



Año 25 No. 3  
Número especial, 2020

# Revista Venezolana de Gerencia



UNIVERSIDAD DEL ZULIA (LUZ)  
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales  
Centro de Estudios de la Empresa

ISSN 1315-9984

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.  
[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es\\_ES](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_ES)



# Capacidad y uso de tecnología: estudio a nivel de los procesos electroquímicos

## Review

Peña Murillo, Sandra Emperatriz<sup>1</sup>  
Villa Manosalva, Gonzalo Iván<sup>2</sup>  
Ronquillo Castro, Sandra Mirella del Consuelo<sup>3</sup>

### Resumen

En este trabajo se realiza el análisis de la capacidad y el uso de la tecnología en los procesos electroquímicos para generar energía, además de los estados más importantes que inciden en el desarrollo de varias técnicas electroquímicas y celdas de combustible microbianas. Desde el punto de vista metodológico, se interconectan enfoques tradicionales a nivel de los procesos industriales con procesos característicos de la industria química, precisando con un alto componente técnico, la especificidad de los procesos electroquímicos y su comportamiento a nivel de las reacciones químicas, generadas a partir del empleo de tecnologías específicas relativas a métodos y conocimientos propios de la química como ciencia. Se realizaron experimentos de corriente continua y análisis que permitieron precisar como resultados la importancia de combinar concepciones químicas con la sustentabilidad humana, ambiental y ética. Las conclusiones precisan que se está en presencia del desarrollo de procesos con grandes responsabilidades e implicaciones en el campo de la ciencia y de nuestras sociedades, azotadas por graves problemas ambientales relativos a la disposición de residuos sólidos. Estos procesos ayudan en la degradación de contaminantes persistentes y en la

---

Recibido: 20.11.19    Aceptado: 20.03.20

<sup>1</sup> Mg.Scientiae de la Ingeniería Química; Docente de la Facultad y Carrera de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Email: sandra.penam@ug.edu.ec, Orcid: 0000-0002-7848-8021

<sup>2</sup> Mg.Scientiae de la Ingeniería Química, Doctor en Ciencias Ambientales, Docente de la Facultad y Carrera de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil. Email: Ecuador.gonzalo.villam@ug.edu.ec, Orcid: 0000-0002-9321-9436

<sup>3</sup> Mg.Scientiae de la Ingeniería Química; Doctor en Ciencias Ambientales; Docente de la Facultad y Carrera de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Email: sandra.ronquilloc@ug.edu.ec; Orcid: 0000-0002-9048-8454

conversión de estos en energía como fuente de apoyo esencial en sectores de actividad específicos de nuestras realidades. A partir de ellos se incrementa la competitividad de nuestros pueblos, se reducción de costos y se potencian actividades favorables para el medio ambiente.

**Palabras Clave:** procesos electroquímicos; capacidad; tecnología

## *Technology capacity and use: Review of electrochemical processes Review*

### **Abstract**

This work analyzes the capacity and the use of technology in electrochemical processes to generate energy, in addition to the most important states that affect the development of various electrochemical techniques and microbial fuel cells. From a methodological point of view, traditional approaches at the level of industrial processes are interconnected with processes characteristic of the chemical industry, specifying with a high technical component, the specificity of electrochemical processes and their behavior at the level of chemical reactions, generated at from the use of specific technologies related to methods and knowledge of chemistry as a science. Direct current experiments and analyzes were carried out that allowed us to pinpoint the importance of combining chemical concepts with human, environmental and ethical sustainability. The conclusions specify that we are witnessing the development of processes with great responsibilities and implications in the field of science and our societies, plagued by serious environmental problems related to the disposal of solid waste. These processes help in the degradation of persistent pollutants and in the conversion of these into energy as an essential source of support in specific sectors of activity of our realities. From them, the competitiveness of our towns increases, costs are reduced and activities favorable to the environment are promoted.

**Keywords:** electrochemical processes; capacity; technology

### **1. Introducción**

Las organizaciones, independientemente de su naturaleza, sean del ámbito de servicios, manufactura, extracción, comercial o de cualquier otra índole, desarrollan procesos relativos a la actividad principal que desarrollan. En estos casos,

los que definan serán particulares, y se estructurarán en función de las exigencias de producción y del contexto en el que se encuentren sometidas.

Todo proceso, requiere definir elementos centrales que se asocian con su estructura de funcionamiento y la operatividad requerida en el marco de las exigencias del entorno y la demanda

latente de estos. El diseño de procesos, requiere de la definición precisa de su capacidad, así como de la tecnología que los soportará. En este sentido en esta investigación, se traza como objetivo central analizar la capacidad de las reacciones electroquímicas y el uso de la tecnología en procesos electroquímicos para generar energía.

