



Región de Murcia
Consejería de Agricultura y Agua
Dirección General de Planificación, Evaluación
y Control Ambiental.

Fomento del Medio Ambiente y
Cambio Climático.
C/Catedrático Eugenio Úbeda
Romero,3,30008 Murcia

T. 968 22 88 52
F. 968 22 89 86

INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

FICHA DE I+D+ i en TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

1. TEMÁTICA

Clasificación: DEPURACIÓN DE AGUA / ENERGÍA

Tema: Depuración de aguas residuales domésticas e industriales.

Subtema: Células de combustible microbianas.

Objetivo: Una célula de combustible microbiana (MFC, Microbial Fuel Cell según la literatura anglosajona) es un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química contenida en un combustible en energía eléctrica. Esto es posible cuando bajo condiciones adecuadas, determinadas bacterias electroactivas pasan los electrones producidos en su actividad metabólica a un electrodo en lugar de a un aceptor de electrones (como oxígeno o nitrato tal y como ocurre en los procesos naturales de depuración de las aguas). La viabilidad técnica de este concepto ha sido demostrada en recientes trabajos, de manera que se han creado grandes expectativas en la comunidad científica de poder producir una energía “verde” mediante la explotación de la biomasa contenida en las aguas residuales domésticas e industriales. Al utilizarse la materia orgánica contenida en las aguas residuales como combustible, paralelamente a la producción de energía se consigue la depuración de las aguas contaminadas.

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA. (Introducción, objetivos, descripción y aplicaciones)

Hacia finales de los 90, una serie de descubrimientos demostraron que ciertas bacterias pueden utilizarse directamente para producir electricidad en células de combustible sin la necesidad de la intervención del hidrógeno (Kim et al., 1999). En una célula de combustible microbiana, los microorganismos funcionan como catalizadores que oxidan la materia orgánica transfiriendo los electrones que resultan de su metabolismo directamente a un electrodo. La corriente puede producirse a partir de substratos simples como por ejemplo acetato, lactato, o glucosa, pero lo realmente innovador ha sido el descubrimiento (Logan, 2004) de que también puede hacerse a partir de substratos más complejos, tales como aguas residuales industriales o domésticas.



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN (continuación)

El potencial de las MFCs es enorme, dado que esta novedosa tecnología aporta importantes ventajas funcionales y operativas sobre las tecnologías actualmente utilizadas, para la generación de energía y para la depuración de aguas a partir de biomasa:

- La conversión de energía desde substrato a electricidad es directa permitiendo altas eficiencias.
- Las MFCs operan eficientemente a temperatura ambiente, e incluso a muy bajas temperaturas distinguiéndose de todos los demás procesos bio-energéticos actuales.
- Una MFC no requiere tratamiento de gases debido a que los gases de escape están enriquecidos en CO₂ (de origen no fósil) y no tienen valor energético residual.
- Las MFCs no tienen partes móviles y por tanto no necesitan aporte de energía siempre que el cátodo sea aireado pasivamente [14].
- Las MFCs tienen una amplia aplicación potencial en localizaciones donde se carece de infraestructura eléctrica, así como para ampliar la diversidad de combustibles que utilizamos para satisfacer nuestra demanda energética.
- Comparativamente con otras tecnologías de depuración de aguas tradicionales (digestión anaerobia), las MFCs generan menor cantidad de fangos con el consiguiente ahorro en los costes de deshidratación que tienen estos materiales.

En los últimos años el rendimiento de las MFCs ha crecido casi exponencialmente [15]. De hecho las densidades de corriente obtenidas en los dispositivos a escala de laboratorio ya se aproximan a valores que serían adecuados para su implantación práctica. Las MFCs de laboratorio ya alcanzan densidades de corriente de 10 A/m² de superficie anódica [16, 17]. Suponiendo un espesor de celda mínimo de 1 cm para permitir suficiente espacio para la circulación del agua residual, esto significa que unas MFCs de escala comercial pueden llegar a exhibir densidades de corriente volumétricas del orden de 1000 A/m³ volumen de reactor. Esto representa una capacidad volumétrica de tratamiento de agua residual de 7.1 kg de DQO/m³ volumen de reactor/día que está en el mismo rango de magnitud que los tratamientos convencionales de depuración de aguas residuales como los sistemas de fangos activados (0.5–2 kg DQO/m³ volumen de reactor/día) y los sistemas anaeróbicos de alto rendimiento (8–20 kg COD/m³ volumen de reactor/día) [18].



