

Las pilas de combustible microbianas en la formación inicial de pedagogos y maestros

Microbial fuel cells for initial formation of pedagogues and teachers

Juan Peña Martínez¹, Alberto Muñoz Muñoz¹,
Rafael Marín Gamero², Susana García Martín²

¹Dpto. de Didáctica de Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas,
Facultad de Educación – Centro de Formación del Profesorado,

²Dpto. de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. España. juan.pena@quim.ucm.es

Recibido: 11 de septiembre de 2018. Aceptado: 3 de julio de 2019.
Publicado en formato electrónico: 12 de septiembre de 2019.

Palabras clave: CTIM, Biotecnología, pilas de combustible microbianas, innovación docente

Keywords: STEM, Biotechnology, microbial fuel cells, teaching innovation

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la utilización de las pilas de combustible microbianas, construidas a partir de un diseño basado en la columna de Winogradsky, como recurso didáctico en la formación inicial de maestros y pedagogos. El objetivo es aumentar la presencia de contenido tecnológico en las prácticas experimentales en el ámbito de la didáctica de las ciencias experimentales. Para ello, se ha empleado un enfoque interdisciplinar ciencia-tecnología-ingeniería-matemáticas (CTIM) que garantiza que los estudiantes adquieran las destrezas necesarias para que puedan, a su vez, aplicar o asesorar sobre el anterior enfoque en sus futuros centros escolares de destino. El recurso asimismo puede servir para introducir técnicas experimentales de voltametría y espectroscopia de impedancia, ideales para la caracterización electroquímica de las pilas de combustible, pero que requieren de una mayor competencia matemática.

ABSTRACT

This paper describes the use of the microbial fuel cells (MFC), based on a Winogradsky-column design, as a didactic resource for initial training of teachers and pedagogues. The aim is to increase the presence of technological content in the experimental activities in the field of Science Education. In light of this, an interdisciplinary science-technology-engineering-mathematics (STEM) approach has been followed. This guarantees that students acquire the necessary skills so that they can, in turn, apply or advise on the previous approach in their future job positions at schools. MFC devices can also be used to introduce experimental techniques of voltammetry and impedance spectroscopy, optimal for the electrochemical characterization of fuel cells, although is demanded higher competence in mathematics.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. El enfoque educativo CTIM

El enfoque interdisciplinar ciencia-tecnología-ingeniería-matemáticas (CTIM) es un modelo educativo donde los estudiantes desarrollan competencias para comprender y analizar los problemas además de usar el conocimiento, razonar, modelar, explicar, criticar y comunicar (DUSCHL & BISMACK, 2016). Es decir, los discentes aprenden

experimentando, diseñando y creando (habilidades cognitivas de orden superior). Es un tipo de educación que se está impulsando especialmente en Estados Unidos y Europa con el propósito de asegurar la futura demanda, que se espera siga creciendo, de puestos de trabajo altamente cualificados para tareas tecnológicas y digitales (EUROPEAN COMMISSION, 2015). La oferta/demanda mencionada puede estar seriamente comprometida por una disminución del interés de los alumnos tanto de Educación Primaria como de Secundaria por las materias científico-tecnológicas (DOMÈNECH-CASAL *et al.*, 2019). Un fenómeno que se acrecienta en relación al género y el origen socio-económico (DOMÈNECH-CASAL, 2018). Por ello, además de promoverse la educación CTIM en los países de nuestro entorno, se sugiere modificar los currículos oficiales para impulsar tanto las vocaciones científico-tecnológicas como una educación para una ciudadanía competente en ciencias y tecnología (KEARNEY, 2016; DOMÈNECH-CASAL, 2018). Luego el propósito es doble, por un lado, que los estudiantes adquieran competencias para comprender y analizar los problemas que les afectan o puedan afectar, y por otro, atender la potencial demanda del mercado laboral en referencia a puestos de trabajo relacionados con las disciplinas CTIM. A priori, con un modelo educativo CTIM se podría multiplicar las posibilidades para que los estudiantes terminaran satisfactoriamente sus estudios superiores y pudieran acceder a un buen empleo relacionado con la ciencia y tecnología (STAGE *et al.*, 2013). Ahora bien, para aplicar correctamente el enfoque CTIM, se necesitan docentes capaces de desarrollar estrategias didácticas en el aula para motivar a los estudiantes a explorar, asimilar y aplicar conceptos y metodologías propias de las ciencias, las tecnologías, las ingenierías y las matemáticas. En este sentido, es importante que los docentes estén preparados para afrontar la docencia en una atmósfera cada vez más tecnológica e innovadora (PEDRÓ, 2017), y por tanto, la inclusión del modelo CTIM en la formación inicial de maestros y profesores de la Educación Primaria y Secundaria es conveniente para su futuro desempeño profesional, sobre todo, porque ellos serán los responsables directos de paliar el abandono y/o desinterés del alumnado en las materias y disciplinas CTIM; es más, serán los responsables de educar a los científicos e ingenieros del futuro (KEARNEY, 2016).

