un dispositivo electroquímico para reducir las cargas de materia orgánica y de nitrógeno en el efluente de un proceso de digestión anaerobia de lodos de depuradora (figura 3).

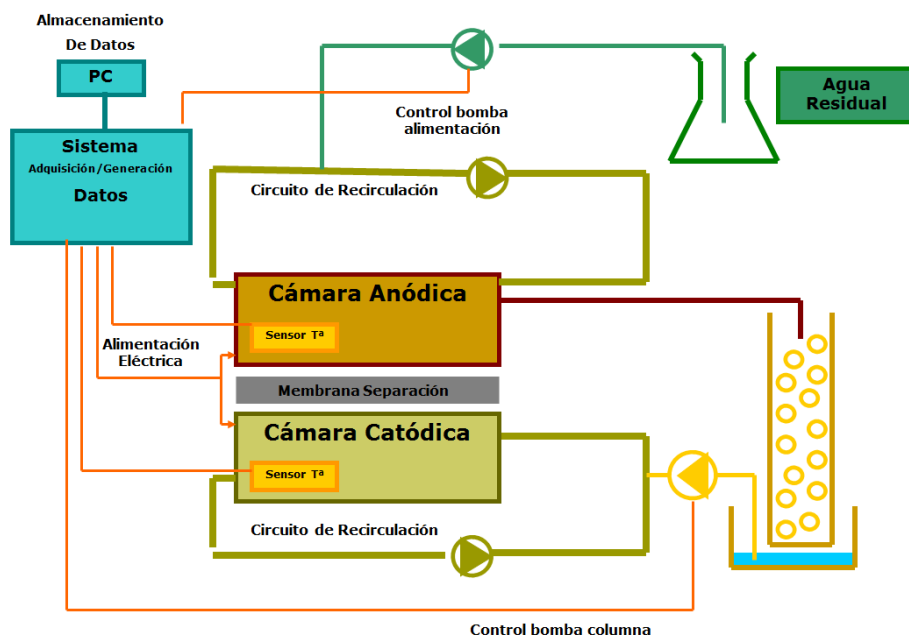


Figura 3. Esquema del montaje de celdas aplicadas a la línea de lodos

### 3. Perspectivas de futuro

Antes de que los reactores a escala de laboratorio puedan ser transformados en reactores comerciales técnica y económicamente viables, es necesario investigar el efecto que tienen ciertos parámetros de operación (tales como el tiempo de retención, la tensión aplicada, el pH, la temperatura, etc.) así como el diseño y configuración de los reactores de tal forma que se superen ciertos cuellos de botella que muchos autores han ido ayudando a identificar. Sin ser exhaustiva, se presenta a continuación una lista de los principales retos (Gil-Carrera et al. 2013) que hay que superar : (i) baja conversión de la materia orgánica en corriente eléctrica , que conduce a bajas densidades de corriente y , por tanto, a un mayor tamaño del reactor; (ii) altas resistencias internas y pérdidas óhmicas debidas a la baja conductividad del electrolito y la resistividad eléctrica de los electrodos ; ( iii ) bajas recuperaciones de hidrógeno debido a un sellado deficiente de los diseños de laboratorio que afortunadamente que podrían evitarse fácilmente mediante la mejora de la ingeniería de detalle de prototipos; (iv) paso del hidrógeno a la cámara anódica que genera corrientes parásitas que no mejoran eliminación de la DQO, ni la producción de hidrógeno y sólo resultan en un consumo extra de energía; y (vi) los cuellos de botella técnico-económico: la tecnología MEC tendría que competir con otras tecnologías de producción de energía, como la digestión anaerobia, con un capital asociado varias veces menor que el asociado con MEC.

### 4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos del Ministerio de Economía y Competitividad IPT-2012-0078-310000 y ENE 2012-33027. Así mismo Adrián Escapa agradece a la Junta de Castilla y León la ayuda de contrato posdoctoral.

### 4. Bibliografía

- Chaudhuri, S.K., Lovley, D.R. (2003). Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells. *Nat Biotechnol.* 21, 1229–32.
- Cheng, S., Logan, B.E. (2011). High hydrogen production rate of microbial electrolysis cell (MEC) with reduced electrode spacing, *Bioresour. Technol.* 102, 3571-3574.
- Cusick, R.D., Bryan, B., Parker, D., Merrill, M.D., Mehanna, M., Kiely, P.D., Liu, G., Logan, B.E., (2011). Performance of a pilot-scale continuous flow microbial electrolysis cell fed winery wastewater, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 89, 2053-2063.
- Ditzig, J., Liu, H., Logan, B.E.,(2007). Production of hydrogen from domestic wastewater using a bioelectrochemically assisted microbial reactor), *Int J Hydrogen Energy.* 32, 2296-2304.
- Escapa, A., Gil-Carrera, L., García, V., Morán, A., (2012). Performance of a continuous flow microbial electrolysis cell (MEC) fed with domestic wastewater, *Bioresource Technology.* 55, 56-62.
- Gil-Carrera, L., Mehta, P., Escapa, A., Morán, A., García, V., Guiot, S.R., Tartakovsky, B. (2011). Optimizing the electrode size and arrangement in a microbial electrolysis cell, *Bioresour. Technol.* 102, 9593-9598.
- Liu, H., Grot, S., Logan, B.E. (2005). Electrochemically Assisted Microbial Production of Hydrogen from Acetate, *Environ. Sci. Technol.* 39, 4317-4320.
- Pant, D., Singh, A., Van Bogaert, G., Gallego, Y.A., Diels, L., Vanbroekhoven, K. (2011). An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 15, 1305-1313.
- Rozendal, R.A., Hamelers, H.V.M., Molenkamp, R.J., Buisman, C.J.N., 2007. Performance of single chamber biocatalyzed electrolysis with different types of ion exchange membranes, *Water Research.* 41, 1984-1994.