INVENTARIO DE I+D+i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN (Continuación)

Estos resultados son enormemente alentadores pero aun así se requiere un conocimiento mas profundo de esta tecnología para su implementación práctica, especialmente en la minimización de costes y en la creación de arquitecturas inherentemente escalables. Para conseguir una implantación práctica, las MFCs aun necesitan ser escaladas en diferentes órdenes de magnitud desde escala de laboratorio (10^{-6} a 10^{-3} m³) a una escala adecuada para el tratamiento de aguas residuales (1 a 10^3 m³). Diversos investigadores han propuesto el desarrollo de diseños escalables [9, 11, 42], pero hasta ahora ningún estudio ha demostrado que los diseños respectivos pueden ser escalados satisfactoriamente más allá de la escala de 1 litro. Indudablemente, existen aun muchos retos científicos y técnicos que tienen que ser afrontados para la implantación de las MFCs en nuestras vidas.

2.1.1. Reactores

Hasta ahora en los estudios a nivel de laboratorio se han utilizado diseños muy variados. El diseño más simple consiste en una cámara anódica y una cámara catódica separadas por una membrana de intercambio de protones (PEM) [1-5]. Los microorganismos en la cámara anódica oxidan el substrato y transfieren los electrones a un circuito externo a través del ánodo. Los protones transferidos hacia el cátodo a través de la PEM se combinan con el oxígeno y con los electrones procedentes del ánodo para formar agua. Sin embargo, las MFCs de dos cámaras son difíciles de escalar. Una alternativa potencial es el uso de MFCs de una sola cámara que puede ahorrar costes. Las MFCs de una sola cámara típicamente contienen una cámara anódica sin el requerimiento de la aireación en la cámara catódica. Liu y Logan (2004) [6] diseñaron un MFC en la que la PEM está adherida al cátodo que a su vez está expuesto directamente al aire. El cátodo está situado axialmente en el centro de un reactor cilíndrico con los ánodos dispuestos en un arreglo concéntrico alrededor del cátodo [6-8].

Otro diseño alternativo es el sistema tubular de Rabaey et al. (2005) [9] consistente en un cátodo exterior y un ánodo interior formado por gránulos de grafito. Estos autores apuntan que el uso de cátodos expuestos al aire es crítico para la implantación de estas MFCs. de voltaje en estos sistemas.



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN (Continuación)

Otra variante, es diseñar el sistema como un reactor de lecho fijo con biopelícula con el agua residual fluyendo continuamente a través de ánodos porosos hacia una membrana que separa el ánodo de la cámara catódica [10]. Otro diseño prometedor es el usado por Logan et al. (2007) [11] usando ánodos en forma “cepillo” constituido por fibras de grafito y cátodos tubulares inmersos en un tanque. Merece la pena hacer notar que la mejora en el voltaje o en la corriente se han conseguido apilando MFCs conectadas en serie y en paralelo, aunque hace falta una mejor comprensión de los efectos de la inversión del voltaje en la generación de potencia en sistemas de MFCs con el fin de incrementar la producción.

2.1.2. Materiales de construcción. Ánodos, cátodos y membranas

Para mejorar la viabilidad económica y el rendimiento de las MFCP, se hace indispensable la exploración de nuevos materiales para los electrodos y para la membrana de intercambio protónico. Para el **ánodo** se han utilizado materiales que van desde aceros inoxidable no corrosivos a variantes de materiales carbonáceos en diversas formas [18]. Para mejorar el rendimiento anódico se han utilizado diversas estrategias. Por ejemplo, Park y Zeikus (2003) [20] incorporaron Mn(IV) y Fe (III) y utilizaron neutral red covalentemente enlazado para mediar la transferencia electrónica hacia el ánodo. Materiales electrocatalíticos compuestos como polianilina (PANI)/Pt también han demostrado mejorar la generación de densidad de corriente ayudando a la oxidación directa de los metabolitos [21-23]. Estos electrodos resultaron biocompatibles y la presencia de polímeros en la superficie anódica, ralentizó la desactivación del ánodo causada por la interferencia con los productos metabólicos bacterianos. También el sistema PANI / Pt es particularmente importante debido a que es medioambientalmente estable y tiene una conductividad reversible en diferentes ambientes de pH. También puede procesarse fácilmente como películas finas, partículas o fibras y la literatura muestra que la hidrofiliidad de la polianilina puede incrementarse dopándola con ácido canforsulfónico. También, mediante el dopado de la polianilina se ha conseguido una morfología especial con alta superficie específica como nanofibras y nanotubos [24]. Superiores densidades de potencia se han reportado mediante formas de carbono vítreo reticulado (RVC) [25] o en reactores con ánodos granulares [9] y ferricianuro potásico como catolito.