1.2 Las pilas de combustible microbianas

Las pilas de combustible microbianas, usualmente denominadas como MFC, acrónimo de microbial fuel cells, son unos dispositivos bio-electroquímicos que generan corriente eléctrica a partir del metabolismo natural de ciertos microorganismos (LOGAN, 2009; SANTORO *et al.*, 2017). En la figura 1 se ilustra el esquema básico de una pila de combustible microbiana de doble cámara (área catódica y anódica separada por un electrolito). En ella se puede observar cómo los microorganismos oxidan biológicamente la materia orgánica y transfieren los electrones al ánodo, que se transportan a través del circuito externo hacia el cátodo, donde se combinan con el oxígeno (especie química que acepta los electrones) y los protones, fruto también del proceso de oxidación, que han atravesado la membrana de intercambio iónico.

La aplicación más directa de las pilas MFC puede ser la generación eléctrica, pero también se han propuesto para tratamiento de aguas residuales y como biosensores para control de agentes contaminantes (DENG *et al.*, 2012). Desde un punto de vista didáctico, se pueden preparar las pilas basándose en la columna de Winogradsky (GARCÍA *et al.*, 2017), que es una columna que se suele utilizar para estudiar los diferentes tipos de microorganismos con metabolismo energético variable y para comprobar cómo se establece un ecosistema microbiano (MORENO *et al.*, 2012).

2. PROPUESTA DIDÁCTICA

Para aumentar el bagaje en el uso de nuevos recursos didácticos, ligados con la ciencia y la tecnología, se han introducido las pilas MFC en el trabajo de carácter

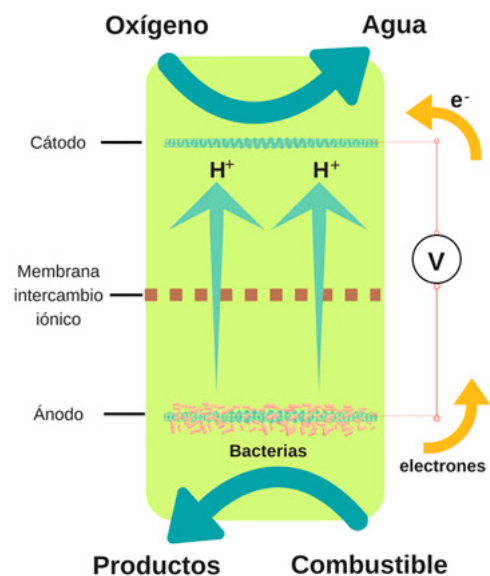


Figura 1. Esquema de una pila de combustible microbiana (HE & MANSFELD, 2009)

