

ELECTROQUIMIENERGÍA (EQ.E) Y ELECTROQUIMIMATERIA (EQ.M): UNA PROPUESTA

ELECTROCHEMENERGY (EQ.E) AND ELECTROCHEMMATTER(EQ.M): A PROPOSAL

Jairo Márquez*, Olga P Márquez

Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes
Mérida-5101-Venezuela
jokkmarquez82@gmail.com

Recibido: 01-10-2021

Aceptado: 14-10-2021

Resumen

En electroquímica, dos áreas son frecuentemente tratadas y exitosamente utilizadas, son las denominadas, “Productor de Energía” y “Productor de Sustancias”, y tal como sus nombres lo indican, en el primer caso tenemos energía como producto de reacción, utilizable directamente si es requerida o almacenada (ej. combustibles, baterías) para uso posterior. En el otro caso, se trata de síntesis electroquímica de sustancias, generalmente por vía electrolítica, con consumo de energía. Sin embargo, en Electroquímica existen muchos otros procesos de aplicación diaria e igualmente exitosos, unos referidos a captura, conversión, almacenamiento, suministro, etc., de energía y otros produciendo, convirtiendo, purificando, modificando, sustancias, tal como se mostrará en este artículo, y que se podría agrupar, según esta propuesta, en áreas más abarcadoras: Electroquimienergía y Electroquimimateria, a los efectos de mayor precisión en su ubicación, interés y manejo.

Palabras clave: Productor de energía, Productor de sustancias, Electroquimienergía, Electroquimimateria

Abstract

In electrochemistry, two fields are frequently addressed and successfully used: the so-called "Energy Producer" and "Substance Producer", and as their names indicate, in the first case we have energy as a reaction product, usable directly if required or stored (e.g. fuels, batteries) for later use. In the other case, it is concerned with the electrochemical synthesis of substances, generally by electrolytic means, with energy consumption. However, in Electrochemistry there are many other processes of daily application and equally successful, some concerning with capture, conversion, storage, supply, etc., of energy and others producing, converting, purifying, modifying, substances, as it will be shown in this paper, and which could be grouped, according to this proposal, in more encompassing areas: Electrochemenergy and Electrochemmatter, for the purposes of higher precision in their location, interest, and management.

Keywords: Energy producing, Substance producing, Electrochemenergy, Electrochemmatter

Jairo Márquez: Licenciatura en Química: Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas y Universidad de Los Andes (ULA), Mérida. Venezuela. Doctorado (Ph.D. en Electroquímica): Southampton University (Inglaterra) Postdoctorado: (Electroquímica) State University of New York at Buffalo. USA. Profesor Titular e investigador Jubilado, en ejercicio, en la Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Universidad de Los Andes (ULA), Mérida - Venezuela. Su interés académico se ha centrado en: Electroquímica fundamental, Electrocatálisis, Electroquímica Industrial (incluyendo minería), Química electroorgánica, Energía solar, Electroquímica del petróleo. **Olga Márquez:** Licenciatura en Química: Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas y Universidad de Los Andes (ULA), Mérida. Venezuela. Doctorado (Ph.D. en Electroquímica): Southampton University (Inglaterra) Postdoctorado: (Electroquímica) State University of New York at Buffalo. USA. Profesora Titular e investigadora Jubilada, en ejercicio, en la Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Universidad de Los Andes (ULA), Mérida - Venezuela.

Introducción

Cuando se habla de materia y energía, necesariamente se ubica en el Universo, con sus componentes, espacio vacío, materia, energía y tiempo. Y si se incorpora a este análisis el famoso trabajo del gran Físico Albert Einstein, resumido en su ecuación universal $E = mc^2$, se entiende que el relleno espacial está compuesto de materia y energía, y que estos a su vez, son interconvertibles. La energía por su parte, identificada con la capacidad de realizar un trabajo, es cuantificada mediante la expresión $E = h \nu$, mientras que la materia se identifica con su unidad básica, el átomo o la molécula (almacén también de energía química). La energía que recibimos en el planeta tierra, procedente del Sol, es producto de una reacción nuclear en su seno, conversión de hidrógeno en helio, neutrones y energía, y responsable de la mayor fuente energética en dicho planeta y energías renovables y no renovables con que se cuenta¹⁻⁴.

La electroquímica es un área inter- y multidisciplinaria, y por tanto con variada aplicación en las ciencias naturales, ciencias de la salud, ingenierías y educación, entre otras. La electroquímica estudia procesos iónicos, procesos electródicos y fenómenos interfaciales y sus aplicaciones son variadas y extensas⁵⁻⁸. El proceso de transferencia de carga ocurre en la interface electroquímica y esto origina una corriente de naturaleza electrónica en el circuito externo (electrodos y alambres conductores) y naturaleza iónica en el medio electrolítico. El proceso que origina esa corriente como consecuencia de la reacción electroquímica que allí ocurre, sigue las leyes de Faraday y es conocido como un proceso farádico o faradaico. En referencia a sus aplicaciones de uso y producción, son dos las sub áreas identificadas como “productor de energía” y “productor de sustancias”, pero al hacer un estudio más detallado al respecto, se detecta una amplia variedad de otros procesos electroquímicos en su área de estudio e investigación, ubicables en estas sub áreas⁹. Se trata de procesos electroquímicos de uso cotidiano y que se pretende ubicar apropiadamente; en ellos la electroquímica funge como vector,

ruta, procedimiento, camino y tecnología a seguir.