La electroquímica juega en la actualidad un importante papel en numerosas áreas de la ciencia aplicada y la tecnología (Moya, SF), más aún en los últimos años, donde los sistemas electroquímicos han generado expectativas en diversas investigaciones, no sólo por la tendencia mundial en la producción de energía, sino también por su aporte en la degradación de materia orgánica. En países en desarrollo, es necesario estudiar estas tecnologías de microorganismos y químicos, que puedan generar energía sustentable y sostenible. Investigar cada una de estas tecnologías permite optimizar y mejorar estos procesos

Bajo este propósito, se definen los procesos electroquímicos, como aquellos consistentes en reacciones de óxido-reducción en las cuales, la energía liberada por una reacción espontánea, es convertida en electricidad y la energía eléctrica puede ser usada para hacer que una reacción no espontánea ocurra; precisando técnicas electroquímicas y celdas de combustible microbianas.

Desde el punto de vista metodológico, se interconectan enfoques tradicionales a nivel de los procesos industriales con procesos característicos de la industria química, precisando con un alto componente técnico, la especificidad de los procesos electroquímicos y su comportamiento a nivel de las reacciones químicas, generadas a partir del empleo de tecnologías específicas

relativas a métodos y conocimientos propios de la química como ciencia. Se realizaron experimentos de corriente continua y análisis que permitieron precisar como resultados la importancia de combinar concepciones químicas con la sustentabilidad humana, ambiental y ética.

## **2. Capacidad de las reacciones electroquímicas: algunas consideraciones**

La electroquímica como proceso empleado en la industria química, permite obtener energía. En esta oportunidad, se investiga la capacidad de las reacciones electroquímicas que dan lugar a la actuación del material en las condiciones de reacción (mecánicas, térmicas, químicas, eléctricas...).

Según Beaumont (2018), cuando se habla de capacidad de los procesos electroquímicos, esto significa una reacción controla de manera simultánea, con el cambio de su composición, el cambio del volumen (actuador) y el potencial (sensor) del material, de hecho, cambiará cualquier propiedad dependiente de la composición: volumen del material, potencial del material, carga almacenada, iones almacenados o liberados, color del material y conductividad, entre otras (Beaumont, 2018).

Las reacciones electroquímicas, particularmente de transferencia de oxígeno han sido de interés para la oxidación anódica de compuestos orgánicos, específicamente para degradar contaminantes y para la conversión de energía en celdas de combustible.

La investigación sobre este tipo de reacciones electroquímicas en óxidos

metálicos ha sido amplia e intensa en los últimos años, hasta el punto de que la transferencia electroquímica de oxígeno para lograr la oxidación total de compuestos orgánicos ha sido frecuentemente propuesta como una vía viable y práctica para la degradación de contaminantes persistentes (Lopes, 2017: 1580)

A nivel de los procesos industriales, especialmente asociados con la industria química, debido a los graves problemas ambientales asociados a la eliminación de residuos sólidos urbanos, se hizo evidente la necesidad de contar con estos tipos de procesos, por ser adecuados y capaces de convertir los denominados residuos en productos útiles, como la energía.

Referenciando un caso específico, se referencia la coagulación química, como método simple y económico empleado ampliamente en plantas de tratamiento de aguas residuales, como un pretratamiento antes de las fases biológicas o de ósmosis inversa, o como paso final de tratamiento de pulido para eliminar la materia orgánica no biodegradable.

Este tipo de tratamientos resulta fundamental en organizaciones cuyas operaciones medulares desarrollan procesos que generan impactos o efluentes que requieren de tratamientos. Según plantea Bonomie y Reyes (2012), se deben atender avances positivos al momento de disponer estos residuos en el ambiente, apostando por una producción más limpia.

Como ejemplo visible desde el ámbito de la química, se tiene la electrocoagulación, método electroquímico aplicado en el tratamiento de muchos tipos de aguas residuales que ha demostrado ser un proceso prometedor. Este proceso ha sido

aplicado con éxito para el tratamiento de lixiviados de vertederos sanitarios, utilizando electrodos de aluminio y hierro, y ha demostrado tener un mayor rendimiento de tratamiento que el proceso de coagulación química.

Bajo estos planteamientos, el Centro de producción de tecnologías sostenibles (2003), la producción más limpia (PML) conduce al ahorro de materias primas, agua y/o energía; a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; y a la reducción, en la fuente, de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y los desechos, durante el proceso de producción. De igual forma, busca reducir los impactos negativos de los productos sobre el ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto.

Otros casos están representados por procesos electroquímicos generan energía, como el tratamiento adecuado del estiércol que contiene altas concentraciones de materia orgánica, compuestos de nitrógeno y sólidos. El proceso de digestión anaeróbica, se utiliza ampliamente porque puede generar energía de aguas residuales y residuos orgánicos, siendo el estiércol del ganado utilizado como fuente de bioenergía para este proceso.