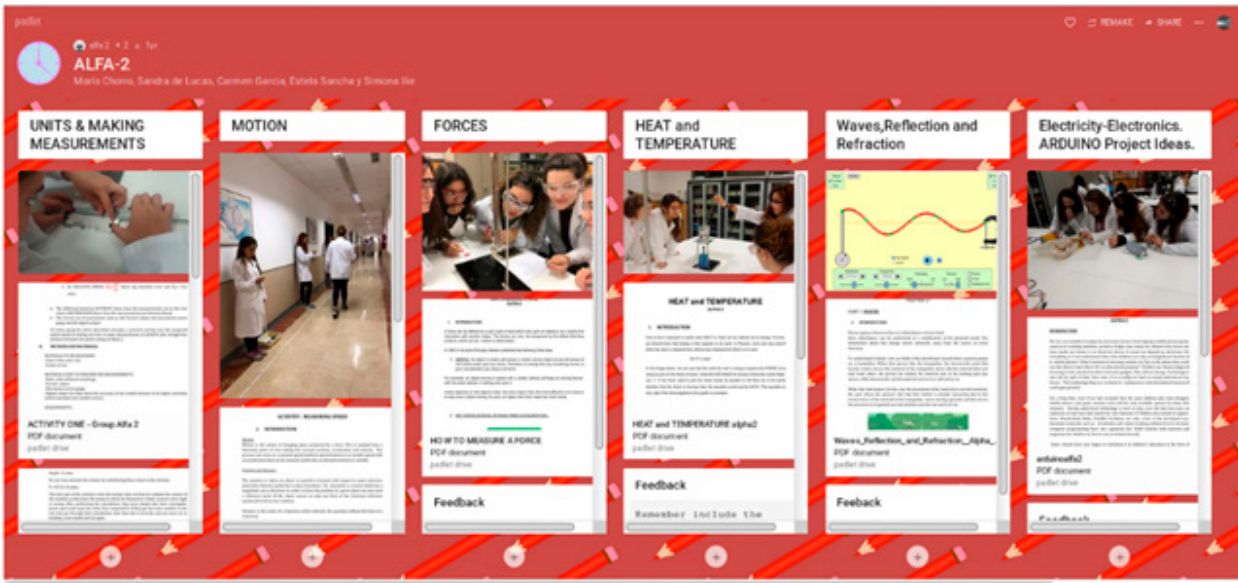


Figura 2. Ejemplo del tablón digital creado por un grupo de estudiantes.

experimental de dos grupos de alrededor de 30 alumnos. Concretamente, un grupo de estudiantes de Grado en Maestro de Educación Primaria y otro de estudiantes del Grado en Pedagogía de la Facultad de Educación–Centro de Formación del Profesorado de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Las actividades se han realizado durante el curso 2017/18 como parte de las asignaturas Fundamentos y Didáctica de la Física (alumnos de Magisterio) y Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza (estudiantes de Pedagogía). La metodología general empleada en el aula y en el laboratorio ha sido la siguiente: los diferentes temas que se debían abordar, según las fichas guías de las asignaturas, se articularon en unidades didácticas (UD). Cada UD se desarrolló en tres fases diferenciadas: presentación, desarrollo experimental y síntesis. En la primera fase, para motivar y activar a los estudiantes, se utilizaron presentaciones multimedia y experiencias sencillas, a modo de ejemplo, para todo el grupo. Las presentaciones y documentos de trabajo estaban disponibles en una pizarra digital (<https://padlet.com>) que era accesible a través de la página web del profesor responsable y el Campus Virtual de la universidad. En la etapa de desarrollo se llevaron a cabo las diferentes actividades en grupos de trabajo (constituidos teniendo en cuenta el aforo del laboratorio y material disponible) en sesiones de 120 minutos. Los grupos disponían de un documento de trabajo para cada sesión de laboratorio a modo de guía de orientación. En esta fase, el profesor ha actuado como un facilitador del aprendizaje promoviéndose las interacciones entre los estudiantes. Finalmente, como etapa de síntesis, los estudiantes tenían que realizar un informe sobre el trabajo experimental realizado, que debía estar a su vez disponible en su propio tablón digital (figura 2). En este informe además era obligatorio incluir una reflexión crítica y constructiva desde el punto de vista didáctico, teniendo en cuenta los recursos tecnológicos empleados. Finalmente, el profesor ha incluido en cada informe sus comentarios y sugerencias de cara a facilitar la autoevaluación de los estudiantes.

En el caso de los alumnos de Magisterio, las pilas MFC se han introducido en la etapa de presentación de una UD de Física dedicada al estudio de la electricidad y repaso de circuitos eléctricos, mientras que los estudiantes del grupo de Pedagogía han sido los responsables de preparar sus propias pilas, a partir de sedimentos de origen marino (del Mar Menor, Murcia) proporcionados por el profesor responsable, en una etapa de desarrollo experimental como práctica final y compendio de las actividades de Física, Química, Geología y Biología. Las pilas MFC para la UD de Física de los alumnos de Magisterio se habían preparado con anterioridad por los estudiantes del Máster de Formación de Profesorado de Educación Secundaria, especialidad de Física y Química, como complemento en su formación en investigación e innovación educativa con el empleo de nuevos recursos didácticos para la enseñanza-aprendizaje de la Física y la Química.