PROCESOS ELECTROQUÍMICOS

Son relevantes las reacciones redox (óxido-reducción) en electroquímica y como consecuencia de ello, resultarán especies oxidadas (pérdida de electrones) y especies reducidas (ganancia de electrones). Si en el proceso redox se produce una diferencia de potencial eléctrico, como consecuencia de una reacción química, se trata de una celda Galvánica (productor de energía). Si, por el contrario, una reacción química es provocada como consecuencia de la aplicación externa de una diferencia de potencial, se tiene una celda electrolítica. Los procesos electroquímicos se caracterizan por su variedad, selectividad, relativo bajo consumo energético, controlable baja contaminación, procesos limpios, simples, sencillos, bajo costo, alta pureza, relativamente económicos.

Son variados los procesos involucrados en el área de la electroquimienergía; parte es expresado en esquemas y tablas en la sección a continuación.

ELECTROQUIMIENERGÍA

Son dos los tipos básicos de sistemas electroquímicos (productores de energía y de sustancias): (1) aquellos en los que la reacción global da lugar a productos cuyo contenido energético es menor que el de los reactivos de partida, es decir, en los que el proceso global tiene lugar “dirigido” por la espontaneidad termodinámica ($\Delta G < 0$). En estos sistemas electroquímicos, una parte significativa del cambio de energía libre se convierte directamente en energía eléctrica, sin tener que sufrir ningún ciclo térmico. A este tipo de sistemas electroquímicos se les denomina “productores de energía”. (2) aquellos en los cuales la reacción global conduce a la formación de sustancias cuyo contenido de energía libre es más elevado que el de las sustancias de partida (es decir, en los que el proceso global es forzado a ocurrir en contra de la espontaneidad ($\Delta G > 0$). A estos sistemas electroquímicos se les denomina “productores de sustancias”,

ocurre la transformación (o transferencia) directa de energía eléctrica (o química) en energía química, la cual queda “acumulada” en los enlaces químicos de los productos obtenidos. La figura 1 se refiere a la captura de energía solar (celda solar con semiconductores electroquímicos sintetizados), su conversión en energía eléctrica, su conversión y almacenamiento en el combustible hidrógeno/otros combustibles (energía química), en baterías

(energía química), Supercondensadores (carga eléctrica) y suministro y conversión en celdas de combustible (energía química a eléctrica).

La energía solar es una energía limpia, que utiliza una fuente, o combustible, inagotable y que no cuesta dinero⁸. Los sistemas electroquímicos (EQ) tienen mucho que aportar en este campo: desde el diseño y elaboración de dispositivos para la captura



Figura 1.- Parte de la actividad electroquímica en el campo energético⁹

de energía, pasando por acumuladores estáticos, con flujo, almacenamiento en químicos y aplicaciones en electrólisis, en fotoelectroquímica, celdas de combustible y suministro de electricidad en lugares remotos. Con más detalle, se puede aludir a las celdas fotogalvánicas delgadas, celdas fotoelectroquímicas, celda solar (fotovoltaica) con semiconductores catalizadores o fotosíntesis electroquímica asistida), combustibles químicos¹⁰⁻¹³. Debido a su sencillez, disponibilidad, accesibilidad, fiabilidad y operatividad, la energía solar fotovoltaica se emplea comercialmente para la generación eléctrica en el mismo lugar de la demanda, también el suministro eléctrico en zonas de difícil acceso, instalaciones de asociaciones, industrias locales, aplicaciones variadas, etc.

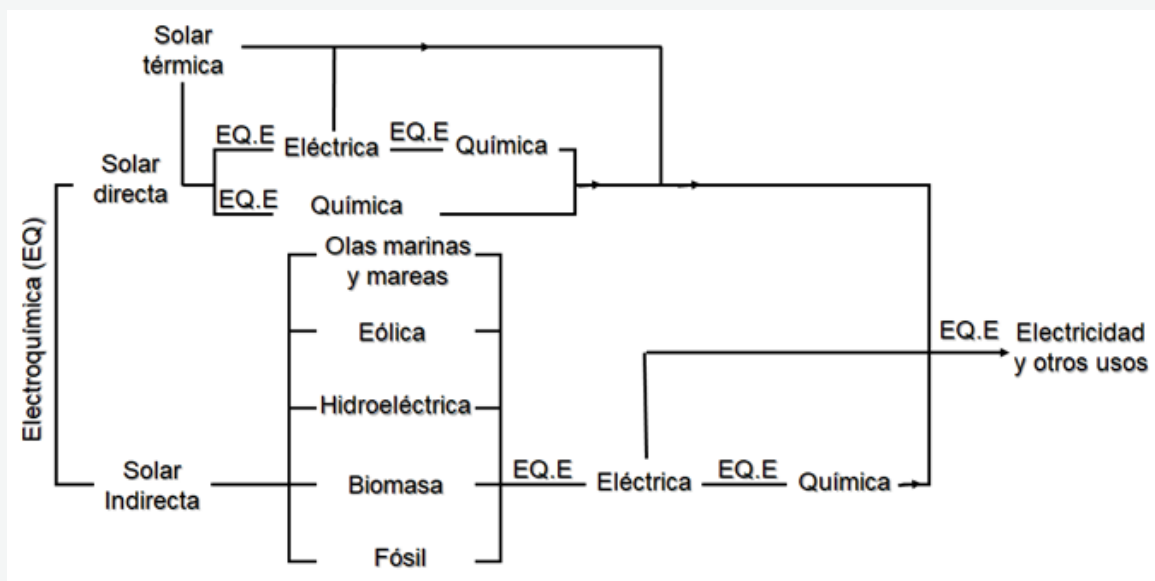
La captura directa de energía solar es utilizada para su conversión en otros tipos

de energía, por ejemplo, calor de baja temperatura, para calefacción de agua y ambientes, energía térmica elevada para electrólisis. La conversión en energía eléctrica puede hacerse con celdas fotogalvánicas delgadas, donde la luz es capturada por un absorbente, A, en una capa delgada de solución de electrolito que se encuentra entre dos electrodos.

