

**RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS  
PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL, ACTIVADOS POR ENERGÍA  
SOLAR**

**YARINA EUGENIA FRANCO TRIVIÑO  
GLORIA CONSTANZA OLIVEROS STERLING  
DIANA PATRICIA VARGAS SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
LICENCIATURA EN EDUCACIÓN BÁSICA CON ÉNFASIS EN CIENCIAS  
NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2012**

**RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS  
PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL, ACTIVADOS POR ENERGÍA  
SOLAR**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y  
Educación Ambiental**

**Director  
JUSTO PASTOR VALCÁRCEL MONTAÑEZ, Ph. D**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
LICENCIATURA EN EDUCACIÓN BÁSICA CON ÉNFASIS EN CIENCIAS  
NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Neiva, enero de 2012

## *DEDICATORIA*

A Dios por brindarme su amparo salud y fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino iluminando cada paso de mi vida y por hacer palpable su amor a través de cada uno de los que nos rodeo.

A mi madre Edilma Sterling Calderon a quien amo con todo mi corazón, a mis hermanas en especial a Luz Bey Oliveros Sterling por su comprensión, su empeño, su fuerza y por ser tal y como es. A Cristina Oliveros Sterling, Sol Sibely Oliveros Sterling quienes con su amor, apoyo incondicional y sabios consejos han sido el pilar en mi camino formando parte de este logro que me abre puertas inimaginables en mi desarrollo personal y profesional. Y por su puesto a mis sobrinos quienes son el futuro y la alegría de mi vida.

A Omar Ciceri Pizo quien con su amor, paciencia y confianza ha sido parte de mis triunfos y alegrías y quien me ha sabido corregir en los momentos más oportunos.

A nuestro director de proyecto quien con su sabiduría y experiencia nos guio para la elaboración total de nuestro proyecto logrando el desarrollo total de este.

Gloria Constanza Oliveros Sterling.

A dios padre creador, por darme la fuerza paciencia, y salud para poder mi meta trazada.

A mi madre Ana Delia Sánchez, quien me ha hecho sentir que ninguna meta que me proponga alcanzar es imposible, por su confianza en mí, por su gran esfuerzo y dedicación, por enseñarme que la importancia en la vida no son los objetivos que nos marcamos, sino los caminos que seguimos para lograrlo.

A mis hermanos y familia, por su incondicional apoyo, y por saber corregirme cuando me he equivocado.

A Jorge Luis Sánchez, por brindarme una amistad auténtica por hacerme sentir que estoy rodeada y a salvo de la fría inmensidad del espacio, por enseñarme a ponerme de pie otra vez cuando he perdido la estabilidad.

A Andrés Fabrício Pastrana, mi sol por su paciencia, amor cariño y su apoyo constante.

Diana Patricia Vargas Sánchez.

## DEDICATORIA

Este gran triunfo se lo entrego a **Díos**, por poner en mi camino seres maravillosos que impregnaron mi vida de amor.

Esta felicidad se la debo A mi heroína, mi madre María Doris, y a mi hermana Laura Tizzara, mi gran amiga y confidente; mis dos grandes amores, quienes siempre creyeron en mí y me ofrecieron el más puro y sincero amor.

A mi abuelita **MERCEDES**, a mis tíos, primos, familiares y amigos, que vivieron momentos de alegría y tristeza a mi lado. Gratitud por su comprensión.

Gracias de todo corazón a mis 4 hombres, mi abuelito Celiano (q.e.p.d), mis tíos, Carlos Hernando (q.e.p.d), Diego y Vicente, en quienes siempre encontré una palabra de apoyo, decisión y cariño.

A mi reina hermosa, Maira Camila, quien se encargo de regalarle a mi vida un toque de ilusión, aventura, un amor sin igual. A Vicente Andrés por permitirme ser su hermana mayor y compartir muchas experiencias juntos.

A Juan José, mi Cora por su apoyo y confianza incondicional, y por hacer de mi vida un gran sueño.

“Quién ama lo que tiene y lucha por lo que quiere, hace realidad todos sus sueños...”