Otro caso de interés, se presenta en el análisis del sistema de tratamiento de estiércol porcino, del cual se obtiene una gran producción de metano para la obtención de energía. Además, estos sistemas tienen un bajo desarrollo de material y un funcionamiento óptimo. En el sistema de los hidruros complejos se analizó que son una solución probable, ya que ayudan al almacenamiento de hidrogeno, actúan como catalizadores

para la hidrogenación, des hidrogenación y la descomposición del amoniaco. En la revisión de la célula electrolítica de amoniaco con NiCu/C como catalizador anódico se ha verificado que la eficiencia de este método depende en gran parte de la relación entre la masa de níquel y la de cobre los cuales deben estar en una proporción del 50% para obtener un buen rendimiento.

Otro proceso electroquímico, que afecta la capacidad de producción es la del agua para obtener hidrógeno. El hidrógeno se ha vuelto popular en los últimos años debido a su alto contenido energético y a su limpieza en su aplicación. Termodinámicamente, la tensión de la célula requerida es de 1,23 V.

El consumo teórico de energía del agua requiere al menos 33 Wh g<sup>-1</sup> H<sub>2</sub> en condiciones normales. El amoniaco, como portador de hidrógeno, tiene características atractivas por su alto contenido de hidrógeno (17,6 % en peso) y su facilidad de uso, el potencial de oxidación del amoniaco a 25 °C es de -0,77 V (frente al hidrógeno estándar) y el potencial de reducción de hidrógeno en solución alcalina es de -0,83 V. Sin embargo, la lenta cinética y el potencial de reacción de oxidación del amoniaco en el ánodo limitan el proceso de evolución del hidrógeno. Los bimetales basados en Pt y Pt han sido identificados como los electrocatalizadores más adecuados para la oxidación del amoniaco, entre los cuales Pt-Ru y Pt-Ir han mostrado resultados atractivos.

El hidrógeno es ampliamente considerado como la reserva energética más esperanzadora para reemplazar al combustible fósil. El desarrollo de un material de almacenamiento de hidrógeno de bajo volumen, barato, seguro y eficientes son la clave para el uso del hidrógeno como motor de

los vehículos. El almacenamiento electroquímico de hidrógeno en el material está relacionado con varios parámetros, incluyendo la composición química, las propiedades cristalinas, las características catalíticas y la estructura porosa del adsorbente de hidrógeno. Las nano partículas de óxido de cobre (CuO) presentan una capacidad muy elevada de almacenamiento de hidrógeno y una gran superficie específica.

### 3. Uso de tecnología en procesos electroquímicos

En la actualidad están siendo desarrolladas diferentes tecnologías muy prometedoras basadas en procesos electroquímicos, entre ellas destacan: la electro-coagulación, la electro-dialísis, la electro-flotación y la electro-deposición, por nombrar algunas de ellas (Moya, S/F).

Es evidente que se abre un nuevo umbral tecnológico hacia el desarrollo de dispositivos y herramientas multifuncionales, en los que una misma reacción química puede controlar dos, tres o cuatro funciones simultáneamente (actuadores-sensores, ventanas electrocrómicas-batería, actuadores-sensores-batería, etc).

Los nuevos dispositivos y herramientas multifuncionales estarán un paso más allá de la tecnología actual, basados en física del estado sólido, en los que cada dispositivo controla una sola función. Por el momento esta multifuncionalidad solo ha sido probada y descrita teóricamente en músculos artificiales táctiles o músculos sensores.

En lo que compete a la tecnología electroquímica microbiana, esta utiliza microorganismos como catalizador para generar electricidad/materiales valiosos y mejorar la eficiencia de los procesos

biológicos convencionales a través de la reacción redox de compuestos orgánicos/inorgánicos. En relación con el rendimiento de los sistemas digestión anaerobia basados en tecnología electroquímica, estos varían según las condiciones de funcionamiento, como la tensión aplicada, el tipo de carga, la temperatura y el tiempo de retención hidráulica.

La tecnología de sistemas de digestión anaerobia permite tratar excrementos, en la que se emplean celdas de combustibles microbianas y otra de amoníaco, son sistemas bioelectroquímicos que ayudan a la fabricación de energía renovable.

En estas tecnologías se observan las reacciones del metabolismo microbiano y reacciones de químicos; de los cuales hay poca investigación, requiriéndose un acertado análisis de todos estos procesos. En particular, las comunidades microbianas y su actividad en el sistema tecnología electroquímica se ven fuertemente influenciadas por el potencial de los electrodos, lo que también puede afectar al rendimiento de la energía.