La síntesis electroquímica de electrodos semiconductores con varias composiciones y morfologías, juega un papel crítico para la conversión de energía solar, por la generación de pares electrón-hueco con la absorción de fotones. El diseño, síntesis y caracterización de semiconductores, cristales metálicos y electrodos monocristalino para uso en dispositivos electroquímicos y fotoelectroquímicos (Celdas fotoelectroquímicas, celdas solares y electrocatálisis) es un reto importante, así como el almacenamiento de energía en compuestos químicos y baterías¹⁴⁻¹⁶.

(semiconductores) como composición química, morfología, conductividad, brecha energética, estequiometría, dopaje n o p, etc.¹⁷⁻²¹.

La propuesta actual de fuentes alternas de energía requiere también del desarrollo de dispositivos almacenadores de energía, por ejemplo, en condiciones de emergencia, de requerido alto almacenamiento, limitaciones de accesibilidad directa, funcionamiento ecológico y costo razonable. Están en desarrollo las baterías redox, entre ellas, la de Vanadio, que puede funcionar adicionalmente como celda de combustible.



La celda redox de vanadio es un sistema para generar energía eléctrica, mediante reacciones químicas reversibles que ocurren en cada semicelda. Se basa en la cualidad que ofrece el vanadio de tener varios estados de oxidación, altamente coloreados. El anolito y el catolito están separados físicamente mediante una membrana de intercambio iónico que a su vez permite el contacto eléctrico entre ellos²².

Oxígeno $\rightarrow$ Energía + Agua). Las celdas de combustible están destinadas a ser la nueva forma de generación eléctrica dado que con ellas se superan serios problemas que acechan a nuestro planeta como son: la escasez de combustible, contaminación y calentamiento global (efecto invernadero), y la excesiva centralización de la producción de la energía eléctrica. Se utiliza hidrógeno puro como combustible y aire como oxidante y se evalúa el rendimiento global del sistema.²³⁻²⁵ La figura 2 muestra las rutas de captura, conversión, almacenamiento, suministro, de energía procedente del Sol y de fuentes (energía solar indirecta) renovables y no renovables, para el suministro de energía química y eléctrica.

En la Tabla 1 se amplía el campo de la electroquimienergía al área Médica (Catabolismo: reacciones químicas conducentes a la degradación de nutrientes orgánicos a productos sencillos, con producción de energía, ATP, para suministro y normal funcionamiento del cuerpo humano, y restablecimiento, si es necesario,

de su equilibrio (Homeóstasis) cuando este se pierde. También se incluye, áreas de informática y de análisis.

Se ubican combustibles poco contaminantes en el área de energía (también de materia), por su condición de almacenadores y suplidores de ésta, cuando es requerida.

Tabla 1: Otros procesos electroquimienergéticos.^{3,4,18,21-28}

ELECTROQUIMIENERGÍA	
Catabolismo	Homeóstasis
Captura, Conversión, Almacenamiento, suministro, producción de Energía	Captura de Energías renovables
Electrosíntesis de Combustibles	Sensores, detectores, Plantas energéticas
Celdas Solares con materiales poliméricos (materiales electrónicos y dispositivos optoelectrónicos)	Dispositivos para suministro continuo de Energía. Otros dispositivos
Baterías recargables de Estado Sólido	Materiales Laser
Supercapacitores	Nanosensores, nanotransportadores, nanoinformática

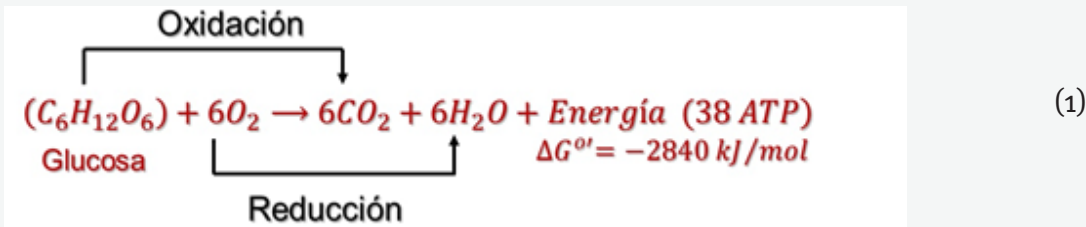
De igual manera lo hacemos con sensores, según el tipo de utilidad práctica.