Yarina Eugenia Franco Triviño

## AGRADECIMIENTOS

Se expresa gratitud a:

**JUSTO PASTOR VALCÁRCEL MONTAÑEZ, ciencias Ph.D** Docente titular  
Universidad Surcolombiana. Director de la tesis

**LUIS JAVIER NARVAEZ ZAMORA,** Profesor de Química, Docente titular  
Universidad Surcolombiana. Jurado

**HERNANDO GONZALEZ SIERRA, Ph.D** Docente titular Universidad  
Surcolombiana. Jurado

**JUAN MANUEL PEREA,** física Mg. efe de Programa Licenciatura en educación  
Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Universidad  
Surcolombiana.

**MARINO VALDEMAR MUÑOZ,** Licenciado en Química, Docente catedrático de la  
Universidad Surcolombiana. Asesor de Práctica Docente Profesional.

**ARLYN MORERA,** secretaria del programa de Licenciatura en Educación Básica  
con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Universidad  
Surcolombiana.

A todos los profesores del programa de Licenciatura en Educación Básica con  
énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, los cuales transmitieron  
conocimiento y el gusto por esta carrera.

Y a todas aquellas personas amigos y compañeros que han sido nuestro soporte y  
compañía durante toda nuestra formación como Maestras.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
4. OBJETIVOS	20
4.1 OBJETIVO GENERAL	20
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. MARCO TEÓRICO	21
5.1 FOTOSÍNTESIS NATURAL	21
5.1.1 Procesos fundamentales de la fotosíntesis	22
5.1.2 Fase luminosa	24
5.1.3 Fase oscura	24
5.1.4 Clorofila y pigmentos accesorios	25
5.1.5 Estructura del cloroplasto	26
5.1.6 Las membranas fotosintéticas: los tilacoides	27
5.1.7 Reacciones Hill	28
5.1.8 Fosforilación fotosintética	29
5.1.9 Diagrama Z	29
5.1.10 Productos de la fotosíntesis	29
5.2 FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL	30
5.3 INVESTIGACIÓN FORMATIVA	33

5.4 MEDIOS DIDÁCTICOS Y RECURSOS EDUCATIVOS	34
6. METODOLOGÍA	35
7. RESULTADOS	37
7.1 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	37
7.2 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	39
7.3 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	41
7.4 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	43
7.5 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	45
7.6 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	47
7.7 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	49
7.8 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	51
7.9 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	54
7.10 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR	56

ENERGÍA SOLAR	
7.11 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	58
7.12 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	60
7.13 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	62
7.14 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	64
7.15 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	66
7.16 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	67
7.17 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	70
7.18 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	72
7.19 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	74
7.20 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR	76
8. SISTEMATIZACIÓN	78
9. DISCUSIÓN	84

10. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	89

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Espectro de absorción de clorofila A y B	25
Figura 2. Centro de reacción del pigmento	26
Figura 3. Estructura del cloroplasto	27
Figura 4. Esquema representativo del proceso de fotosíntesis	28
Figura 5. Esquema representativo fotosíntesis artificial	30
Figura 6. Proceso de fotosíntesis artificial	32
Figura 7. Acoplado del compuesto Rutenio y Manganeso, " gran molécula"	40
Figura 8. Generador hidroeléctrico	44
Figura 9. Nanotubo de carbono	48
Figura 10. Rana tungara	51
Figura 11. Catalizador metal sobre metal para la producción de energía	68
Figura 12. Esquema de una célula fotoelectroquímica	71
Figura 13. Química verde en reacciones de oxidación y síntesis de nuevos catalizadores	73
Figura 14. Catalizador para producir hidrógeno	112
Figura 15. Integración de los dos tipos de metales	140

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Cuadro 1. Sistematización de la información recolectada	78

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Fotosíntesis artificial	90
Anexo B. Desde fotosíntesis natural hasta la fotosíntesis artificial	91
Anexo C. <a href="#">Investigación sobre la energía</a> fotosíntesis artificial	98
Anexo D. Hoja artificial genera energía del agua	103
Anexo E. La fotosíntesis artificial y bio-inspirada catálisis: los paradigmas de producción de energía sostenible	105
Anexo F. Utilizando la luz solar un grupo de químicos utiliza nanotubos para obtener fotosíntesis artificial y generar combustible de hidrógeno	107
Anexo G. Espuma de rana como combustible Anexo H. Un nuevo catalizador nos lleva a la fotosíntesis artificial	109
Anexo H. Un nuevo catalizador nos lleva a la fotosíntesis artificial	112
Anexo I. Hoja artificial inorgánica	115
Anexo J. Creen poder obtener electricidad de la fotosíntesis de las plantas	119
Anexo K. Árbol artificial	121
Anexo L. Un nuevo material permite la fotosíntesis artificial de forma económica	124
Anexo LL. Combustión de hidrógeno. ¿es posible una combustión limpia? Publicado por <a href="#">Javier Dufour</a> el 9 diciembre, 2010	128
Anexo M. Descubren como almacenar de manera estable el calor del sol	131
Anexo N. Fotosíntesis artificial	133
Anexo O. Nanocristales de óxido metal a metal	138
Anexo P. La energía solar para el desafío de la conversión en combustibles	143