3. MEDIOS Y MATERIALES

Las pilas MFC se han construido a partir del diseño de la columna de Winogradsky, que es un dispositivo sencillo que permite el cultivo de una gran diversidad de microorganismos. Básicamente, consiste en un cilindro lleno de agua y lodo, provisto de una fuente de carbono orgánico (papel de periódico, serrín, etc.) y otra fuente de azufre que puede ser una yema de huevo. Si permanece esta columna bajo la luz solar durante unas semanas, se forman un gradiente de oxígeno y otro gradiente de azufre (sulfuros), que determinan una amplia variedad de ambientes estratificados en los que se disponen las diferentes especies de microorganismos en función de su metabolismo. Es por tanto un sistema completo y autónomo de reaprovechamiento, mantenido sólo por la energía de la luz, que además es útil para la enseñanza/aprendizaje de la microbiología básica (LÓPEZ, 2008).

Las columnas de Winogradsky necesitan un periodo de incubación de varios meses, siguiendo las instrucciones que pueden encontrarse en la literatura (López, 2008), sin olvidar además, que para convertir la columna de Winogradsky en una pila MFC hay que añadir los electrodos que van a servir funcionalmente como el ánodo y cátodo de la pila. Para ello, se introduce un electrodo en el estrato inferior y otro en la zona superior de la columna, donde el agua queda más clara. Los electrodos se conectan mediante un cable para cerrar el circuito con una resistencia (Logan, 2009). De este modo, se establecerá una pequeña diferencia de potencial entre los extremos de la columna de Winogradsky, fácilmente medible con ayuda de un polímetro digital configurado en la escala adecuada (figura 3a). De hecho, tras el periodo de incubación ya se pueden tomar muestras de la zona aeróbica, microaerófila y anaeróbica de la columna para observación de algunas poblaciones de microorganismos al microscopio óptico (figura 3b), y en cuanto a la caracterización eléctrica, se puede registrar la evolución del potencial de las pilas (figura 3c).

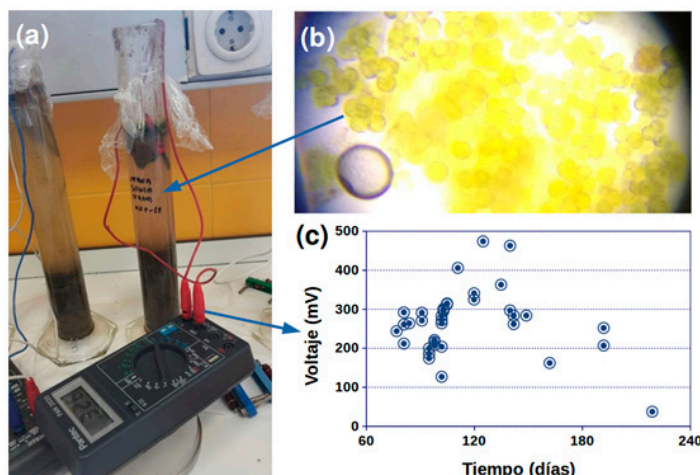


Figura 3. a) Pila MFC con base en una columna de Winogradsky conectada a un polímetro, b) Protistas caracterizados mediante microscopio óptico (10 x 40 aumentos) y c) Evolución de la diferencia de potencial de la pila con el tiempo.

4. IMPACTO EN LOS ESTUDIANTES

Los estudiantes tuvieron que realizar los correspondientes informes de las distintas actividades experimentales llevadas a cabo en el laboratorio, donde debían incluir como ya se ha mencionado anteriormente una reflexión y crítica constructiva sobre lo que no sabían antes del trabajo, qué es lo que habían aprendido y lo más importante, qué es lo que podían extraer de cara a su futuro docente o como futuro pedagogo. En este sentido, los estudiantes han caracterizado el recurso como idóneo para romper la brecha de género que existe normalmente en las asignaturas de Ciencias y Matemáticas (OCDE, 2015). Las disparidades de género en el rendimiento escolar pueden deberse a las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje y de la confianza que tienen -o no- en sus propias habilidades. En el informe Delors, citado por CEBRIÁN & JUNYENT (2014), se apunta la idea de que la educación a lo largo de la vida debe basarse en cuatro pilares: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender ser. Pues bien, los estudiantes perciben que el recurso puede emplearse en cualquier etapa educativa, consigue “poner a prueba la ciencia de una manera directa, creando (los estudiantes) el propio recurso... Una pila“, y hace énfasis en el trabajo interdisciplinar, el cual resulta conveniente para “comprender de forma universal o general la construcción del mundo”. Este enfoque interdisciplinar de las pilas microbianas en el que convergen

