MIEM
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINERÍA

GABINETE PRODUCTIVO

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA

Investigación, desarrollo y aplicación

CAPÍTULO ENERGÍA

Montevideo, Agosto 2015

Prólogo

¿Qué es la Nanotecnología? La Nanotecnología es la rama de la tecnología que se basa en los procesos de diseño, mejora y modificación de los materiales a escala nanométrica (una milmillonésima parte de un metro). Es la aplicación del conocimiento científico para medir, manipular, controlar e incorporar materiales y/o procesos típicamente por debajo de los 100 nanómetros, escala en donde los fenómenos dependientes del tamaño usualmente permiten nuevas aplicaciones.

Estos nanomateriales podrán estar incluidos en variados rangos de concentración en fluidos o matrices de otros materiales, con la condición de que su incorporación modifique la naturaleza de alguna de las propiedades físicas o químicas que dichos materiales presenten en ausencia de los primeros.

Aplicaciones de la nanotecnología. La nanotecnología tiene aplicaciones en campos como la Física, la Química, la Medicina, la Ingeniería y la Mecánica, entre otros. Su desarrollo permite la mejora de muchos productos y abre nuevas posibilidades de utilización de los recursos. En el ámbito industrial, la nanotecnología presenta tres grandes áreas de aplicación. La primera se corresponde con la de los nanomateriales, es decir trabaja sobre las materias primas del proceso productivo, la segunda hace referencia a los nanointermediarios o insumos que son parte del proceso siendo instrumento para lograr determinado resultado, y la última se concreta en nanoproductos siendo estos posibles productos finales.

Índice

1. Introducción....4

2. Gabinete Productivo y Consejos Sectoriales....6

3. Consejo Sectorial de Nanotecnología....7

4. La Nanotecnología aplicada a la Energía....7

4.1 Energía Solar Fotovoltaica....8

4.1.1 Semiconductores Nanoestructurados....9

4.1.2 Pigmentos Naturales....10

4.1.3 Nanoestructuras en base a Semiconductores Inorgánicos....11

4.2 Energía Solar Térmica....12

4.2.1 Superficies Selectivas para Energía Solar Térmica....13

4.3 Generadores y Almacenadores de energía....13

4.3.1 Baterías Ión-Li....14

4.3.2 Baterías Ni-MH y almacenadores de hidrógeno....14

4.3.3 Electrocatalizadores para ánodos en celdas de combustible tipo PEM....16

4.4 Soportes Nanoestructurados aplicados a la producción de Biodiesel....19

Actores: Grupos de investigación y Empresas....21

Links....22

Listado de figuras....22

1. Introducción

Con el objetivo de difundir los avances de la Nanotecnología en el Uruguay, este informe realiza una breve descripción del tipo de Nanotecnología que se desarrolla o aplica en el país. Se identifican las líneas de investigación existentes en el ámbito académico, los grupos de investigación vinculados y las empresas que desarrollan o aplican Nanotecnología en sus procesos y/o productos.

Otro de los objetivos de este trabajo es sensibilizar sobre el potencial de desarrollo de esta tecnología para mejorar la calidad de vida de las personas y agregar valor y calidad a los productos existentes en el mercado. Promover además la visualización por parte del sector empresarial u otras instituciones, de las posibilidades de vincularse con la academia e incorporar esta tecnología para la resolución de sus problemas productivos o sociales.

La Nanotecnología en Uruguay se encuentra en una fase de crecimiento y aplicación incipiente. A nivel de investigación, se identifica a la Universidad de la República (UDELAR) como la institución con mayor producción científica, donde se concentran la mayoría de los grupos de investigación vinculados al desarrollo de la Nanotecnología.[1] Junto a la UDELAR, trabajan grupos de investigación del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE), el Instituto Pasteur de Montevideo y la Universidad ORT, en el desarrollo de esta tecnología.

Se relevaron también diversas instituciones que promueven el vínculo de los investigadores con los empresarios para la elaboración de proyectos de investigación aplicada a problemas puntuales de las empresas. Un claro ejemplo de la vinculación con el sector productivo es Cryssmat lab. y el Centro NanoMat perteneciente al Polo Tecnológico de Pando de la Facultad de Química, que al momento ha desarrollado un producto que salió al mercado y está trabajando conjuntamente con otras empresas en la concreción de nuevos productos.

Para promover estas acciones hay varias instituciones nacionales que apoyan y financian parte de estos proyectos (por ejemplo Agencia de Investigación e Innovación (ANII), Fondo Sectorial de Energía (FSE-MIEM), Comisión Sectorial de Investigación Científica de la UDELAR (CSIC), Ministerio de Educación y Cultura (MEC), Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA) , etc.).

---

1 Cabe destacar que alguno de estos grupos ya se han vinculado con empresas en proyectos de investigación y han logrado colocar productos en el mercado o están en camino de realizarlo.

Esta publicación es una iniciativa del Consejo Sectorial de Nanotecnología en el que participan los grupos de investigación, emprendimientos, ministerios e instituciones públicas y privadas, en coordinación con el Ministerio de Industria, Energía y Minería.