Actualmente se desarrolla la fabricación por Láser de electrodos para supercapacitores de alto rendimiento, relevantes debido a su uso rápido y reversible de la energía, alta densidad de potencia, ciclo de vida largo, bajo coste de mantenimiento y respeto por el medio ambiente. La metodología

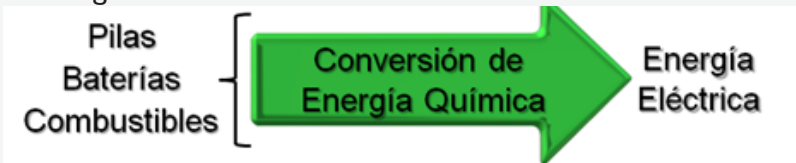
desarrollada podría ser también aplicable a baterías y sensores químicos²⁹. Con el mecanizado láser de electrolitos se mejora el rendimiento electroquímico de pilas de combustible de óxido sólido.

Se presentan ahora, cinco ejemplos representativos, del campo electroquimienergético:

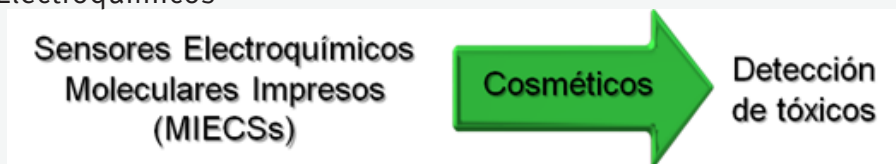
1. Catabolismo



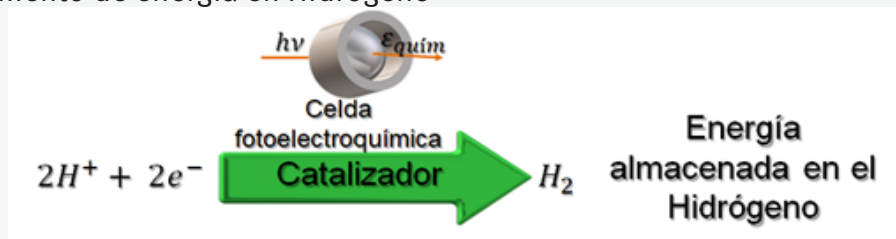
2. Conversión de energía



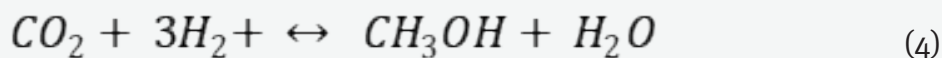
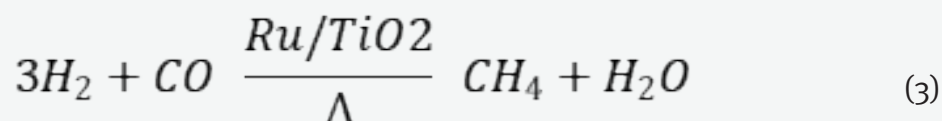
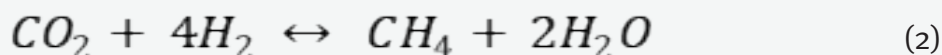
3. Sensores Electroquímicos



4. Almacenamiento de energía en Hidrógeno



5. Almacenamiento de energía en combustibles



ELECTROQUIMIMATERIA

La electroquimimateria se resume parcialmente en la figura 3³⁰⁻⁴⁶. Se representan procesos consumidores de energía tales como:

1. La electrosíntesis, por ejemplo, la producción de macromoléculas a partir de especies más simples (anabolismo en Medicina)
2. Las separaciones, extracciones, recuperación, purificación de sustancias en minerales, sales, aleaciones, óxidos, etc.,
3. Procesos de tratamiento electroquímico (recuperación, descontaminación, detoxificación, etc.).
4. Degradación electroquímica
5. Proceso de desalinización.
6. Reciclado y recuperación de metales.
7. Eliminación de metales pesados en aguas residuales
8. Electro galvanizado.

9. Eliminación de impurezas en reactivos químicos.

10. Electrorremediación de suelos.

11. Síntesis electroorgánica en química fina y productos farmacéuticos.

Tratamiento electroquímico:

se puede utilizar en el procesamiento de residuos altamente tóxicos. El proceso puede funcionar a temperatura ambiente y presión ambiental. Es una tecnología respetuosa con el medioambiente porque solamente usa electricidad. Es de Bajo costo y tecnología segura y eficiente.

Desalinización:

Eliminación de sales (amonio, sodio, sulfato, fosfato) en efluentes acuosos. Recuperación de ácidos y álcalis a partir de soluciones salinas (p.e. ácido sulfúrico, hidróxido sódico o sosa cáustica) a partir de sulfato

sódico, etc.). Ciclos de ácidos y álcalis.

Desarrollo de procesos electroquímicos para el reciclado y la recuperación de metales (Au, Ag, Pb, Zn, Ni...):

El uso de los procesos electroquímicos permite obtener metales con una alta pureza y supone una alternativa más ecológica a la pirometalurgia clásica, pues evita la emisión de gases, sulfuros y partículas metálicas

Eliminación de metales pesados en aguas residuales:

Actualmente, la existencia de metales pesados en aguas residuales constituye uno de los problemas de contaminación, más importantes, debido a la elevada toxicidad y a sus propiedades acumulativas. Respecto

a su origen, se generan casi exclusivamente en los efluentes industriales (por ejemplo, en procesos metalúrgicos, baños metálicos, tintes, colorantes, baterías, entre otros).

Otro ámbito de investigación es la síntesis electroorgánica de compuestos de química fina y de productos farmacéuticos, además de la electroquímica aplicada al medio ambiente.