procesos y conceptos relacionados con el ámbito de la física, la química (las reacciones químicas-generación eléctrica, etc.) y la biología (ecología de poblaciones bacterianas) favorece el aprendizaje significativo (ROMERO, 2009). Por tanto, se dan las condiciones para fomentar que los alumnos construyan su propio conocimiento y desarrollen habilidades y competencias trabajando en grupo. De hecho, además de los informes, los estudiantes de Magisterio completaron una encuesta de satisfacción voluntaria (PEÑA *et al.*, 2018) y valoraron positivamente la metodología (CTIM) y los recursos utilizados, incluyendo las pilas MFC, en todas las sesiones realizadas. Por consiguiente, se puede evidenciar un impacto positivo en los estudiantes con un alto nivel de satisfacción que revela un estado emocional positivo que, por otra parte, es indispensable para favorecer la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales (KING *et al.*, 2015).

5. FUTURO TRABAJO

Las pilas de combustible microbianas pueden utilizarse como un recurso didáctico en actividades CTIM, y desde un punto de vista tecnológico, es posible una mayor caracterización electroquímica de las pilas. Además de registrar la evolución del potencial de la pila a circuito abierto, se puede determinar la densidad máxima de potencia de la pila mediante voltametría lineal¹, ver figura 4a, e incluso gracias a la técnica de espectroscopia de impedancia² explorar los distintos procesos implicados en la actividad bacteriana, por ejemplo la transferencia de carga y transporte de materia, que contribuyen a la resistencia interna de la pila (MANOHAR *et al.*, 2008). Para esta parte se requiere el ajuste de los espectros de impedancia que se obtenga mediante circuitos eléctricos equivalentes, que constan básicamente de resistencias, condensadores y bobinas (HE & MANSFELD, 2009). En la

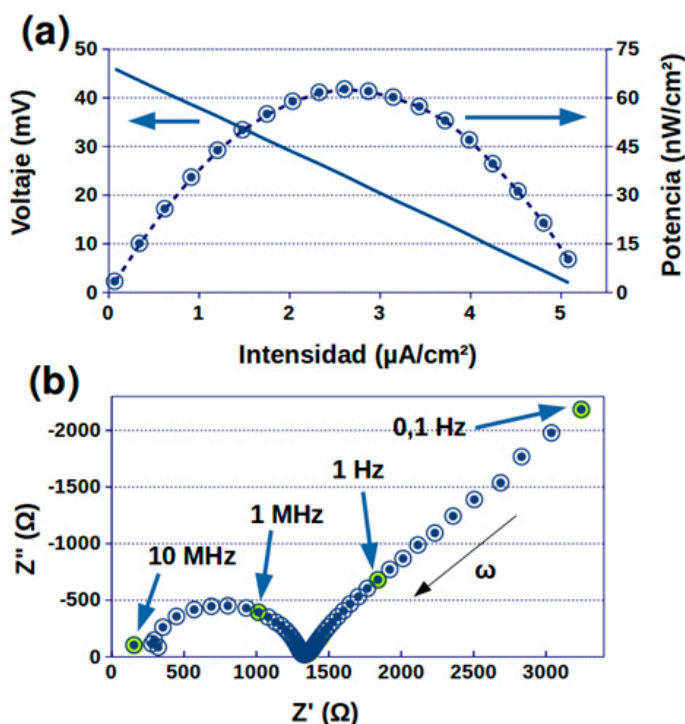


Figura 4. a) Curva V/I (lectura a la izquierda) y curva P/I (lectura a la derecha) obtenida a partir de la primera. Velocidad de barrido 0,1 V/s y superficie de electrodo 2,5 cm². b) Gráfico de Nyquist: representación de la parte imaginaria de la impedancia (Z'') versus la parte real (Z').