2. Gabinete Productivo y Consejos Sectoriales

En el año 2008, con el objetivo de consolidar el proceso de crecimiento económico con justicia social iniciado en el 2005, se constituyen los Consejos Sectoriales dentro del Gabinete Productivo. Comienza así un importante trabajo de coordinación inter-Ministerial que desemboca en una primera definición de políticas sectoriales (para 13 cadenas de valor), contenida en los informes Cadenas de Valor I y II, y Medidas para el Desarrollo de las Cadenas de Valor.[2]

Estos documentos complementan los diagnósticos y propuestas de política contenidos en las Directivas de la Estrategia Industrial enfocada al desarrollo y adquisición de base tecnológica (MIEM) publicado en el 2008, y en el informe de prospectiva Estrategia Uruguay Tercer Siglo - Aspectos Productivos (OPP) del 2009.[3]

En el año 2010, la propuesta de conformación de los Consejos Sectoriales (ámbitos tripartitos de coordinación entre gobierno, trabajadores y empresarios) para la definición de políticas sectoriales, se enmarca en esta búsqueda de mejoras en el desempeño sectorial a través de la coordinación entre los sectores público y privado. El trabajo en conjunto procura definir metas, herramientas, indicadores, y presupuesto en base a objetivos que permitan evaluar los resultados alcanzados). El eje de intervención de los Consejos Sectoriales tiene como objetivo central la consolidación a futuro del ciclo de expansión e inclusión social de la economía uruguaya.

Los Consejos Sectoriales se constituyen así en una herramienta de difusión y acción del Uruguay Productivo, dotando de un significado coherente, en un mismo plan estratégico, al conjunto de programas ya existentes.

La fijación de metas claras en torno a objetivos estratégicos permite identificar la forma en la que la política industrial, más allá del incremento en los agregados macroeconómicos (crecimiento, empleo e inversión extranjera directa), se orienta en torno a su última razón de ser: la consolidación de una nueva estructura productiva que nos permita consolidar un Uruguay cada vez más inclusivo.

---

2 http://www.miem.gub.uy/consejos-sectoriales

3 http://www.miem.gub.uy/documents/10192/6326098/estrategiauruguaytercersiglo-aspectosproductivos-2009.pdf

3. Consejo Sectorial de Nanotecnología

En particular el Consejo Sectorial de Nanotecnología surge como tal de la apertura del Consejo Sectorial de Bio y Nanotecnología en el año 2012.

Se hace notar la falta de conformación tripartita en este Consejo por el incipiente desarrollo del sector productivo del área. Por lo que lograr la representación de los trabajadores y de más empresas del sector, se constituye en una meta a alcanzar en el corto y mediano plazo.

El Consejo Sectorial de Nanotecnología actualmente está formado por diversos grupos que vinculan su aplicación en ramas como la Energía, la Salud, y el Medio Ambiente así como también en materiales aplicados a otras áreas.

En esta edición el informe se enfocará en los grupos que trabajan desarrollando o utilizando tecnologías que son aplicadas a la rama de la Energía.

4. La Nanotecnología aplicada a la Energía

Uruguay se ha comprometido a alcanzar, en el 2015, una matriz energética basada en un 50 % de fuentes de energías renovables. La preocupación por la escasez de los recursos energéticos convencionales y las consecuencias medio ambientales de su uso, hace imperiosa la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes y con la posibilidad de ser incorporadas en términos económicos. Existen diversos grupos de investigación trabajando para desarrollar, adaptar y mejorar tecnologías que promuevan el uso de energéticos renovables y autóctonos. El campo de la Nanotecnología aumenta las posibilidades de obtener nuevos materiales, con nuevas propiedades para el desarrollo de nuevas soluciones energéticas. La investigación y la formación de recursos humanos con el fin de adaptar tecnologías, es de interés nacional.

En las distintas investigaciones relevadas se busca evaluar en primera instancia el desempeño de nuevos materiales que sean más económicos o más eficientes a los actualmente disponibles, con el fin de contar con un eventual producto final más accesible para la sociedad y el sistema productivo.

A continuación, se presentan las distintas líneas de investigación de Nanotecnología desarrolladas en Uruguay, en el área de Energía.

Entre ellas se identifican aplicaciones en energía Solar Fotovoltaica, otras que se centran en tecnologías que permiten almacenar Hidrógeno y generar energía, otras que logran mejoras en los catalizadores electroquímicos de baterías Ión-Litio, así como uso de soportes para catálisis enzimática en la producción de Biodiesel.

4.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Este tipo de tecnología se usa para alimentar aparatos autónomos, para abastecer viviendas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución.

Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

Las celdas de Grätzel o Dye- Sensitized solar cells (DSSC), son un tipo de celda solar basadas en el uso de pigmentos capaces de captar fotones para la generación de energía. En la actualidad el uso de este tipo de celdas representa una alternativa viable de bajo costo, que coexiste con los tradicionales paneles solares de silicio.