Sobre este particular, a nivel de las tecnologías empleadas en los procesos electroquímicos, se pueden mencionar las Celdas de Combustible Microbianas, tecnología emergente que podrían contribuir a solucionar dos de los problemas más críticos que afronta la sociedad actual: la crisis energética y la disponibilidad de agua no contaminada.

#### **4. Industria electroquímica: aplicaciones energéticas desde los procesos electroquímicos Review**

Los precursores poliméricos

y proceso de electro hilado, se han utilizado los precursores poliméricos que poseen 4 % poliácilonitrilo, 8% dimetilformamida, que optimizan los electrohilado y consiguen la máxima estabilidad en el cono de Taylor. Si bien, los precursores cerámicos y proceso de electro-hilado con inyector simple y múltiple, los mismos poseen Ce<sub>0.8</sub>Gd<sub>0.2</sub>O<sub>2</sub>-p, (óxido de cerio dopado con gadolinio al 20%) y el LaMnO<sub>3</sub> (manganita de lantano). Las suspensiones poliméricas cargadas con los precursores cerámicos se electrohilan con un inyector simple con relación de diámetros externo/interno de 0,9/0,6 mm. Estas suspensiones poliméricas cargadas de nitratos se han utilizado para obtener nanofibras. En cambio, las suspensiones con carga cerámica se han utilizado para el proceso de electro-hilado donde coloca un inyector coaxial múltiple, provisto de 10 agujas con una relación de diámetros externo/interno 1,7/1,4. (Campana, 2019: 240).

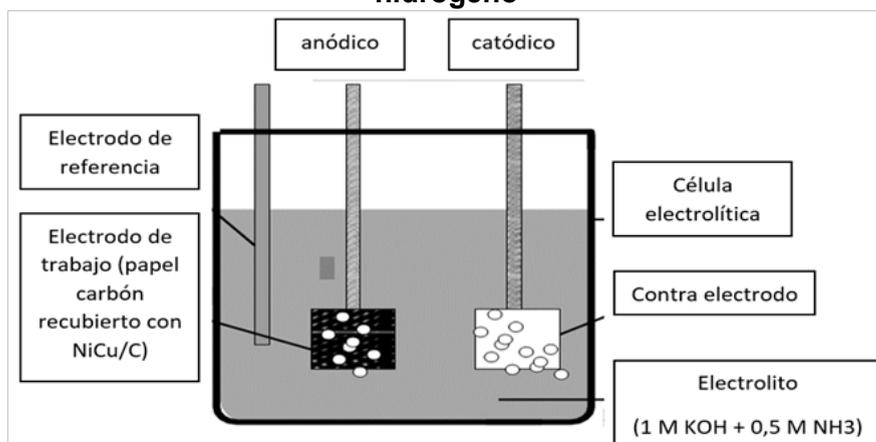
#### **4.1. Proceso de producción hidrógeno: Célula electrolítica de amoníaco con NiCu/C como catalizador anódico**

En el análisis de las células electroquímicas de amoníaco, primero obtienen el catalizador de NiCu/C a continuación, realizan soluciones madres y utilizan ultrasonidos donde los productos finales del mismo se utilizan como ánodo. Por último, se realizan pruebas electroquímicas y configuración de celdas electrolíticas donde en la célula electrolítica se utiliza una célula de tres electrodos. Utilizaron el NiCu/C/C/CP como electrodo de trabajo y como electrodo de referencia Hg/HgO

y como contra electrodo lámina de Pt (1 cm×1cm). Como electrolito (1M KOH y 0,5M NH<sub>3</sub>). El valor de los datos de corriente después de la estabilización representó la corriente de la célula a una tensión determinada. El electrodo

resultante se utilizará como electrodo de trabajo. El electrodo de referencia y el contra electrodo serán los mismos que los experimentos con células electrolíticas (Zhang, 2017: 1541), figura 1.

**Figura 1**  
**Célula electrolítica para electrólisis de amoníaco con catalizador anódico de NiCu/C para la producción de hidrógeno**



Fuente: (Zhang, 2017)

### a) Electrólisis de membrana de salmueras ricas en litio

El litio se ha utilizado tradicionalmente en diversas producciones, a pesar de ello, en la actualidad la demanda está aumentando, producto de las exigencias de abastecimiento de la industria de baterías impulsada por la movilidad eléctrica; siendo estas baterías de alta capacidad. Estas son fuertes candidatas para el almacenamiento de energía en apoyo de la red eléctrica, necesaria para

la acumulación de energía solar, eólica y de las olas, que son fuentes de energía intermitentes por naturaleza.