Anexo Q. Desafíos fotosíntesis artificial: la división de agua en interfaces nanoestructuradas	148
Anexo R. Fotosíntesis artificial. producir combustibles a partir de la energía solar	152
Anexo S. Fotosíntesis artificial para la producción de combustibles químicos	155

## RESUMEN

La “**Relación de las investigaciones y sistematización de los procesos de fotosíntesis artificial, activados por energía solar**” es una compilación de información relacionada con las investigaciones actuales, sobre los procesos para obtener una forma de fotosíntesis artificial, utilizando la energía solar.

Además, toda la información consultada de libros, revistas, artículos de prensa, páginas web y comunicaciones electrónicas será recolectada, sistematizada y publicada, aparte de ser registrada como Trabajo de Grado, en un impreso de libre circulación en escuelas y colegios como una forma de conocer los trabajos científicos que se logran para obtener energía limpia y disminuir diversos factores de contaminación ambiental.

La búsqueda de la información detallada y sistematización del proyecto se realizó en 3 etapas:

- Búsqueda y clasificación de la información
- Descripción de la investigación
- Diseño y edición de una revista educativa

De acuerdo con las pesquisas realizadas, se evidenció que en la Universidad Surcolombiana no existe material informativo acerca de este tema. Observamos la importancia que la Biblioteca de la USCO cuente con información actualizada acerca de este proyecto, relacionada en la revista de Fotosíntesis Artificial (fotosíntesis artificial, en busca de un planeta verde).

El proyecto, que comprende la relación y sistematización de la información encontrada, involucra 5 aspectos iniciales: identificación del trabajo, investigador principal, lugar de la investigación, fecha de publicación, resumen de la publicación y resultados obtenidos. Se han considerado importantes aspectos, como el análisis de los trabajos y de las publicaciones con el propósito de reportar la convergencia o posible divergencia de los resultados de las investigaciones.

## INTRODUCCIÓN

Científicos a nivel mundial trabajan día a día, con el objetivo de presentar nuevas opciones para obtener energía que logren reducir los principales factores contaminantes que alteran de manera directa la estabilidad del ambiente.

Se busca la producción de energía limpia, económica e inagotable que se genera, a través del proceso de fotosíntesis artificial, prioridad que los científicos de todo el mundo están unidos para conseguir un combustible (Hidrógeno y Oxígeno) casi inagotable, lo que originará la posibilidad de un sistema energético ecológico.

Así se pretende demostrar que es posible, minimizar el consumo de los combustibles fósiles y reducir la depredación de la naturaleza. Diversos científicos internacionales trabajan en ello, y en este sentido, el propósito de esta **investigación formativa** es sintetizar y relacionar algunos trabajos realizados a nivel mundial, en el campo de la fotosíntesis artificial.

## **1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Gran área: Ciencias Exactas y de la Tierra

Área: Física - Química

Área del conocimiento específico: energía solar.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Se proyecta mostrar a la comunidad los avances realizados sobre fotosíntesis artificial, como una fuente no contaminante, para suplir la energía a nivel mundial.

El propósito de este trabajo, consiste en recolectar la información posible a través de consultas en libros, páginas web, revistas científicas, artículos, y opiniones especializadas, con el fin de ofrecer un amplio espectro de modos diversos con los cuales se pretende minimizar el consumo de los combustibles fósiles y el avance de la depredación de la naturaleza.