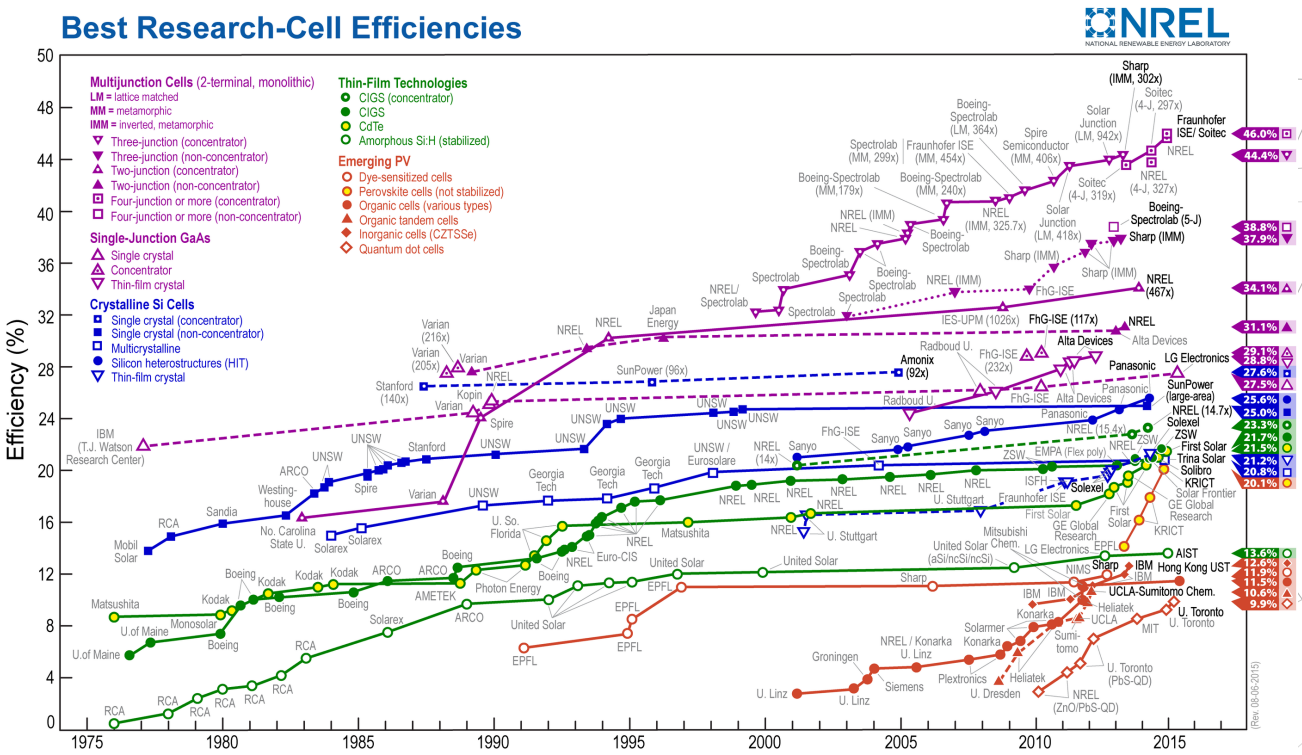

Figura 1. Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas (fuente: National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos)

Desde mediados los 70´s, luego de la crisis de petróleo, el desarrollo de las tecnologías alternativas tuvo un impulso importante. Es así que se inicia la investigación en celdas fotovoltaicas. La evolución de las tecnologías y la mejora alcanzada en la eficiencia de estas celdas ha mantenido un continuo crecimiento, en particular en las celdas de óxido de titanio (como se puede observar en rojo en la Fig. 1).

Las Celdas Solares Sensibilizadas con Colorantes generan energía a través del uso de óxido de titanio nano-estructurado, que permite disponer una muy buena superficie donde anclar colorantes con diferente poder de absorción en el espectro solar. Las mismas utilizan nano partículas de anatasa (Fig. 2, una estructura cristalina diferente a la forma más común denominada rutilo). Se usan nanopartículas, porque tienen mayor superficie por unidad de masa, y de esta forma permiten adsorber más colorante. Cuanto más colorante se adsorba, por gramo de anatasa, más posibilidad de absorber la radiación solar. Esto influencia directamente la eficiencia de conversión de radiación solar a energía eléctrica.

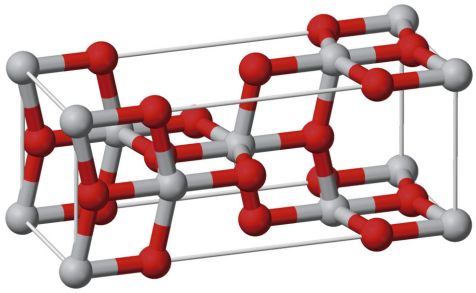

Figura 2. Estructura cristalina de la Anatasa, forma mineral de TiO2

4.1.1 Semiconductores Nanoestructurados

Las celdas solares modificadas a nivel nanoestructural tienen propiedades, tanto ópticas como de reactividad de superficie, que las hacen diferentes a las celdas con óxido de titanio convencional.

En el Centro Nanomat [4] se está trabajando en la preparación, caracterización y simulación de este tipo de celdas solares.

Específicamente trabajan en variantes a la anatasa, utilizando otro tipo de nano-estructuras basadas en otras formas cristalinas. Un ejemplo, son los nanotubos de bronze-titanato. Estas estructuras son

[4] El grupo de Alvaro Mombrú y Ricardo Faccio del Centro Nanomat está trabajando en la preparación, caracterización y simulación de este tipo de celdas solares.

tubulares, con doble pared, lo cual permite adsorber moléculas de colorantes dentro y fuera del tubo.

El tubo permite la conducción de energía eléctrica en sentido axial, por lo que mejora la conductividad y evita pérdidas, en comparación con la conducción en la anatasa convencional, dónde la conducción eléctrica se da por el contacto entre granos mayormente cúbicos.

En lo que refiere a los aspectos de reactividad superficial, para que un colorante se absorba a una superficie, debe darse una reacción denominada de adsorción superficial. Cuanto mayor es la energía de adsorción superficial, más fuertemente interaccionará el colorante con el óxido de titanio, generando una interacción más fuerte. Se ha realizado cálculos teóricos, utilizando modelos basados en nanotubos de bronze-titanato, adsorbiendo moléculas comunes. Se ha encontrado que la energía con la cual se adsorben estos colorantes sobre superficies de bronze-titanato es muy similar a la energía de adsorción de anatasa. Lo cual es auspicioso, ya que confirma la viabilidad química, desde el punto de vista de a la adherencia superficial.

Analizando aspectos como el óptico, dependiendo del tipo de nanoestructura y el tipo de colorante, la absorción de radiación solar es diferente. El grupo ha trabajado buscando colorantes y utilizando titanatos elaborados por ellos mismos, para que el rango de adsorción sea el más amplio posible. Lo que permite capturar la radiación solar en su más amplio espectro, y esto repercute en una mayor eficiencia de la celda solar, aprovechando así el máximo de energía que proviene del sol.

En suma, se está trabajando en nano-estructuras que ofrezcan buena superficie, y una dirección cristalina, donde se tenga un mejor comportamiento eléctrico.