El litio se produce típicamente a partir de salmueras ricas en litio o de mineral de roca dura; la mayor parte de los recursos de litio en salmueras continentales se encuentran en una pequeña región de Sudamérica, a menudo conocida como el Triángulo de Litio, mientras que las salmueras, pueden ser accesibles directamente desde la superficie, o bajo grandes extensiones salinas (lagos salados o salares) en

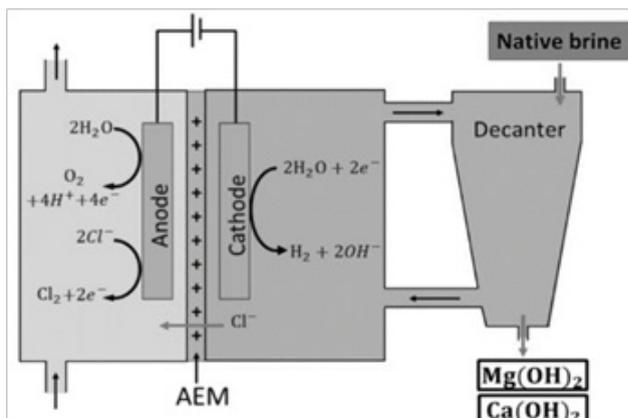
regiones muy secas, cada salar tiene una composición química diferente, el método evaporativo es la tecnología que se utiliza actualmente para recuperación de litio de las salmueras. (Díaz et al, 2019: 17)

Con respecto a los procesos de electrólisis de membrana de salmueras ricas en litio, se presentan resultados de un estudio donde fabricaron células electroquímicas utilizando dos marcos de acrílico como compartimentos de ánodos y cátodos y separados por un AEM (AMI-7001CR, Membrane).

El ánodo era un electrodo de malla

de titanio recubierto con óxido metálico mixto a base de iridio ( $\text{IrO}_2/\text{TiO}_2$ ; 65/35 %), con un colector de corriente perpendicular. El cátodo era una malla de alambre de acero inoxidable con un colector de corriente de acero inoxidable. La distancia entre los electrodos era de 3 mm. Entre la superficie de los electrodos y el AEM, se colocan dos mallas de plástico para evitar el contacto entre electrodos y la membrana. Las densidades y la tensión de la célula la controlan con la pantalla digital de la fuente de alimentación, figura 2.

**Figura 2**  
**Diseño de una célula de litio**



Fuente: Desloover et al. (2012: 101).

### b) Sistemas de digestión anaeróbica electroquímica microbiana

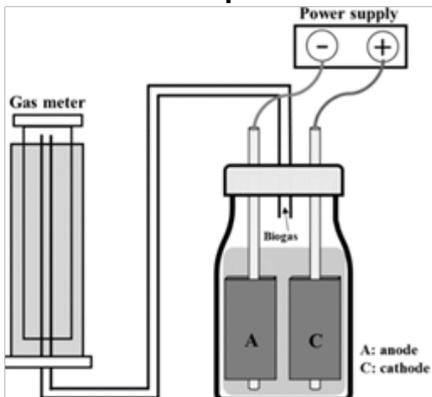
Para la construcción y funcionamiento de un sistema de digestión anaeróbica basado en

tecnología electroquímica microbiana, se observó que poseen dos electrodos sumergidos verticalmente en una botella de vidrio (500 mL). Se utilizó un filtro de grafito (60 mm × 60 mm) como ánodo y cátodo, y una barra de acero inoxidable (diámetro 0,1 mm, longitud 200 mm)

como colector. El ánodo y el cátodo los conectaron a una fuente de alimentación con alambre de cobre.

Todos los sistemas los inocularon con 100 mL de lodos anaeróbicos que obtuvieron de un digestor anaeróbico mesófilo a escala de laboratorio (35 °C), y luego se añadieron 400 mL de estiércol porcino. Once sistemas fueron operados a diferentes voltajes (0.1-0.9 V) (M1-M5) y temperaturas (25, 35 y 45 °C) (LM, MM y HM, respectivamente). Un sistema de digestión anaerobia convencional (C1 y MC) sin electrodo, dos sistemas de circuito abierto y cerrado basado en tecnología electroquímica con electrodo (C2) (C3). Los procesos se deben realizar por triplicado, bajo las mismas condiciones (Versión 23, SPSS Inc., EE.UU.), figura 3.

**Figura 3**  
**Diagrama sistema de digestión anaeróbica en Tecnología Electroquímica**



**Fuente:** (Jaecheul, Sunwon & O-Seob, 2019)

### c) Tratamiento por procesos químicos y electroquímicos

Las caracterizaciones a efluentes de tratamiento por procesos químicos y electroquímicos se analizan por métodos estándar y se determinan los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico disuelto (COD), carbono orgánico disuelto (DOC), carbono inorgánico disuelto (DIC), nitrógeno disuelto total (NDTD), nitrógeno amoniacal total (NAT), y Kjeldahl total nitrógeno (TKN). Las determinaciones de parámetros se realizarán por duplicado, y los valores considerados como resultado corresponden a los valores medios. (Lopes, 2017, pág. 1580).