Es una investigación de carácter formativo, que ayudará a evaluar las técnicas de investigación vistas en la carrera y que ofrecerá información y divulgación actualizada a toda la comunidad.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Con el fin de reducir el uso de combustibles fósiles se ha logrado reproducir el proceso de fotosíntesis de manera artificial. La obtención de energía abundante es uno de los mayores problemas con el cual se enfrenta la ciencia para lograr su producción, almacenamiento y utilización.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Sistematizar algunos de los adelantos científicos que se han realizado sobre el proceso de fotosíntesis artificial.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Mostrar el sistema artificial capaz de imitar la función fotosintética natural que realizan las plantas.

Relacionar las diferentes investigaciones con las cuales se logra producir el proceso de fotosíntesis artificial, con el fin de producir Hidrógeno y Oxígeno.

Argumentar las ventajas que tiene para el ambiente y la economía, la implementación de técnicas que permitan desarrollar el proceso de la fotosíntesis artificial.

Diseñar y edición una revista educativa como alternativa de información, que ilustre a la comunidad sobre los nuevos avances encontrados a nivel mundial, sobre el proceso de fotosíntesis artificial.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 FOTOSÍNTESIS NATURAL

La fotosíntesis natural es el proceso por el cual las plantas, las algas y algunas bacterias utilizan la energía solar, para su desarrollo, crecimiento y reproducción.

La energía del Sol es capturada por los organismos fotosintéticos quienes la usan para formar carbohidratos y Oxígeno a partir del dióxido de carbono y del agua, en una serie compleja de reacciones, es importante recordar que la fotosíntesis natural se desarrolla en dos fases principales, y la naturaleza bioquímica de estas dos fases se puede ilustrar por la fotosíntesis en las plantas superiores, habitualmente representada por la siguiente ecuación, descrita por Curtis y Barnes<sup>1</sup>.



En las células [eucariotas](#), el proceso ocurre dentro de [organelos](#) llamados [cloroplastos](#), que están rodeados por dos membranas. Dentro de las membranas del cloroplasto está contenida una solución de compuestos orgánicos e iones, conocida como estroma, y un sistema complejo de membranas internas fusionadas que forman sacos llamados [tilacoides](#), estos se apilan formando las [granás](#).

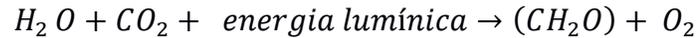
En los [procariotas](#) fotosintéticos, que no contienen organelos internos, los tilacoides pueden formar parte de la membrana celular, pueden aparecer aislados en el [citoplasma](#) o constituir, una compleja estructura de la membrana interna.

La [fotofosforilación](#) en los cloroplastos es un proceso quimiosmótico. Ahora bien, en las reacciones de fijación de carbono los productos de la primera etapa de la fotosíntesis se usan en la síntesis de moléculas orgánicas. Estas reacciones, que ocurren en el estroma, forman parte de un proceso denominado [ciclo de Calvin](#)\*.

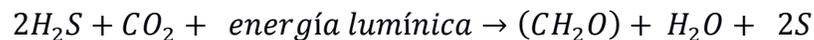
---

<sup>1</sup>CURTIS, Helena y BARNES, Sue. Bióloga: fotosíntesis, luz y vida. 6 ed. Madrid: Panamericana, 2006. p. 112.

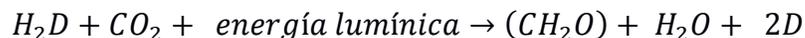
**5.1.1 Procesos fundamentales de la fotosíntesis.** El agua es utilizado por todos los organismos fotosintéticos excepto las bacterias como dador de Hidrógeno o de electrones para lograr reducir a varios aceptores electrónicos, generando el desprendimiento de oxígeno molecular procedente del agua, reflejado en la siguiente ecuación para este grupo de organismos planteada por Lehninger<sup>2</sup>.



En la que (CH<sub>2</sub>O) representa el glúcido formado como producto final en el proceso de la fotosíntesis. Sin embargo, esta ecuación no aplica a todos los organismos fotosintéticos, en el caso de las bacterias fotosintéticas normalmente no se produce ni se utiliza el oxígeno molecular, teniendo en cuenta que la mayor parte de ellas son anaerobias y se envenenan con el oxígeno, entonces estos organismos hacen uso de otros compuestos como dadores electrónicos (agente reductor), en este caso se utiliza el sulfuro de hidrógeno, tal como se plantea en la siguiente ecuación.