4.1.2 Pigmentos Naturales

La búsqueda del aprovechamiento de recursos naturales de nuestro país, ha llevado al desafío de investigar el uso de pigmentos naturales abundantes en el mismo y evaluar la posibilidad de darles diferentes aplicaciones.

Actualmente el laboratorio de Biomateriales [5] se encuentra trabajando en el ensamblado de diferentes pigmentos naturales (ficocianina de Spirulina spp., antocianinas de la flor del ceibo, pigmentos provenientes de algas antárticas) al semiconductor nanoestructurado de dióxido de titanio. Esto permite el armado de celdas con diferentes pigmentos naturales, lo cual tiene por

[5] Integrantes: Dra. Fernanda Cerdá y Lic. Paula Enciso. Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Ciencias de la UDELAR

finalidad la comparación de las eficiencias energéticas de las celdas. El Laboratorio de Biomateriales posee el equipamiento necesario para el ensamblado y la evaluación de este tipo de celdas en su funcionamiento tanto en oscuridad como bajo radiación de luz solar (entregada por un simulador de la misma). Se trabaja en este tema junto a dos organismos financiadores diferentes, la ANII (a través de su Fondo Sectorial de Energía) y el Instituto Antártico Uruguayo. Internacionalmente se trabaja en colaboración con el grupo liderado por el Prof. Michael Grätzel (EPFL, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suiza) y el grupo del Prof. Michael Wörner (KIT, Karlsruher Institut für Technologie, Alemania).

El tipo de celda estudiada tiene como característica una eficiencia no muy buena, pero como contraparte tiene muy bajo costo, comparativamente con otras celdas y utiliza materiales fácilmente accesibles, lo que hace interesante su estudio.

4.1.3 Nanoestructuras en base a Semiconductores Inorgánicos

También es posible obtener celdas fotovoltaicas nanoestructuradas en base a semiconductores inorgánicos. Para ello se suelen utilizar nanovarillas (cilindros de diámetros de unas pocas decenas o centenas de nanómetros y largos del orden de hasta algunos micrómetros), de óxidos semiconductores sensibilizadas con otros semiconductores inorgánicos. Un óxido usado en esta geometría es el óxido de zinc (ZnO). Este material tiene muy diversas aplicaciones, pero la mayoría de ellas se basan en que es un óxido semiconductor transparente. Tiene otras muy diversas y versátiles propiedades. Una de ellas es que es un semiconductor directo, lo que implica que es capaz de emitir luz. De hecho, es un semiconductor muy parecido al nitruro de galio (GaN) con que se preparan los LEDs (Dispositivos Emisores de Luz) azules, violetas y a partir de ellos los blancos. Adicionalmente el ZnO puede emitir luz en toda la región de espectro visible, según las condiciones de preparación.

Pero como el ZnO es transparente, debe sensibilizarse con otros semiconductores para ser usado en celdas fotovoltaicas. El Grupo de Física del Estado Sólido de Facultad de Ingeniería, principalmente a través del proyecto CSIC I + D 2010 "Materiales Nanoestructurados para Conversión de Energía", ha preparado y estudiado nanoestructuras en base a estos nanohilos sensibilizados con teleruro de cadmio (CdTe), sulfuro de cadmio (CdS) y y óxido de cobre (Cu2O). La posibilidad de tener celdas fotovoltaicas de nanovarillas de ZnO sensibilizadas con Cu2O, es muy atrayente para tener celdas

completamente preparadas completamente con óxidos semiconductores, que serían más amigables con el medio ambiente. Y preparar estas nanoestructuras con ZnO, CdS y CdTe permitiría la posibilidad de emular las celdas de películas delgadas de estos materiales.

La geometría en base a nanovarillas tiene varias ventajas frente a la geometría convencional de celdas semiconductoras planas (como las de silicio o las películas delgadas antes mencionadas). Entre ellas se destacan la posibilidad de usar materiales y técnicas menos costosas que las que se precisan en las celdas mencionadas anteriormente. Además, permitiría geometrías que manejan más eficientemente la luz y su conversión en energía eléctrica. Este acercamiento (celdas muy eficientes y de bajo costo), se denomina celdas solares de tercera generación.

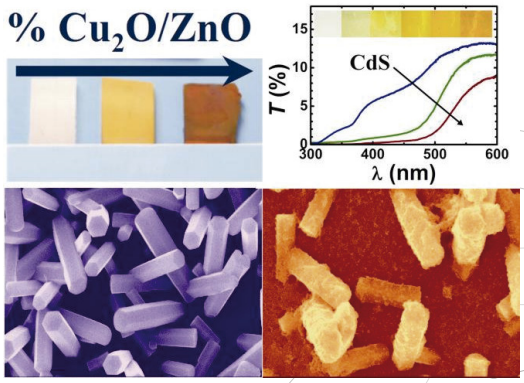

Figura 3. Muestras de nanovarillas de ZnO sensibilizadas con Cu2O (arriba a la izquierda), y con CdS (arriba a la derecha), junto con sus espectros característicos. Abajo se muestran micrografías de estas nanovarillas sin sensibilizar (a la izquierda y sensibilizadas (a la derecha).

4.2 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es una muy abundante en nuestro territorio. Este tipo de tecnología se usa para calentamiento de ACS y otras aplicaciones.

La Política Energética en Uruguay establece la necesidad de diversificar la matriz energética, especialmente a partir de energías renovables y autóctonas. En ese marco, la Energía Solar es una de las fuentes a desarrollar en el Uruguay.

Se viene trabajando a nivel de la Política energética para el desarrollo tanto de la Energía Solar Fotovoltaica, como de la Energía Solar Térmica. Y en este marco analizando los potenciales para desarrollo de tecnologías que a mediano plazo tengan una baja de costos y aumento de rendimiento, que redundará en una mayor incorporación de esta fuente energética.