### d) Ensayos químicos y electroquímicos

Para los ensayos químicos y electroquímicos es necesario realizar experimentos de corriente continua (CC) con un probador de flúculos portátil para el efluente. Diferentes concentraciones de cal, entre 20 y 70 gL<sup>-1</sup>, en muchos casos con agitación de 100 rpm. La duración de la corriente continua se fija, de acuerdo a la estabilización en la eliminación de la DQO. T ambiente y a pH inicial natural (9,4). Después del tratamiento con corriente continua, las muestras se centrifugan, a 5000 rpm durante 5 minutos, y se recoge el líquido sobrenadante para las determinaciones analíticas. La celda electroquímica deberá estar equipada con ánodos y cátodos de hierro, con un área sumergida de 40 cm<sup>2</sup> cada uno.

### e) Hidruros complejos para el almacenamiento de energía

Una amplia variedad de boro hidruros metálicos  $Mn(BH_4)_m$  (Borohidruros monometálicos, bimetálicos, trimetálicos, de metales de transición, de metales de tierras raras, derivados del borohidruro metálico), han sido descubiertos y caracterizados durante la última década, revelando una química extremadamente rica que incluye una fascinante flexibilidad estructural y una amplia gama de composiciones y propiedades físicas.

### f) Mecanismo de liberación y absorción de hidrógeno en hidruros complejos

El mecanismo de reacción para la liberación y absorción de hidrógeno en hidruros complejos fue analizado, de una investigación de la desorción y absorción de hidrógeno en condiciones moderadas en  $NaAlH_4$  catalizado con Ti. Los alanatos de litio y sodio,  $LiAlH_4$  y  $NaAlH_4$ , fueron caracterizados y liberaron hidrógeno a través de la formación intermedia de  $M_3AlH_6$ ,  $M \frac{1}{4} Li$  o  $Na$ . Sin embargo, los alanatos de metales alcalinos más pesados de potasio y rubidio, son menos comprendidos y siguen un mecanismo de liberación de hidrógeno más complejo, posiblemente involucrando a otros intermediarios.

Recientemente se ha informado de la presencia de amidoboranos bimetálicos  $M[Al(NH_2BH_3)_4]$  basados en Al-, lo que revela una compleja vía de descomposición, junto con una reversibilidad parcial para  $M \frac{1}{4} Na$ . La reversibilidad potencial del borano amoniacal completado en borohidruro de aluminio, sugerida sobre la base de su

des hidrogenación endotérmica, también se atribuye a la capacidad del ácido fuerte de Lewis  $Al_3p$  para coordinar tanto a las especies nativas iniciales como a sus productos de des hidrogenación. Los materiales de partida, así como los productos intermedios y finales durante la liberación de hidrógeno, son típicamente cristalinos y por lo tanto las estructuras cristalinas de los diferentes hidruros durante la desorción y absorción de hidrógeno son caracterizadas. (Milanese et al, 2018: 131)

Por otro lado, los productos de descomposición pueden ser también no cristalinos y por lo tanto difíciles de caracterizar. Además, no se han identificado catalizadores reales que rompan los enlaces  $BeH$  para los borohidruros. Sin embargo, varios aditivos tienen un efecto sobre la cinética para la liberación de hidrógeno. Un ejemplo puede ilustrar la complejidad de las transformaciones inducidas por el calor.  $Mg(BH_4)_2$  tiene un alto contenido de hidrógeno (14,5 % de peso) y una liberación de hidrógeno teóricamente prevista en condiciones bastante leves.

## 4.2. Celdas de Combustible Microbianas (CCMs)

Una celda de combustible microbiana, representa un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica, esto es posible cuando bajo ciertas condiciones algunos microorganismos transfieren los electrones producidos en su actividad metabólica a un electrodo (ánodo) en lugar de a un aceptor natural de electrones (como oxígeno) (Díaz et al, 2019: 17).

Las celdas de combustible microbiano convierten energía

bioquímica a energía eléctrica mediante microorganismos. Las bacterias obtienen la energía transfiriendo electrones desde un donador de electrones, como el acetato o el agua residual (materia orgánica), hacia un aceptor de electrones, como el oxígeno. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial entre el donador y el aceptor, mayor será la ganancia energética para la bacteria y, generalmente, mayor será su tasa de reproducción y, por lo tanto, de eliminación de la materia orgánica.