En la figura 4b se representa el espectro de impedancia de la pila ilustrada en la figura 3, obtenido con un potenciostato con analizador de frecuencias incorporado, al aplicar una perturbación de 50 mV (CA) en un rango de frecuencia 10 Mhz - 0,1 Hz, durante el periodo de mayor voltaje medido de la pila (figura 3c). Sin embargo, para desarrollar el anterior trabajo, además del equipamiento correspondiente, se requiere una mejor base en física y matemáticas por parte de los estudiantes. En nuestro caso, por regla general, el 75% de los estudiantes que cursan las asignaturas relacionadas con la didáctica de las ciencias experimentales en Magisterio provienen de itinerarios no científicos y/o técnicos, y por ende, hasta la fecha se ha focalizado más en la preparación básica de las pilas MFC como un recurso didáctico, ideal en el estudio de la Energía, porque además de trabajar el enfoque CTIM permite una educación para la sostenibilidad, al poder trabajar aspectos medioambientales y de desarrollo sostenible. En este sentido, las pilas MFC basadas en plantas (DENG *et al.*, 2012) podrían integrarse en el huerto escolar que dispone la Facultad

1. Se mide la corriente según el potencial va cambiando linealmente con el tiempo y se representa el potencial versus la corriente (RIEGER, 1994). Se requiere un potenciostato-galvanostato.

2. Se perturba el sistema con una señal sinusoidal (voltaje) de una frecuencia específica y se mide, mediante un analizador de frecuencias la corriente resultante. Es decir, se obtiene el valor de la impedancia a dicha frecuencia (MOYA, 2013).

de Educación de la UCM y se está trabajando en esta dirección actualmente por parte del grupo de investigación “Ecología y Educación Ambiental en la Escuela” de la mencionada facultad.

6. SUMARIO Y CONCLUSIONES

La actividad con las pilas MFC, estrechamente relacionada con la ciencia, la biotecnología y la innovación puede ayudar a concienciar de una manera dinámica y atractiva a los alumnos sobre la importancia de la actividad científica, que es cada vez más interdisciplinar, mostrando lo interesante y beneficioso que resulta para el conjunto de la Sociedad. Se trata, por tanto, de motivar a los estudiantes, en nuestro caso futuros maestros de Educación Primaria y pedagogos, para que adquieran las competencias necesarias para desarrollar con éxito su labor docente o de asesoramiento escolar en la sociedad del siglo XXI. Ellos deberán fomentar en sus futuros estudiantes una vocación científica mediante el contacto con la práctica experimental que será fundamental considerando la presente y futura demanda de profesiones CTIM. Como ha manifestado el presidente de la Sociedad Española de Microbiología (SEM), Antonio Ventosa, “Los más jóvenes son el futuro y estamos en sus manos para que se intercambien todo tipo de ideas y proyectos” (FERNÁNDEZ, 2018). Y por ello, tenemos que facilitar a los futuros docentes una formación que permita desarrollar su trabajo desarrollando las competencias clave de sus alumnos para afrontar los cambios y retos de la sociedad. No en vano, los docentes estamos obligados a buscar las mejores condiciones para este proceso de adquisición de competencias y habilidades (PIENTA, 2016). En este sentido, respecto los contenidos científicos que abarca la actividad con las pilas MFC, éstos pueden modularse para cubrir todos los niveles educativos hasta incluso llegar a implementarse en un nivel superior (universitario o Bachillerato). En este último caso, se podrían tratar temas específicos de electroquímica, incluyendo técnicas de caracterización, que son actualmente empleadas en las investigaciones en pilas de combustible, con lo que se conseguiría un aprendizaje significativo y contextualizado con la realidad de la ciencia y la tecnología actual.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Complutense de Madrid por la financiación del proyecto de innovación docente (convocatoria 2017/18) “El enfoque STEM en la Formación Inicial de Maestros: pilas de combustible microbióticas”.