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN (Continuación)

En cuanto a materiales para el **cátodo**, el platino (Pt) es el metal más común utilizado en MFCs debido a que presenta una baja sobretensión en la reacción de reducción de oxígeno. Sin embargo su elevado coste limita su aplicación. Para minimizar este coste, los investigadores han reducido la carga de platino en el cátodo a niveles tan bajos como 0.1 mg/cm². El oro (Au) también ha sido probado como catalizador para el cátodo en MFCs [27] [35]. Más recientemente, catalizadores libres de metales nobles, tales como hierro(II) pirolizado sobre ftalocianina (FePc) y tetrametoxifenilporfirina de cobalto (CoTMPP) han sido propuestos como catalizadores potenciales [26, 28]. Sin embargo, la tecnología disponible en la actualidad no ha proporcionado densidades de potencia suficiente para su aplicación práctica y la tecnología está aún en la etapa de desarrollo. Microorganismos soportados sobre carbón o grafito también pueden usarse como mediadores en el cátodo [1, 29-31]. Los biocátodos tienen la ventaja importante de que pueden reemplazar los metales nobles proporcionando un sistema autoregenerativo. El desarrollo de biocátodos es probable que suponga un avance significativo en el campo.

La **membrana de intercambio protónico** es también un componente crucial para determinar la eficiencia de una MFC. Membranas ionoméricas perfluoradas tales como Nafion® (Dupont) se han utilizado ampliamente como membranas debido a sus altas conductividades de protón en su estado hidratado. Sin embargo estas membranas son muy caras (aprox. \$1400m⁻²) lo cual hace que su uso sea prohibitivo en aplicaciones de MFCs a gran escala. Además especies catiónicas (p.ej., Na⁺, K⁺, NH⁴⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺) penetran el Nafion con eficiencias similares a las de los protones. Las concentraciones de estos cationes son típicamente 10⁵ mayores que las del protón (a pH neutro) resultando en la acumulación de estos cationes en la cámara catódica. Dado que los protones se consumen en el cátodo, el transporte de estos cationes origina un aumento del pH en el cátodo. Las consecuencias son severas [33]: en primer lugar, la ocurrencia de gradientes de pH conduce a una considerable disminución del potencial de celda debido a la disminución del potencial catódico y en segundo lugar, en el caso de biocatalizadores, una desviación elevada del pH de los valores fisiológicos conduce a la disminución de la actividad biocatalítica y puede incluso causar la desactivación total.



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

DESCRIPCIÓN (Continuación)

Se han propuesto varias estrategias para evitar el problema del cambio opuesto de pH en los compartimentos de la celda. Entre ellos el uso de control de pH mediante disoluciones tampón [32] o las configuraciones libres de membranas [34, 35]. El primer enfoque requiere la adición continua y controlada de bases en el ánodo y de ácidos en el cátodo – un factor técnico y operacional costoso que puede no ser justificable; la segunda propuesta padece de eficiencias coulombicas demasiado bajas debido a la difusión de oxígeno hacia el compartimento anódico. Como estrategia alternativa, el uso de membranas tales como membranas de intercambio catiónico (CEM), o membranas de intercambio aniónico (AEM) o membranas bipolares (BPM) y membranas de ultracentrifugación (UCM) se han propuesto y han sido estudiadas por varios grupos en experimentos con MFCs [36-38]. Se ha encontrado que estas membranas podrían ser usadas en MFCs y que especialmente las AEM facilitaban el rendimiento de las células. Sin embargo, estos experimentos permitían variar los parámetros operacionales en un rango muy estrecho. La inmovilización de líquidos iónicos en membranas poliméricas podría abrir este campo de mejora en MFCs. Los líquidos iónicos (ILs) son sales orgánicas que son líquidas en las proximidades de la temperatura ambiente y que poseen otras propiedades iónicas que son interesantes en el contexto de las MFCs. Por ejemplo, presentan unas elevadas conductividades iónicas [39] y elevada estabilidad química y térmica. Además sus propiedades pueden variarse flexiblemente alternando el catión o el anión combinados [40], lo cual hace de los ILs un material de diseño [41].