4.2.1 Superficies Selectivas para Energía Solar Térmica

EL Grupo de Física del Estado Sólido también ha preparado y estudiado superficies selectivas para la conversión de energía solar en energía térmica. Estas superficies nanoestructuradas se preparan usando matrices nanoporosas en las que se incorporan pigmentos (usualmente metálicos). La matriz nanoporosa preferida es alúmina (Al_2O_3) ya que se preparan sobre chapas de aluminio. De esta forma se consigue absorber la energía del espectro solar sin reemitir radiación térmica (efecto invernadero). Dado que el aluminio es metálico, evita la emisión de energía térmica (baja emitancia térmica), mientras que la nanoestructura consigue una alta absorción del espectro solar (absorptancia solar).

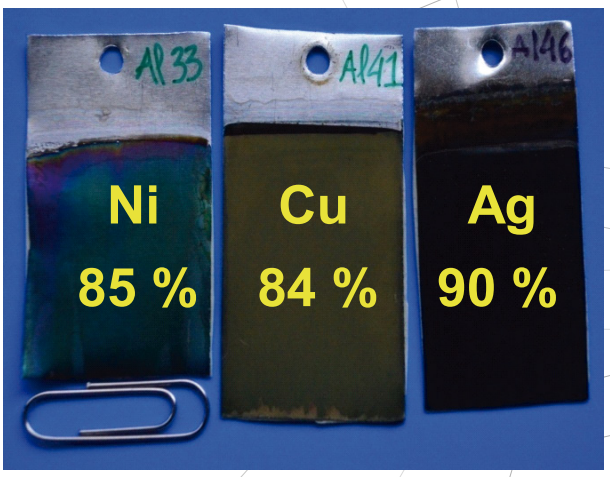

Figura 4. Superficies s Selectivas en base a Al_2O_3 con incorporaciones de níquel (Ni), cobre (Cu) y plata (Ag), y las respectivas absorptancias solares.

4.3 Generadores y Almacenadores de energía

Como punto de partida, el desarrollo de tecnologías alternativas promete superar problemas críticos existentes hoy en los sistemas de transporte basados en motores de combustión interna, principalmente aquellos relacionados con las emisiones y con la dependencia de los combustibles fósiles.

El uso de vehículos eléctricos que permitan utilizar energéticos renovables, está siendo impulsado en varios países del mundo, debido a la necesidad de disminuir las emisiones gaseosas y sonoras provenientes de motores de combustión. El uso de generadores y almacenadores de energía adecuados y la elección en el tipo de baterías, es el punto decisivo en el desarrollo y aplicación de estos vehículos.

4.3.1 Baterías Ión-Li

Entre todos los tipos de baterías de alta performance actualmente disponibles para estos vehículos, las de litio-ión resultan ser las más interesantes porque cubren en la forma más eficiente las propiedades inherentes a la distribución energética. Sin embargo, su alto costo convierte al vehículo eléctrico o híbrido, en poco competitivo comparado con los vehículos convencionales.

Otro uso interesante para las baterías de litio-ión es como baterías para smartphones, en los que por utilizar electrolitos no líquidos, no tienen el riesgo de incendio o explosión que tienen los electrolitos líquidos.

Estos ejemplos permiten entender la aplicación de la Nanotecnología en tecnologías para usos cotidianos como son el transporte y las telecomunicaciones.

Por otra parte, los nanomateriales de Litio sirven para mejorar la capacidad de almacenamiento de carga eléctrica, lo cual se logra en parte al uso de fases nanocristalinas. En un nuevo proyecto financiado por ANII, el grupo de Ricardo Faccio del Centro Nanomat se aboca a preparar estructuras del tipo LiFePO4, que contienen canales y huecos importantes para una mejor conductividad del ión Litio. Luego, mediante técnicas químicas se logra el recubrimiento conductor, que permite disponer de un electrodo positivo (cátodo) de características relevantes para su uso en tecnologías de almacenamiento de energía.

4.3.2 Baterías Ni-MH y almacenadores de hidrógeno

En los últimos diez años ha habido un interés constante por el desarrollo de las celdas de combustible, justificado en parte por el problema creciente de la contaminación ambiental.

La conversión directa de energía química en energía eléctrica en una celda de combustible ofrece un mejor aprovechamiento de la energía.

Con el objetivo de desarrollar el uso de hidrógeno como combustible en vehículos, se busca desarrollar y diseñar contenedores apropiados para su almacenamiento y transporte.

Si bien desde el punto de vista energético, entre todos los combustibles, el hidrógeno es el que posee la máxima relación energía/peso, la relación energía/volumen es baja. El volumen que ocupa un combustible es un factor importante para su almacenamiento y transporte. Con respecto al hidrógeno, la energía consumida para su almacenamiento y transporte debe ser mínima para

poder maximizar la energía llevada para realizar trabajo. El almacenamiento es probablemente la etapa más importante y para ello se requiere emplear un método que densifique al hidrógeno para transportarlo en forma segura y poco onerosa.

En este sentido, el almacenamiento de hidrógeno en aleaciones formadoras de hidruro se presenta como una posibilidad factible en vistas de las dificultades propias del almacenamiento del hidrógeno como gas o como líquido. Estos hidruros metálicos pueden ser utilizados también en vehículos como almacenadores de hidrógeno para ser posteriormente utilizados en celdas de combustible de H2/O2.

La investigación del grupo de Ingeniería Electroquímica de la Facultad de Ingeniería se enmarca en el estudio de la capacidad de almacenamiento de hidrógeno a partir de fase gaseosa y electroquímica, en hidruros tipo AB2 y AB5.