Una celda de combustible microbiana, típicamente está compuesta por dos cámaras (anaeróbica y aeróbica) en medio de las cuales hay un separador. La cámara anaeróbica contiene sustratos orgánicos que, al oxidarse por acción de los microorganismos, generan electrones, protones y  $\text{CO}_2$ . En las cámaras se coloca un electrodo, el ánodo en la cámara anaeróbica y el cátodo en la cámara aeróbica, una vez los electrones se liberan en la cámara anódica, éstos son captados por el ánodo y posteriormente transferidos hacia el cátodo mediante un circuito externo. Simultáneamente, en la cámara anódica se generan protones que migran hacia la cámara catódica a través del separador, combinándose con el oxígeno del aire para reducirse a agua con los electrones que captan directamente del cátodo, debido a que esta reacción no está catalizada por microorganismos el cátodo se refiere como abiótico.

La celda se fabrica en acrílico o vidrio, para los electrodos se utiliza materiales como cobre, platino, grafito u otros. El separador siendo el que impide el paso de electrones puede ser de varios tipos: membrana de intercambio de cationes (MIC), membrana de intercambio de aniones, membrana bipolar, membrana de microfiltración,

membrana de ultrafiltración, puente salino, fibra de vidrio, membranas porosas y otros materiales para filtrado. El separador más ampliamente utilizado es la MIC y entre ellas es muy común la Nafion, un producto de DuPont Inc., USA, que muestra una alta permeabilidad a los protones, que hace un sistema mucho más sencillo y de menor costo.

#### 4.2.1. Celdas microbianas: Microorganismos

- *Microorganismos en la cámara anódica:* Como inóculo para las Celdas Microbianas se pueden emplear cultivos de una especie microbiana o cultivos mixtos (consorcios). Es mejor emplear cultivos mixtos ya que generan altos potenciales y es más económico y menos exigente, por lo que se debe utilizar todos anaeróbicos y otras fuentes de comunidades microbianas. En los consorcios anódicos, las bacterias más comunes pertenecen a los géneros *Shewanella*, *Geobacter*, *Proteobacter* y *Pseudomonas*, se destacan las especies *S. putrefaciens*, *P. aeruginosa* (Buitrón & Pérez, 2015: 229) (Díaz et al, 2019: 15).
- *Microorganismos en la cámara catódica:* Entre los microorganismos sobresalen especies como *G. sulfurreducens* y *S. putrefaciens*, la mayoría de las bacterias en biocátodos son Gramnegativas, pero algunas Gram-positivas tales como *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus carnosus*, también hacen una transferencia directa de electrones. (Hurtado, Revelo, & Ruiz, 2015: 17).  
El sustrato es un aspecto

importante de la CCM porque constituye el combustible a partir del cual se genera la energía.

### 4.3. Reacciones electroquímicas de transferencia de oxígeno

La oxidación electroquímica directa de compuestos orgánicos es factible con potenciales de electrodos inferiores a los necesarios para la evolución del oxígeno en el agua. Sin embargo, tales reacciones son relativamente lentas y dependen en gran medida de la actividad electrocatalítica del material del electrodo.

En relación a la electrocatálisis sobre óxidos metálicos, se tiene que los óxidos metálicos presentan una gran estabilidad frente al ataque químico, con superficies que pueden sufrir cambios en sus estados de oxidación y también altas energías superficiales con fuertes perfiles hidrófilos. Por lo tanto, son electroquímicamente activos de bajo coste. En lo que respecta a los electrodos de dióxido de estaño, apoyados en vidrio, cuarzo o titanio, tienen propiedades ópticas y eléctricas que los dotan de un rendimiento versátil. El  $\text{SnO}_2$  prístino es un semiconductor de tipo n con abertura de banda ancha (3,87-4,30 eV), Cuando se dopan con antimonio, flúor, molibdeno, boro o bismuto, adquieren una muy buena conductividad eléctrica.

Los electrodos de dióxido de plomo, presentan buena conductividad, alta estabilidad química y grandes superficies debido a la alta rugosidad superficial y se han utilizado ampliamente para la oxidación de compuestos orgánicos. La síntesis electroquímica es la técnica más extendida para la preparación de estos electrodos simple, y consiste

en la deposición anódica del  $\text{PbO}_2$  de las sales de plomo en medios ácidos sobre diferentes sustratos metálicos. Los electrodos de  $\text{PbO}_2$  muestran un alto sobre potencial para la evolución del oxígeno, y generan eficientemente radicales hidroxilos durante el proceso de división del agua; por lo tanto, logran una transferencia de oxígeno efectiva y oxidan la materia orgánica en gran medida.

## 5. Reflexiones finales

Todo proceso define capacidades y se apoya en tecnologías particulares en función de su desempeño. En este caso se analizaron los procesos electroquímicos review, considerando las capacidades a nivel de reacciones electroquímicas, y la tecnología empleada para propiciar tales reacciones.