El ser humano necesita el aporte continuo de una serie de sustancias que le van a permitir el normal desarrollo y funcionamiento de sus órganos y tejidos. Las funciones de los nutrientes son varias: — Energética, proporcionando la energía necesaria para la actividad vital. — Material, como fuente de materia (átomos) para construir las propias biomoléculas. — Catalítica (vitaminas,



Figura 3.- Parte de actividad en el campo de la electroquimimateria

cofactores, iones), para favorecer las conversiones metabólicas. La Bioquímica se encarga del análisis del enorme conjunto de reacciones bioquímicas que se llevan a cabo dentro de la célula (características químicas, transformaciones, composición, interrelación, de biomoléculas en células y tejidos) con la finalidad de producir energía y/o la síntesis de moléculas que el organismo necesita, lo que se denomina, catabolismo y anabolismo respectivamente. En Medicina, parte del Metabolismo Celular se ubica en la rama anabólica, que agrupa las reacciones químicas conducentes a la síntesis de macromoléculas (polisacáridos,

proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, etc.) imprescindibles para el funcionamiento y desarrollo orgánico, a partir de moléculas precursoras sencillas (monosacáridos, aminoácidos, nucleótidos). La figura 3 muestra un esquema de procesos de materia.

Síntesis electroquímica y electrólisis en general; Separación, extracción, purificación de especies químicas; Conversión de sustancias.

Los productos obtenidos en celdas electrolíticas son sustancias, tales como

hidrógeno y oxígeno en el caso de electrolisis del agua, que son altamente inestables si son puestas en contacto mutuo, o metales puros (electrometalurgia del aluminio), que son inestables en presencia de agentes atmosféricos (aportan oxígeno, humedad, y sustancias que permiten la formación de

productos derivados del metal de partida, pero con menor contenido de energía libre). La tabla 2 complementa los procesos de la electroquimimateria.

La **galvanoplastia** consiste en la electrodeposición de metales en el

Tabla 2.- Procesos electrolíticos con consumo energético, tales como: electrosíntesis; remediación, control y mejoras ambientales; extracción, separación y purificación de especies; reciclaje de especies³⁰⁻⁴⁶.

ELECTROQUIMIMATERIA	
Homeóstasis	Anabolismo
Mantenimiento, protección, belleza corporal	Producción de Drogas y Medicamentos
Tratamiento de enfermedades	Procesos instalados para descontaminación atmosférica, acuifera y de suelos
Tratamiento de desechos, purificación de procesos y remediación ambiental	Destrucción de desperdicios tóxicos
Generación y regeneración in situ de reactivos	Reconversión de gases para protección atmosférica
Industria Cloro/Soda	Producción de Hidrógeno
Manufactura de orgánicos	Manufactura de inorgánicos
Polímeros	Caracterización de materiales
Electrólisis: Recubrimientos, fraccionamiento, polimerización, etc.	
Sensores: Seguimiento y análisis in situ de diversas sustancias	
Procesos electroquímicos para extracción, purificación y producción de metales (ej. Fe, Au, Al, Cu, Zn, Sn, Mn, Ni, Mg, Li, etc.) y otros materiales y compuestos químicos necesarios para la vida	
Identificación, cuantificación, purificación, determinación de parámetros de materiales	
Vida Social y Hogareña (dispositivos alumbrado, equipos electrónicos, juguetería, seguridad y campo de la informática)	

revestimiento de un electrodo para crear sobre éste una superficie con características distintas a las del material base.

El electroformado es el proceso por el cual artículos son fabricados por acumulación de metal, mediante electrodeposición (galvanizado, enchapado, recubrimiento metálico), este se diferencia de la galvanoplastia debido a que el electroformado se realiza con el uso de moldes³⁵.

El marcado electrolítico se utiliza en los materiales que son buenos conductores eléctricos. Principalmente se utiliza para el marcado en acero inoxidable, acero, aluminio y metales duros. El marcado electroquímico es un proceso mediante el cual se marcan y rotulan superficies de metal conductor con ayuda de una corriente eléctrica, así como fluidos electrolíticos suaves.

El proceso electrometalúrgico (extracción y refinación de metales con el uso de corriente eléctrica) puede ser usado para la extracción

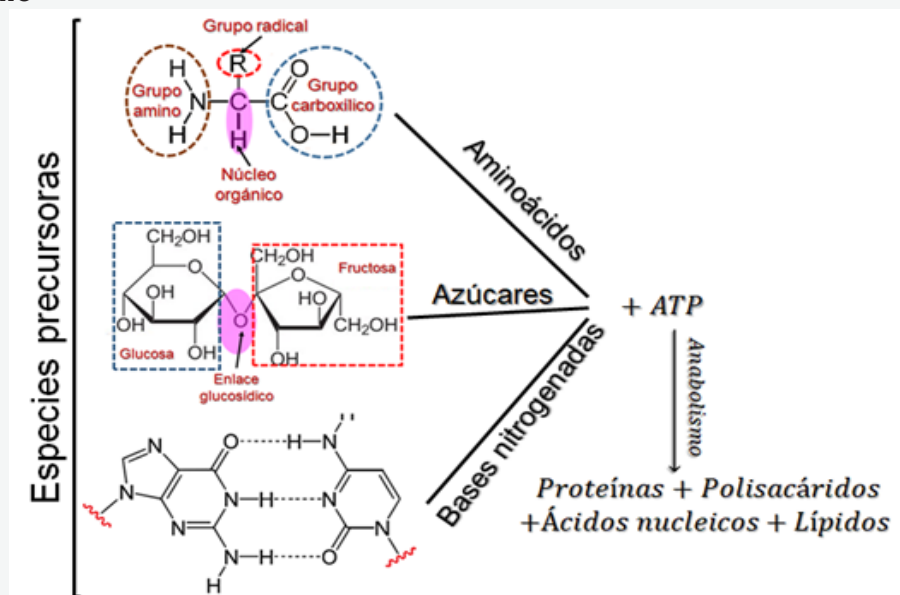
primaria de un metal de su mena (electro obtención) y para su posterior refinamiento (electrorefinación, obtención de metales de alta pureza) ^{35,36}.