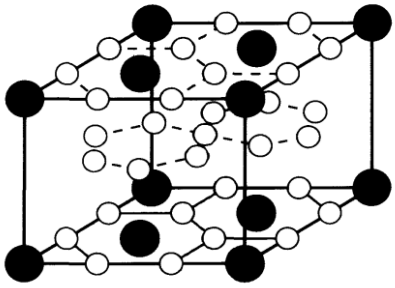

Figura 5. Estructura AB5

En la figura se observa la Estequiometria cristalina AB5 para círculos negros atomos A (lantano) y círculos blancos atomos B como almacenadores de hidrogeno.

Actualmente, el Núcleo Interdisciplinario de Ingeniería Electroquímica trabaja en colaboración con el Departamento de Materiales Metálicos y Nanoestructurados (MMyN - CAB) con sede en el Centro Atómico Bariloche (CAB). El mismo cuenta con antecedentes en el estudio y la búsqueda de nuevas aleaciones que almacenen energía por medio del hidrógeno. Esta experiencia sumada a la del Dr. Fabricio Ruiz, Dr. Diego Cucuesta y Dr. Maximiliano Melnichuk, junto con la del Dr. Ricardo Faccio (DETEMA, Facultad de Química) en la preparación de aleaciones y estudio cristalográfico de las mismas, permitirá sintetizar y caracterizar con éxito los compuestos del tipo AB2 y AB5 logrando mayor capacidad de almacenamiento de energía y resistencia al ciclado.

4.3.3 Electrocatalizadores para ánodos en celdas de combustible tipo PEM

La conversión electroquímica de energía es una de las tecnologías más promisorias de alta eficiencia de generación directa de energía eléctrica a ser utilizadas a corto plazo.

Además, de la celda de hidrógeno, una de las potenciales comercializables es la directa de metanol [6] debido a su alto contenido energético y a su fácil construcción y manejo. Sin embargo, en el curso de la oxidación del metanol se forman compuestos que bloquean la superficie del ánodo provocando una disminución de la eficiencia de corriente (potencial) entregada.

En el estado tecnológico actual, la única pila de combustible que presenta un grado de desarrollo aceptable para su uso en vehículos eléctricos es la celda de hidrógeno- oxígeno (H2/O2).

Este hidrógeno se suele obtener por reforma del metanol como materia prima. Uno de los problemas principales que surge en este proceso es que el hidrógeno que se obtiene está contaminado por pequeñas cantidades de monóxido de carbono (CO). Este gas (el CO) actúa como veneno catalítico, produciendo una pérdida de actividad del catalizador para la oxidación del hidrógeno. Actualmente, la mayor parte de los esfuerzos se destinan al desarrollo de electrodos de hidrógeno tolerantes al CO.

Una alternativa atractiva al uso del hidrógeno es la oxidación directa de metanol en el ánodo de la celda. Las moléculas orgánicas pequeñas (como el metanol) poseen potenciales de oxidación termodinámicos suficientemente bajos junto con un alto contenido energético. Sin embargo, la oxidación de estas sustancias tiene serias limitaciones cinéticas. La reacción ocurre lentamente en relación a los potenciales de interés de una celda de combustible, lo que justifica la necesidad de encontrar nuevos materiales de electrodos.

El desarrollo de estos electrodos nanoparticulados, les provee de una gran cantidad de poros que les da un área superficial elevada, y les permite ser electroquimicamente muy activos. El ejemplo más común de la aplicación de este tipo de electrodos es la celda H2/O2, denominada celda de combustible. En este tipo de celda se genera energía eléctrica en la medida que se suministra hidrógeno y oxígeno a su cátodo y su ánodo, respectivamente.

Los materiales nanoparticulados ofrecen una posibilidad que no tienen los demás y es que el potencial eléctrico se hace más favorable debido al confinamiento electrónico en la red

[6] Las celdas de metanol tienen una aplicación inmediata como baterías para teléfonos móviles o para ordenadores portátiles.

metálica, especialmente cuando los radios atómicos son menores a 5 nm. Así, para la oxidación del monóxido de carbono el potencial es 200 mV menor por la configuración electrónica adecuada. La energía superficial aumenta un orden de magnitud permitiendo que los coeficientes mecanismos elasto-plásticos, establezcan la adsorción preferencial de especies para su posterior oxidación y eliminación.

Otros ejemplos de aplicación son las baterías metal/aire, los reactores electroquímicos orgánicos utilizados para diversos fines sintéticos , o los sensores electroquímicos destinados a monitorizar los gases tóxicos o inflamables, tales como el monóxido de carbono, el hidrógeno, el metanol, etc. Micrografia de transmisión electrónica de los catalizadores de base platino donde las nanoparticulas esféricas se evidencian en los círculos negros profundos.

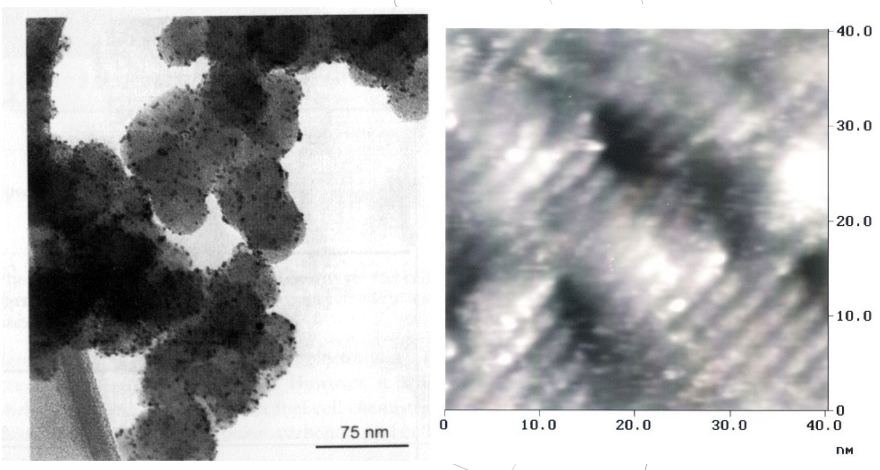

Figura 6. Imagen de microscopia de efecto túnel exsitu para los catalizadores de platino con orientación cristalina (100).