Es importante tener claro que estos procesos desde la perspectiva de las organizaciones, específicamente de la industria química con grandes responsabilidades en materia ambiental y sustentabilidad poseen grandes responsabilidades ambientales, humanas y éticas, en el sentido que se procesan minerales y componentes procedentes de la naturaleza y de yacimientos particulares. La degradación de contaminantes persistentes y la conversión de energía en celdas de combustible es fundamental en el estudio de estos procesos; debido a los graves problemas ambientales asociados a la eliminación de residuos sólidos urbanos.

A nivel de las tecnologías empleadas en estos procesos, resaltan métodos y técnicas altamente especialidades desde la ciencia, la tecnología y la innovación. Estas abren un nuevo umbral tecnológico hacia el desarrollo de dispositivos y herramientas

multifuncionales, dando un paso más allá de la tecnología presente en esta época.

Particularmente, la tecnología electroquímica, varían según las condiciones de funcionamiento. Fue de interés en el análisis realizado de las celdas microbianas utilizando las aguas residuales, la generación de electricidad como elemento viable; además en las celdas microbianas que se han utilizado vidrio o acrílico con diferentes sustratos y microorganismos, presentan a las mismas como solución viable para la obtención de energía y reducción de biomasa. De igual forma, este tipo de tecnología, resulta viable para la obtención de energía, que da lugar a la ampliación de la reacción de reducción de oxígeno y logra optimizar el transporte de gases y cargas.

A nivel de las técnicas electroquímicas como la electrocoagulación, han resultado viables en el tratamiento de efluentes dentro de la digestión anaerobia para la producción principalmente de metano para la obtención de energía y para la electrólisis de membrana en conjunto con la cristalización. Finalmente, se concluye que todos los productos incrementan la competitividad de la tecnología ayudando a disminuir costos.

## Referencias Bibliográficas

- Beaumont, S. (2018). *Capacidad sensora de las reacciones electroquímicas del polipirrol. Hacia el origen de la propiocepción natural y artificial*. Universidad Politécnica de Cartagena. Tesis doctoral. Escuela Internacional de Doctorado. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6919>
- Bonome, M. y Reyes, M. (2012). Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. *Telos*, 14(3), 323-332
- Buitrón, G. & Pérez, J. (2015). Producción de electricidad en celdas de combustible microbianas utilizando agua residual: efecto de la distancia entre electrodos. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 5-11.
- Campana, R. (2019). *Uso de multiinyector para electro-hilado de fibras cerámicas en aplicaciones energéticas*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0366317519300032>
- Campana, R., Sevilla, G., Herradón, C., Larranaga, A., & Rodríguez, J. (2019). Uso de multiinyector para electro-hilado de fibras cerámicas en aplicaciones energéticas. *Boletín de la sociedad española Cerámica y Vidrio*.
- Centro de Promoción de tecnologías sostenibles. (2003). *Guía Técnica de producción más limpia para curtiembres*. [www.cpts.org/prodimp/guias/curtiembres.htm](http://www.cpts.org/prodimp/guias/curtiembres.htm)
- Díaz, C. H., Palacios, N. A., Verbeeck, K., PrévotEAU, A., Rabaey, K. & Flexer, V. (2019). Membrane electrolysis for the removal of Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> from lithium rich brines. *Water Research*.
- Fernandes, A., Jesus, T., Silva, R., Pacheco, M. J., Ciriaco, L., & Lopes, A. (2017). Effluents from Anaerobic Digestion of Organic Wastes: Treatment by Chemical and Electrochemical Processes. *Treatment by Chemical and Electrochemical Processes*, 228-441.
- Hurtado, N. H., Revelo, D. M., & Ruiz, J. O. (2015). Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica.

*Información Tecnológica*, 17-28.

- Lopes, A. &. (2017). *Effluents from Anaerobic Digestion of Organic Wastes: Treatment by Chemical and Electrochemical Processes*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3620-1>
- Jaecheul, Y., Sunwon, K. & O-Seob K. (2019). Effect of applied voltage and temperature on methane production and microbial community in microbial electrochemical anaerobic digestion systems treating swine manure. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. <https://url2.cl/r3i4Y>
- Masoum, S. & Seif, S. (2019). Preparation of copper oxide/oak-based biomass nanocomposite for electrochemical hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Milanese, C., Jensen, T. R., Hauback, B., Pistidda, C., Dornheim, M., Yang, H., . . . M., B. (2018). Complex hydrides for energy storage. *international journal of hydrogen energy*.
- Moya, J. (S/F). Tecnologías electroquímicas en el tratamiento de aguas: electrocoagulación.
- Zhang, H., Wang, Y., Wu, Z. & C. Leung, D. (2017). An ammonia electrolytic cell with NiCu/C as anode catalyst for hydrogen production. *Energy Procedia*, 1539-1544.
- Zhang, H. (2017). *An ammonia electrolytic cell with NiCu/C as anode catalyst for hydrogen production*. <https://url2.cl/e5wqZ>