3. TECNOLOGÍAS RELACIONADAS

- Digestión anaerobia
- Pilas de combustible con hidrógeno

4. EMPRESA U ORGANIZACIÓN RESPONSABLE

Grupo de Investigación Ingeniería Química y de Procesos
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Universidad Politécnica de Cartagena



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA. (Publicaciones científicas, videos demostrativos/divulgativos, fotografías, etc.)

[a] A. Larrosa, K. Scott, I.M. Head, K. Katuri, L.J. Lozano y C. Godínez. Comparison of catholite type on microbial fuel cell performance. Proceedings of the 11th Congress on Anaerobic Digestion (AD11), Brisbane (Australia), September 2007

[b] A. Larrosa, K. Scott, I.M. Head, K.Katuri, L.J. Lozano y C. Godínez. The Behaviour of Microbial Fuel Cells with Anodic Biofilms. Proceedings of the 11th Congress on Anaerobic Digestion (AD11), Brisbane (Australia), September 2007

[c] A. Larrosa, A. Ginestá, L.J. Lozano y C. Godínez. Energy generation and simultaneous wastewaters treatment using microbial fuel cells. Application to the waters of south-east Spain Proceedings of the 11th Mediterranean Congress on Chemical Engineering, Bcelona (Spain), October 2008

[d] A. Larrosa, K. Scott, I.M. Head, K. Katuri, L.J. Lozano y C. Godínez. On the repeatability and reproducibility of two-chambered microbial fuel cells. *Fuel*, 88 (2009) 1852-1857

[e] A. Larrosa, C. Godínez, I.M. Head, K.Katuri, y K. Scott. Behaviour of Microbial Fuel Cells with Anodic Biofilms (I). Biofilms formed at Closed Circuit. Pending for publication at *Applied Microbiology and Biotechnology*

[f] A. Larrosa, C. Godínez, I.M. Head, K.Katuri, y K. Scott. Behaviour of Microbial Fuel Cells with Anodic Biofilms (II). Biofilms formed at Open Circuit. Pending for publication at *Applied Microbiology and Biotechnology*

[g] F.J. Hernández-Fernández, A.P. de los Ríos, M. Rubio, F. Tomás-Alonso, D. Gómez, G. Vllora. A novel application of supported liquid membranes based on ionic liquids to the selective simultaneous separation of the substrates and products of a transesterification reaction. *J. Memb. Sci.*, 293 (2007) 73-80.

[h] A.P. de los Ríos, F.J. Hernández-Fernández, F. Tomás-Alonso, M. Rubio, D. Gómez, Gloria Vllora. On the importance of the nature of the ionic liquids in the selective simultaneous separation of the substrates and products of a transesterification reaction through supported ionic liquid membranes. *J. Memb. Sci.*, 307 (2008) 233-238.

[i] A.P. de los Ríos, F.J. Hernández-Fernández, F. Tomás-Alonso, J.M. Palacios, D. Gómez, M. Rubio, G. Vllora. A SEM-EDX study of highly stable supported liquid membranes based on ionic liquids. *J. Memb. Sci.*, 300 (2007) 88-94.