En la imagen las nanopartículas esféricas se evidencian en los círculos negros profundos.

La tecnología de los electrodos de difusión de gases se ha desarrollado, en la mayoría de los casos, para favorecer la utilización y detección de los reactivos gaseosos que presentan una solubilidad baja en el electrolito del reactor electroquímico.

El componente principal utilizado en la preparación de los electrodos de difusión de gases es el formado por nanopartículas de platino (catalizador) dispersado en carbono de área superficial alta.

En la actualidad, los estudios se centran en obtener electrocatalizadores más activos, selectivos y con áreas maximizadas. Dentro de estos aspectos, destacan las investigaciones para el desarrollo de

catalizadores alternativos basados en aleaciones de platino con otros metales.

La importancia científica, tecnológica y estratégica de estos catalizadores dispersados, queda avalada por los numerosos trabajos publicados y las patentes registradas en los últimos años relacionadas con estos estudios.

El catalizador más empleado para la reacción de oxidación de hidrógeno, es el platino en una matriz de carbono, y se utiliza como ánodo en las celdas de combustible de electrolito polimérico (PEMFC). Sin embargo, el platino es un catalizador satisfactorio para promover esta reacción con eficiencia alta sólo si el gas es puro, por ejemplo, aquel producido por la electrolisis del agua. En el caso del hidrógeno producido por la reforma de otros combustibles, ocurre la formación de CO como subproducto, que se adsorbe fuertemente sobre el platino bloqueando la adsorción de la especie reaccionante. Este fenómeno lleva a una drástica disminución de la densidad de energía de estos sistemas.

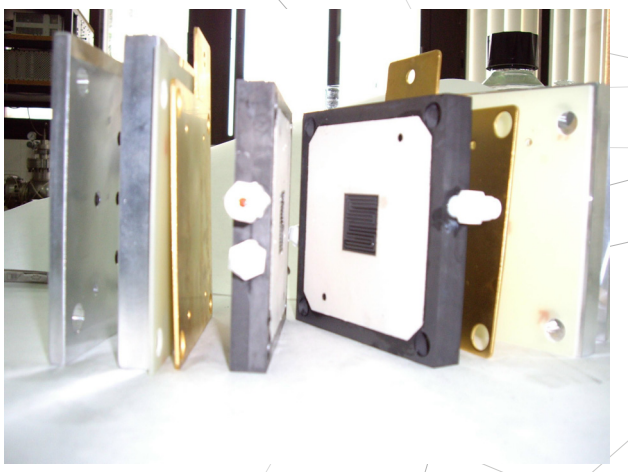

Figura 7. Armado de celda de combustible de hidrogeno/oxigeno con los elementos periféricos.

4.4 Soportes Nanoestructurados aplicados a la producción de Biodiesel

El Biodiesel constituye una alternativa a los combustibles fósiles tradicionales ya que logra una performance similar a los combustibles convencionales y menores emisiones de monóxido de carbono, óxidos de azufre y material particulado fino, con respecto al diesel derivado del petróleo. Su condición de biodegradable y su baja toxicidad para los humanos, sumado a una mayor durabilidad de los motores que lo utilizan, lo convierten en una opción altamente deseable para el objetivo de

lograr un desarrollo sostenible. A diferencia de otros combustibles alternativos, puede ser utilizado en motores diesel sin modificación alguna y mezclado en cualquier proporción con diesel proveniente de petróleo.

Químicamente, el biodiesel está formado por mono alquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga producidos por reacciones de transesterificación a partir de grasas animales o aceites vegetales, tales como el aceite de girasol, el aceite de soya, el aceite de palma, o el aceite de canola. La transesterificación resulta de la reacción química entre triacilgliceroles y alcoholes en presencia de catalizadores. Es una secuencia de tres reacciones reversibles en las cuales los triacilgliceroles son convertidos a diacilgliceroles y éstos a monoacilgliceroles seguidos por la conversión de los monoacilgliceroles a glicerol. Según el alcohol aceptor utilizado se generarán además ésteres metílicos, etílicos, butíricos, etc.

Las reacciones de transesterificación pueden ser clasificadas de manera amplia en dos categorías: las químicas y las enzimáticas. Las rutas químicas pueden incluir catalizadores químicos ácidos o básicos y aunque son ampliamente utilizados presentan limitaciones tales como recuperación incompleta del glicerol del biodiesel, la remoción de sales inorgánicas, altas temperaturas y reacciones laterales no deseadas. A pesar de que la transesterificación catalizada químicamente rinde altos porcentajes de conversión en tiempos cortos de reacción, es muy intensiva en términos de energía consumida. Además, los catalizadores deben ser removidos del producto final y el agua alcalinizada que se genera como subproducto no deseado, requiere ser tratada. Los costos del procesamiento downstream y los problemas medioambientales asociados con la producción de biodiesel y recuperación de subproductos han llevado a la búsqueda de métodos de producción alternativos amigables con el medio ambiente.

El biodiesel producido por transesterificación enzimática se ha restringido casi exclusivamente al uso de lipasas en forma soluble o inmovilizada. El aumento en los precios del crudo y la preocupación creciente por el medio ambiente ha facilitado la producción de Biodiesel mediada por lipasas. La alternativa enzimática genera productos de alta pureza y permite una fácil separación del subproducto glicerol, es amigable con el medio ambiente, químicamente selectiva y se lleva a cabo a bajas temperaturas. A pesar de que variadas preparaciones de lipasas han sido utilizadas en la producción de biodiesel aún se necesitan nuevos métodos de inmovilización innovadores con alta actividad y estabilidad que proporciones alternativas rentables para su comercialización.