La electrodiálisis consiste en el empleo de membranas selectivas de cationes o de aniones, para discriminar iones por su carga. La apropiada ubicación de estas membranas dentro de un campo eléctrico, induce el transporte de iones y permite la disolución o concentración de una sal. Aplicaciones:

-Desalinización de sueros, -Desalinización de azúcares y leches, -Desalinización de aguas salobres, -Disminución de la acidez de jugos de frutas, -Eliminación de NO, para potabilizar agua, -Regeneración de ácidos y bases a partir de sus sales, -Obtención de sal de mesa a partir de agua de mar, -Estabilización del vino.

Ejemplos representativos del campo de la electroquímica:

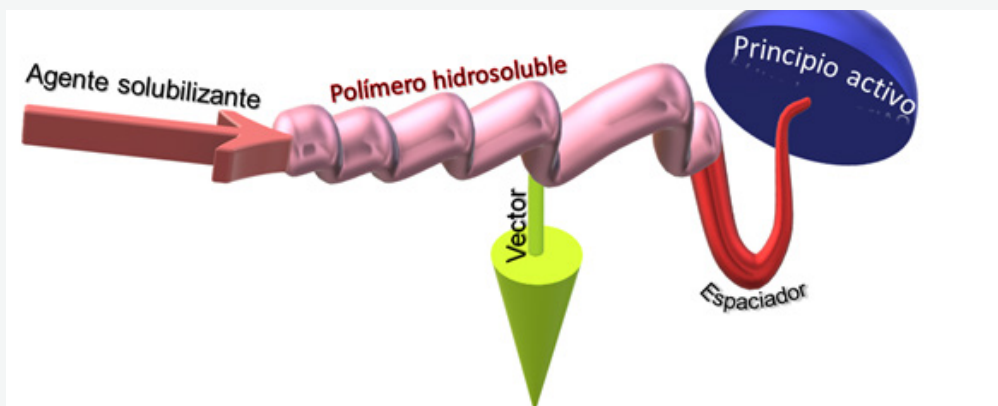
1. Anabolismo



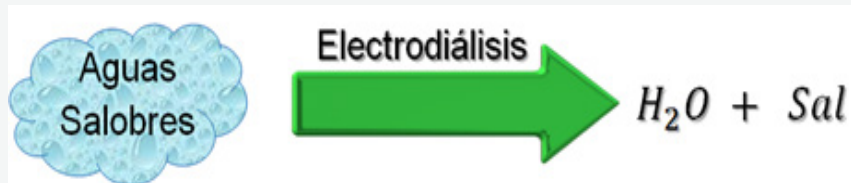
2. Nanocomposito de Níquel



3. Nanotransporte y liberación de fármacos con polímeros inteligentes electrosintetizados



4. Desalinización

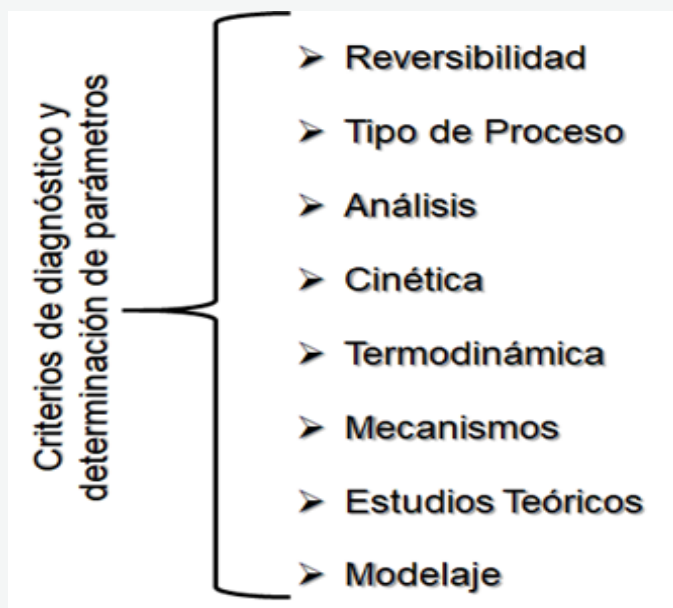


5. Obtención – Extracción -- purificación de metales



OTRAS APLICACIONES ELECTROQUÍMICAS:

Parámetros considerados de uso común en las ramas propuestas



Conclusiones

Cuando en este trabajo se propone la acuñación del término “Electroquimienergía”, se refiere a la agrupación de procesos regidos por la espontaneidad termodinámica ($\Delta G < 0$) y a ellos sumamos procesos de síntesis de combustibles para el almacenamiento y disponibilidad de energía para consumo. Es decir, se refiere al productor de energía (catabolismo en medicina), se refiere a procesos de conversión energía-energía, como la obtención de energía eléctrica o energía química en celdas solares, con semiconductores sintetizados vía electroquímica; se refiere a conversión energía química a eléctrica en pilas y baterías, celdas de combustible; se refiere a procesos de almacenamiento de energía en combustibles; nos referimos a procesos espontáneos inorgánicos, degradación electroquímica directa o indirecta (ej. formación de óxidos metálicos).