INVENTARIO DE I+D+i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

6. FUENTES DE INFORMACIÓN:

- [1] A. Bergel, D. Feron, A. Mollica, Catalysis of oxygen reduction in PEM fuel cell by seawater biofilm, *Electrochem. Commun.*, 7 (2005) 900-904.
- [2] D.R. Bond, D.E. Holmes, L.M. Tender, D.R. Lovley, Electrode-reducing microorganism that harvest energy from marine sediments, *Science*, 295 (2002) 483-485.
- [3] B. Mim, S. Cheng, B.E. Logan, Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells, *Water Res.* 39 (2005) 1675-1686.
- [4] S.-E. Oh, B.E. Logan, Hydrogen and electricity production from a food processing wastewater using fermentation and microbial fuel cell technologies, *Water Res.* 39 (2005) 4673-4682.
- [5] S.-E. Oh, B. Mim, B.E. Logan, Cathode performance as a factor in electricity generation in microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.* 38 (2004) 4900-4904.
- [6] H. Liu, B.E. Logan, Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane, *Environ. Sci. Technol.*, 38 (2004) 4040-4046.
- [7] H. Liu, S. Cheng, B.E. Logan, Production of electricity from acetate or butyrate using a single-chamber microbial fuel cell, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (2005) 658-662.
- [8] S. Cheng, H. Liu, B.E. Logan, Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure, *Electrochem. Commun.*, 8 (2006) 489-494.
- [9] K. Rabaey, P. Clauwaert, P. Aelterman, W. Verstraete, Tubular microbial fuel cells for efficient electricity generation, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (2005) 8077-8082.
- [10] Z. He, S.D. Minteer, L.T. Angenent, Electricity generation from artificial wastewater using an upflow microbial fuel cell, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (2005) 5262-5267.
- [11] B.E. Logan, S. Cheng, V. Watson, G. Stadt, Graphite fiber brush anode for increased power production in air-cathode microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007) 3341-3346.
- [12] P. Aelterman, K. Rabaey, H.T. Pham, N. Boon, W. Verstraete, Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006) 3388-3394.
- [13] D.B. Levin, P. Lawrence, L. Murray, Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application, *Int. J. Hydrogen Energy*, 29 (2004) 173-185.
- [14] H. Liu, R. Ramnarayanan, B.E. Logan, Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell. *Environ. Sci. Technol.*, 38 (2004) 2281-2285.
- [15] B.E. Logan, J.M. Regan, Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends Microbiol.*, 14 (2006) 512-518.
- [16] Y.Z. Fan, H. Hu, H. Liu, Enhanced Coulombic efficiency and power density of air-cathode microbial fuel cells with an improved cell configuration, *J. Power Sources*, 171 (2007) 348-354.
- [17] C.I. Torres, A.K. Marcus, B.E. Rittmann, Kinetics of consumption of fermentation products by anode-respiring bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 77 (2007) 689-697.
- [18] B.E. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete, K. Rabaey, Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environ. Sci. Technol.* 40 (2006) 5181-5192.
- [19] S. Tanisho, N. Kamiya, N. Wakao, Microbial fuel cell using *Enterobacter aerogenes*, *Bioelectrochem Bioeng*, 21 (1989) 25-32.



INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

6. FUENTES DE INFORMACIÓN:

- [20] D.H. Park, J.G. Zeikus, Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation, *Biotechnol. Bioeng.*, 81 (2003) 348-355.
- [21] U. Schroder, J. Niessen, F. Scholz, A generation of microbial fuel cells with current outputs boosted by more than one order of magnitude, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 42 (2003) 2880-2883.
- [22] J. Niessen, U. Schroder, M. Rosenbaum, F. Scholz, Fluorinated polyanilines as superior materials for electrocatalytic anodes in bacterial fuel cells, *Electrochem Commun.*, 6 (2004) 571-575.
- [23] D.A. Lowy, L.M. Tender, J.G. Zeikus, D.H. Park, D.R. Lovley, Harvesting energy from the marine sediment-water interface II—Kinetic activity of anode materials, *Biosens. Bioelectron.*, 21 (2006) 2058-2063.
- [24] L. Zhang, M. Wan, , Synthesis and characterization of selfassembled polyaniline nanotubes doped with D-10-camphorsulfonic acid, *Nanotechnol.*, 13 (2002) 750-755.
- [25] Z. He, S.D. Minter, L.T. Angenent, , Electricity generation from artificial wastewater using an upflow microbial fuel cell, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (2005) 5262-5267.
- [26] S. Cheng, H. Liu, B.E. Logan, Power densities using different cathode catalysts (Pt and CoTMPP) and polymer binders (Nafion and PTFE) in single chamber microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006) 364-369.
- [27] F. Kargi, S. Eker, Electricity generation with simultaneous wastewater treatment by a microbial fuel cell (MFC) with Cu and Cu-Au electrodes, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 82 (2007) 658-662.
- [28] F. Zhao, F. Harnisch, U. Schroder, F. Scholz, P. Bogdanoff, I. Herrmann, Application of pyrolysed iron(II) phthalocyanine and CoTMPP based oxygen reduction catalysts as cathode materials in microbial fuel cells, *Electrochem. Comm.*, 7 (2005) 1405-1410.
- [29] R.A. Rozendal, A.W. Jeremiase, H. V. M. Hamelers, C.J .N. Buisman, Hydrogen production with a microbial biocathode. *Environ. Sci. Technol.*, 42 (2008) 629-634
- [30] P.Clauwaert, D. van der Ha, N. Boon, K. Verbeken, M. Verhaege, K. Rabaey, W. Verstraete Open air biocathode enables effective electricity generation with microbial fuel cells. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007) 7564-7569.
- [31] S.Freguia, K. Rabaey, Z.G. Yuan, J. Keller Sequential anode-cathode configuration improves cathodic oxygen reduction and effluent quality of microbial fuel cells. *Water Res.* 42 (2008) 1387-1396.
- [32] R.A. Rozendal, H.V.M. Hamelers, C.J.N. Buisman, Effects of membrane cation transport on pH and microbial fuel cell performance. *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006) 5206-5211.
- [33] G.C. Gil, I.S. Chang, B.H. Kim, M. Kim, J. K. Jang, H.S. Park, H.J. Kim, Operational parameters affecting the performance of a mediatorless microbial fuel cell, *Biosens. Bioelectron.*, 18 (2003) 327-334.
- [34] H. Liu, B.E. Logan, Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell (MFC) in the absence of a proton exchange membrane. *ACS, Division of Environmental Chemistry—Preprints of Extended Abstracts 2004*, 44 (2), 1485-1488.
- [35] J.C. Biffinger, R. Ray, B. Little, B.R. Ringeisen, Diversifying biological fuel cell designs by use of nanoporous filters. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007) 1444-1449.