En nuestro país la producción de biodiesel no ha incluído hasta ahora la catálisis enzimática. Sin embargo, creemos que una política de estímulo al biodiesel como la que lleva adelante nuestro país en la actualidad requiere de una base de conocimiento técnico y científico que permitan cuantificar el valor de las externalidades positivas.

La síntesis de biodiesel con lipasas inmovilizadas debe incorporar biocatalizadores muy activos y estables para resistir condiciones industrialesde aceites naturales. Para ello, en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad ORT Uruguay se utilizan nanosoportes de sílica que permiten asociar altas cantidades de enzima sobre el soporte facilitando su reúso, lo que disminuye los costes de su utilización [7] .

La producción de Biodiesel mediada por lipasas (enzimas usadas para digerir grasas) es una alternativa de catálisis enzimática que genera productos de alta pureza y permite una fácil separación del subproducto glicerol. Es amigable con el medio ambiente, químicamente selectiva y se lleva a cabo a bajas temperaturas. A pesar de experiencias anteriores, aún se necesitan nuevos métodos de inmovilización innovadores con alta actividad y estabilidad que proporcionen alternativas rentables para su comercialización.

La inmovilización de enzimas ha logrado inmensos avances en la mejora de las propiedades biocatalíticas de las enzimas, utilizándose cada vez más en procesos de bioconversión. Los avances en el diseño de nuevos protocolos de inmovilización de biocatalizadores, han permitido ajustar las propiedades de las enzimas a los requerimientos industriales, estabilizándolas y tornándolas rentables con respecto a las rutas sintéticas químicas convencionales. Uno de los ejemplos de síntesis enzimática industrial es la reacción de transesterificación entre triacilgliceroles y alcoholes catalizada por lipasas para la producción de Biodiesel.

La característica innovadora de este proyecto es el desarrollo de nuevos biocatalizadores de lipasas utilizando como soportes nanomateriales (nanocompósitos). Se ensayan estrategias de estabilización para lograr preparaciones inmovilizadas muy activas y muy estables en la síntesis de Biodiesel. El proyecto apunta a fortalecer las líneas de investigación e innovación en el área de la biocatálisis, un área poco desarrollada en nuestro país.

---

7 ORT-Lab. Biotecnología- Grupo de Tecnología de proteínas.

Actores : Grupos de investigación y Empresas

1. Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Ciencias de la UDELAR. Contacto: Fernanda Cerdá, fcerda@fcein.edu.uy

2. Cryssmat lab. , Polo Tecnológico de Pando, Facultad de Química, UDELAR. Contacto: Ricardo Faccio, rfaccio@fq.edu.uy

3. Centro NanoMat, Polo Tecnológico de Pando, Facultad de Química, UDELAR. Contacto: Alvaro Mombrú, amombru@fq.edu.uy

4. Núcleo Interdisciplinario Ingeniería Electroquímica Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UDELAR. Contacto: Fernando Zinola, fzinola@fcien.edu.uy

5. Lab. Biotecnología- Grupo de Tecnología de proteínas, ORT. Contacto: Lorena Betancor, Betancor@ort.edu.uy

6. Grupo de Física del Estado Sólido, Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, UDELAR. Contacto: Ricardo Marotti, khamul@fing.edu.uy

Links

http://cryssmat.fq.edu.uy/CINQUIFIMA/

http://www.nanoenergia.org/participantes.php?Grupo=13

http://www.polotecnologico.fq.edu.uy/es/areas-i-d/nanotecnologia

http://www.ei.udelar.edu.uy/prensa/renderItem/itemId/30175/refererPageId/902

http://fi.ort.edu.uy/1803/5/tecnologia_de_proteinas.html

http://www.pctp.org.uy/es/areas-i-d-i/5/nanotecnologia

http://www.pctp.org.uy/es/desarrollos/2/nanotecnologia

https://www.fing.edu.uy/if/investigaci%C3%B3n/f%C3%ADsica-del-estado-s%C3%B3lido

Listado de figuras

Figura 1. Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas (fuente: National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos).

Figura 2. Estructura cristalina de la Anatasa, forma mineral de TiO2.

Figura 3. Muestras de nanovarillas de ZnO sensibilizadas con Cu2O (arriba a la izquierda), y con CdS (arriba a la derecha), junto con sus espectros característicos. Abajo se muestran micrografías de estas nanovarillas sin sensibilizar (a la izquierda y sensibilizadas (a la derecha).

Figura 4. Superficies s Selectivas en base a Al2O3 con incorporaciones de níquel (Ni), cobre (Cu) y plata (Ag), y las respectivas absortancias solares.

Figura 5. Estructura AB5.

Figura 6. Imagen de microscopía de efecto túnel exsitu para los catalizadores de platino con orientación cristalina (100).

Figura 7. Armado de celda de combustible de hidrógeno/oxígeno con los elementos periféricos.

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA URUGUAY

UDELAR FQ FACULTAD DE QUIMICA

FACULTAD DE INGENIERIA

FACULTAD DE CIENCIAS UDELAR fcien.edu.uy

CINQuiFiMa

polo tecnológico química - biotecnología

Nano Mat

ANII

MIEM MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINERÍA

mec MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA URUGUAY DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

ORT UNIVERSIDAD ORT Uruguay

CSIC COMISIÓN SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

PEDECIBA

CONICYT COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

GABINETE PRODUCTIVO

10^{-9} m Consejo Sectorial de Nanotecnología