Cuando se propone la acuñación del término “Electroquimimateria”, se refiere a la agrupación

de procesos no espontáneos ($\Delta G > 0$). ; se refiere al productor de sustancias (anabolismo en Medicina), procesos de conversión materia-materia, como la obtención de macromoléculas a partir de moléculas pequeñas y consumo de energía; nos referimos a procesos de obtención, refinación, purificación, por ejemplo de metales; ; se refiere a la electrodeposición de metales (galvanoplastia); ; se refiere al electroformado (acumulación de metal con el uso de un molde, por electrodeposición (galvanizado, enchapado, recubrimiento metálico); ; se refiere a la síntesis electroquímica de productos farmacéuticos, la electroquímica aplicada al medio ambiente, al tratamiento de aguas, a la remediación de suelos, tratamientos médicos.

Finalmente, los autores agradecen de antemano, a científicos, profesionales y grupos que se interesen por esta temática, con el deseo de que quienes se identifiquen con la propuesta, se animen a contribuir con su mejora. Se espera vuestro “feedback” en el tema.

Referencias

- 1- Márquez OP, Márquez J. 2018. Solid Catalysts for Renewable Energy production. Chapter 11 in Synthesis of electrocatalysts for electrochemistry in energy. IGI-global, (S González & F Imbert, Eds.), PA, USA.
- 2- Casadevall C, Call A, Codolá Z, Acuna-Pares F, Lloret-Fillol J. 2016. Catalizadores para la conversión de energía solar en enlaces químicos. An. Quím. 112(3), 133-141.
- 3- Barbir, F. 2005. PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources. Sol. Energy 78, 661–669.
- 4- Ponce de León C, Frías-Ferrer A, González-García J, Szánto DA, Walsh FC. 2006. Redox flow cells for energy conversion. Journal of Power Sources. 160 716-732.
- 5- Bard AJ, Faulkner RL. 2001. Electrochemical methods Fundamentals and Applications., John Wiley and Sons, Inc.
- 6- Bockris JO'M, Reddy AKN. 2020. Modern Electrochemistry, Vol. 2. Edit. Reverte.
- 7- Pletcher D, Walsh FC. 1993. Industrial Electrochemistry. Blackie Academic & Professional.
- 8- Márquez J, Márquez OP. 2012. Recent Advances in Electrochemical Research, Cap. 6, Solar energy and electrochemistry. RJ Tremont editor, 169-222.
- 9- Márquez J, Márquez OP. 2018. Electroquimienergía. RITE 1(2):9-25.
- 10- Velmurugan J, Mirkin MV. 2010. Fabrication of Nanoelectrodes and Metal Clusters by Electrodeposition. Chem. Phys. Chem. 11, 3011–3017.
- 11- Márquez J, Márquez OP. 2015. Nanotecnología: Fundamentos y Aplicaciones, Cap. 5 en “Nanotecnología y Electroquímica”. Avances en Química. ISBN: 978-980-12-8382-9.
- 12- Márquez J, Márquez OP. 2012. Electrochemical synthesis of micro- and nano-electrodes and arrays. Analytical applications. In: Recent Advances in Electrochemical Research. Cap 1, R. Tremont (Ed.), Transworld Research Network, India. Cap 1, 1-37.
- 13- Murray RW. 2008. Nanoelectrochemistry: Metal Nanoparticles, Nanoelectrodes and Nanopores. Chem. Rev. 108, 2688-2720.