Región de Murcia

Consejería de Agricultura y Agua
Dirección General de Planificación, Evaluación
y Control Ambiental.

Fomento del Medio Ambiente y
Cambio Climático.
C/Catedrático Eugenio Úbeda
Romero,3,30008 Murcia

T. 968 22 88 52
F. 968 22 89 86

INVENTARIO DE I+D+ i TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

6. FUENTES DE INFORMACIÓN:

- [36] R.A. Rozendal, H.V.M. Hamelers, R.J. Molenkamp, C.J.N. Buisman, Performance of single chamber biocatalyzed electrolysis with different types of ion exchange membranes, *Water Res.*, 41 (2007) 1984-1994.
- [37] J.R.C. Kim, S.-E. Oh, B.E. Logan, Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007) 1004-1009.
- [38] A.T. Heijne, H.V.M. Hamelers, V. de Wilde, R.A. Rozendal, C.J.N. Buisman, A bipolar membrane combined with ferric iron reduction as an efficient cathode system in microbial fuel cells, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006) 5200-5205.
- [39] P. Bonhôte, A.-P. Dias, N. Papageorgio, K. Kalayanasundaram and M. Grätzel, Hydrophobic, highly conductive ambient-temperature molten salts, *Inorg. Chem.*, 35 (1996) 1168-1178.
- [40] J.F. Brennecke, E.J. Maginn, Ionic liquids: Innovative fluids for chemical processing, *AIChE J.*, 47 (2001) 2384-2389.
- [41] K. Gong, D. Fang, H.-L. Wang, X.-L. Zhou, Z.-L. Liu, The one-pot synthesis of 14-alkyl- or aryl-14H-dibenzo[a,j]xanthenes catalyzed by task-specific ionic liquid, *Dyes Pigments*, 80 (2009) 30-33.
- [42] H. Liu, S. Cheng, L. Huang, B.E. Logan, Scale-up of membrane-free single-chamber microbial fuel cells, *J. Power Sources*, 179 (2008) 274-279.
- [43] D. Davila, J. P. Esquivel, N. Vigues, O. Sanchez, L. Garrido, N. Tomas, N. Sabate, F. J. del Campo, F. J. Muñoz, J. Mas, Development and Optimization of Microbial Fuel Cells, *J. New Materials Electrochem. Systems*, 11 ((2008) 99-103.
- [44] M.A. Rodrigo, P. Cañizares, J. Lobato, R. Paz, C. Sáez, J.J. Linares, Production of electricity from the treatment of urban waste water using a microbial fuel cell, *J. Power Sources*, 169 (2007) 198-204
- [45] J.P. Busalmen, A. Esteve-Nuñez, J.M. Feliu, Whole cell electrochemistry of electricity-producing microorganisms evidence an adaptation for optimal exocellular electron transport, *Environ.Sci. Technol.*, 42 (2008) 2445-2450.