BIBLIOGRAFÍA

- CEBRIÁN, G. & JUNYENT, M. 2014. Competencias profesionales en Educación para la Sostenibilidad: un estudio exploratorio de la visión de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (1): 29-49
- DENG, H., CHEN, Z., & ZHAO, F. 2012. Energy from Plants and Microorganisms: Progress in Plant-Microbial Fuel Cells. *ChemSusChem*, 5: 1006-1011.
- DOMÈNECH-CASAL, J. 2018. Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2): 29-42.
- DOMÈNECH-CASAL, J. 2019. Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2): 2203.
- DUSCHL, R.A. & BISMACK, A.S. Eds. 2016. *Reconceptualizing STEM Education*. 350 págs. Routledge Taylor & Francis Group. Nueva York.
- EUROPEAN COMMISSION. 2015. *Encouraging STEM Studies for Labour Market*. <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/542199/IPOL_STU\(2015\)542199_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/542199/IPOL_STU(2015)542199_EN.pdf)> [Consulta: 08-05-2019]
- FERNÁNDEZ, J. 2018. De SWI@Spain a Micro Mundo sin perder el objetivo: luchar contra la resistencia bacteriana. *Tribuna Complutense* Julio 2018. <<https://tribuna.ucm.es/229/art3325.php>> [Consulta: 08-05-2019]
- GARCÍA FERNÁNDEZ, R., GARCÍA MOZO, A., PEÑA MARTÍNEZ, J. & MUÑOZ MUÑOZ, A. 2017. Percepciones y actitudes sobre la energía sostenible en alumnos de Educación Secundaria. *M+A. Revista Electrónica de Medioambiente*, 18 (2): 79-97.
- HE, Z., MANSFELD, F. 2009. Exploring the use of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in microbial fuel cell studies. *Energy & Environmental Science*, 2: 215-219.

- KEARNEY, C. 2016. Is there a shortage of STEM teachers in Europe? *European Schoolnet*. <<http://www.scientix.eu/observatory>> [Consulta: 08-05-2019]
- KING, D.; RITCHIE, S.; SANDHU, M. & HENDERSON, S. 2015. Emotionally Intense Science Activities. *International Journal of Science Education*, 37(12): 1886-1914.
- LÓPEZ PÉREZ, J.P. 2008. La columna de Winogradsky. Un ejemplo de microbiología básica en un laboratorio de Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 5(3): 373-376.
- LOGAN, B.E. 2009. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. *Nature Reviews. Microbiology* 7: 375-381.
- MANOHAR, A.K., BRETSCHGER O., NEALSON, K. H. MANSFELD, F. 2008. The use of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in the evaluation of the electrochemical properties of a microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry*, 72: 149-154.
- MORENO, J.R., GORRITI, M.F., FLORES, M.R., Y ALBARRACÍN, V.H. 2012. Microbiología ambiental y ecología microbiana en el estudio de microorganismos en ambientes extremos. *Reduca (Biología). Serie Microbiología*, 5(5): 94-109.
- MOYA, A.A. 2013. A Numerical Exercise to Teach Electrochemical Impedance Using Electric Circuit Simulation Software. *Journal of Chemical Education*, 90: 1699-1700.
- OCDE. 2015. The ABC of Gender Equality in Education: Aptitude, Behaviour, Confidence. 180 págs. PISA, OECD Publishing. <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264229945-en>> [Consulta: 08-05-2019]
- PEDRÓ, F. 2017. Tecnologías para la transformación de la educación. Fundación Santillana. <[http://www.fundacionsantillana.com/PDFs/Tecnologías para la transformación de la educación. pdf](http://www.fundacionsantillana.com/PDFs/Tecnologias%20para%20la%20transformacion%20de%20la%20educacion.pdf)> [Consulta: 08-05-2019]
- PEÑA MARTÍNEZ, J., MARTÍNEZ AZNAR, M.M., ROSALES CONRADO, N., SÁNCHEZ GÓMEZ, P., ROSA NOVALBOS, D., GARCÍA NÚÑEZ, I., SÁNCHEZ LORENZO, S., & RODRÍGUEZ ARTECHE, I. 2018. *El enfoque STEM en la Formación Inicial de Maestros: pilas de combustible microbióticas*. <<https://eprints.ucm.es/48120/>> [Consulta: 13-06-2019].
- PIENTA, N.J. (2016). A “Flipped Classroom” Reality Check. *Journal of Chemical Education* 93: 1-2.
- RIEGER, P.H. 1994. *Electrochemistry*. Second Edition. 483 págs. Chapman & Hall. New York - London.
- ROMERO TRENAS, F. 2009. Aprendizaje significativo y constructivismo. Temas para la Educación. *Revista Digital para profesionales de la enseñanza*, 3. <<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd4981.pdf>> [Consulta: 08-05-2019]
- SANTORO, C., ARBIZZANI, C., ERABLE, B., IEROPOULOS, I. 2017. Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*, 356: 225-244.
- STAGE, E.K., ASTURIAS, H., CHEUK, T., DARO, P.A., HAMPTON S.B. 2013. Opportunities and Challenges in Next Generation Standards. *Science*, 340: 276-277.