- 14- Mayer MT, Lin Y, Yuan G, Wang DW. 2013. Forming Heterojunctions at the Nanoscale for Improved Photoelectrochemical Water Splitting by Semiconductor Materials: Case Studies on Hematite. *Acc. Chem. Res.* 46, 1558-1566.
- 15- Manfredy L, Márquez OP, Márquez J, López Rivera SA, Martínez Y, Balladores Y. 2014. Electrosynthesis and Characterization of a CuInS₂ good absorber semiconductor for thin film solar cell. *ARN J SCI TECH.* 753-JST, 4(8).
- 16- Márquez OP, Márquez J. 2012. Electrochemical synthesis, electrical and optical properties and application of organic semiconductors. *Recent Advances in Electrochemical Research*, Tremont R (Ed.), Transworld Research Network, India.
- 17- Díaz Acosta CM. 2014. Preparación de Fotoánodos para la construcción de Celdas Solares Gratzel empleando placas de Ti recubiertas con nanotubos de TiO₂. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.
- 18- Márquez J, Márquez OP, Weinhold E, Márquez K. 2021. Hidrógeno desde la Energía Solar (Con Electroquímica). *RITE* 4(1)20-37.
- 19- Lewis NS. 2001. New Directions and Challenges in Electrochemistry: Frontiers of Research in Photoelectrochemical Solar Energy Conversion, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 508, 1-10.
- 20- Meissner D. 1999. Solar Technology - Photoelectrochemical Solar Energy Conversion, In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, German: Electronic Release.
- 21- Oregan B d, Graetzel M. 1991. A Low-Cost High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films, *Nature*, 353, 63-46.
- 22- Márquez K, Márquez OP, Márquez J. 2014. Diseño de Celda Redox de Vanadio y Sistema con Flujo de Electrolito. *Observador del conocimiento.* 2(6) 111-118.
- 23- Barreras F, Lozano A. 2012. Hidrógeno: Pilas de Combustible de tipo PEM. Universidad de Zaragoza, España. www.energia.es.
- 24- Aricò AS, Srinivasan S, Antonucci V. 2001. DMFCs: From Fundamental Aspects to Technology Development. *FUEL CELLS*, 1(2) 133-161.
- 25- Carrette L, Friedrich KA, Stimming U. 2001. Fuel Cells: Fundamentals and Applications. *FUEL CELLS*, 1(1) 5-39.
- 26- Brooks KP, Hu J, Zhu H, Kee RJ. 2007. Methanation of carbon dioxide by Hydrogen reduction using the Sabatier process in microchannel reactors. *Chemical Engineering Science*, (62)1161-1170.
- 27- Görke O, Pfeifer P, Schubert K. 2005. Highly selective methanation by the use of a microchannel reactor. *Catalysis Today* (110)132-139.
- 28- Panagiotopoulou P, Kondarides DI, Verykios XE. 2008. Selective methanation of CO over supported Ru catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, (88)470-478.
- 29- García Lebière P, Pérez del Pino A, Guillem Domènech D, Constantin L, Martínez-Rovira I, Ibraheem Yousef and Enikő György. 2021. Laser fabrication of hybrid electrodes composed of nanocarbons mixed with cerium and manganese oxides for supercapacitive

energy storage. J. Mater.Chem. A, DOI: [https://doi.org/10.1039/ DoT A06756C](https://doi.org/10.1039/DoT A06756C).

- 30- Sequeira CAC, Santos FMD. 2009. Electrochemical Routes for Industrial Synthesis, J. Braz. Chem. Soc., 20(3), 387-406.
- 31- Michael J, Sircar S. 2011. Fundamentals of Medical Physiology. Joel Michael Editor, Thieme Medical Publishers, Inc.
- 32- Tojanovic de Malpica D. 2012. Bioquímica Básica (Propedéutico de Odontología). Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad central de Venezuela, Caracas – Venezuela.
- 33- Santa CF, López Osorio BL. 2013. Materiales poliméricos en nanomedicina: transporte y liberación controlada de fármaco. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (142): 115-124. ISSN 0370-3908.
- 34- Núñez RO, Jáuregui Haza UJ. 2012. Las Nanopartículas como portadores de fármacos: Características y perspectivas. CENIC. 3(43), 43-68.
- 35- Restrepo O. 2018. Notas de clase de la asignatura: Metalurgia Extractiva. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.
- 36- Sancho J, Verdeja L, Ballester A. 2000. Metalurgia Extractiva Vol. II. Procesos de Obtención. Ciencias Químicas: Química Básica. Editorial Síntesis.
- 37- Paunovic P. 2011. Electrometallurgy: electrochemical, economic and environmental (3e) aspects. Faculty of Technology and Metallurgy University Ss. Cyril and Methodius. Skopje, Republic of Macedonia.
- 38- Ballester A, Verdeja LF, Sancho J. 2000." Metalúrgica extractiva". Ed. Síntesis S. A. 1a Ed. Madrid (España). ISBN: 8477388032
- 39- Tian JH, Yang Y, Zhou XS, Schçllhorn B, Maisonhaute E, Chen ZB, Yang FZ, Chen Y, Amatore C, Mao BW, Tian ZQ. 2010. Electrochemically Assisted Fabrication of Metal Atomic Wires and Molecular Junctions by MCBJ and STM-BJ Methods. Chem. Phys. Chem. 11, 2745 – 2755.
- 40- Kim SN, Rusling JF, Papadimitra kopoulos F. 2007. Carbon nanotubes for electronic and electrochemical detection of biomolecules. Adv Materials. 19, 3214–3228.
- 41- Pumera M, Sanchez S, Ichinose I, Tang J. 2007. Electrochemical nanobiosensors. Sensors and Actuators B-Chem. 123, 1195–1205.
- 42- Said N, Twomey K, Ogurtsov VI, Arrigan DWM, Herzog G. 2011. Fabrication and electrochemical characterization of micro and nanoelectrode arrays for Sensor Application. J. Phys: Conference Series. 307(1), 012052.
- 43- Kubo I. 2002. Potentiometric phosphate-sensing system utilizing phosphate-binding protein. Anal. Bioanal. Chem. 372, 273-275.
- 44- Laschi S, Mascini M. 2002. Disposable electrochemical immunosensor for environmental applications. Ann. Chim. 92, 425- 433.
- 45- Mascini M, Palchetti I, Marrazza G. 2001. DNA electrochemical biosensors. Fresenius J.

Anal. Chem. 369, 15-22.

- 46- Barry RC, Lin Y, Wang J, Liu G, Timchalk ChA. 2009. Nanotechnology-Based Electrochemical Sensors for Biomonitoring Chemical Exposures. J Expo Sci Environ Epidemiol.19 (1): 1–18.