A pesar de presentarse estas diferencias, C. Van Niel, pionero en el estudio comparativo del metabolismo y de la fotosíntesis, postulo que tanto la fotosíntesis vegetal como la bacteriana presentan semejanzas fundamentales, como se evidencia en la siguiente ecuación general:



En el que H<sub>2</sub>D, simboliza un dador de hidrógeno y D es su forma oxidada. La naturaleza del dador de hidrógeno, depende de la especie del organismo fotosintético, puede ser agua, sulfuro de hidrógeno, isopropanol o cualquiera de cierto número de dadores de Hidrógeno.

Según lo planteo, Van Niel, citado por Leninger A, el Oxígeno molecular producto de la fotosíntesis de las plantas, deriva exclusivamente de los átomos de Oxígeno del agua y no del dióxido de carbono, tal como se puede observar en la siguiente ecuación.

---

<sup>2</sup>LEHNINGER, Albert L. Bioquímica: las bases moleculares de la estructura y función celular. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. p. 603.



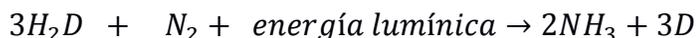
De acuerdo al estudio realizado sobre los aspectos comparativos de la fotosíntesis se reveló que el  $CO_2$  no es el aceptor universal de electrones ni de Hidrógeno en todas las células fotosintéticas.

El Dióxido de carbono es el aceptor electrónico principal de todos los autótrofos fotosintéticos, (plantas superiores). Sin embargo la mayor parte de las plantas superiores pueden también utilizar como aceptor electrónico el nitrato el cual es reducido a amoniaco.

Muchos organismos fotosintéticos tienen la capacidad de utilizar iones de Hidrógeno como aceptor final, a partir del cual se forma hidrógeno molecular; incluso otros pueden utilizar el sulfato como aceptor electrónico.

A continuación las ecuaciones típicas para la fotosíntesis con diferentes aceptores electrónicos:

Dador      Aceptor

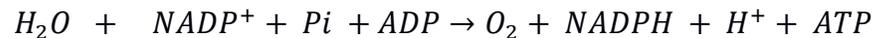


De acuerdo a las consideraciones anteriores queda claro que la fotosíntesis natural puede llevarse a cabo con la intervención de diferentes aceptores y dadores electrónicos, según sea la especie del organismo fotosintético. Como se plantea en la siguiente ecuación.



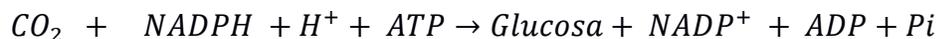
En la que H<sub>2</sub>D es el dador de Hidrógeno o electrones, por esta razón no se debe considerar la fotosíntesis únicamente como mecanismo en la síntesis de glúcidos partiendo de dióxido de carbono, de hecho como se observa en las plantas superiores los productos resultantes de la fase luminosa (ATP y NADPH), son empleados para efectuar la biosíntesis de muchos componentes celulares distintos a los glúcidos.

**5.1.2 Fase luminosa.** La energía luminosa, proveniente del Sol, es quien activa los electrones en la molécula de clorofila. De acuerdo con ello tal como afirma De Abate<sup>3</sup>, estos electrones excitados al aumentar su energía son pasados a través de una cadena de coenzimas. El agua se oxida por lo tanto pierde electrones, mientras que los átomos de carbono se van a reducir, es decir a ganar electrones. Según Lehninger<sup>4</sup>, la energía luminosa es captada por los pigmentos que absorben la luz convirtiéndola en la energía química del ATP y de ciertos agentes reductores especialmente el NADPH, durante este proceso los átomos de hidrógeno se ven separados de las moléculas de agua, y empleados para reducir al NADP<sup>+</sup>, generando como resultado la liberación de oxígeno molecular, que es un subproducto de la fotosíntesis de las plantas, en un proceso simultaneo el ADP se fosforila en ATP. Tal como se observa en la siguiente ecuación.



**5.1.3 Fase oscura.** La fase oscura de la fotosíntesis, como afirma De Abate, “comprende una serie de reacciones donde el dióxido de carbono es reducido por átomos de Hidrógeno, para formar azúcar. Obviamente como su nombre lo indica puede realizarse en la oscuridad, caso contrario al de la fase luminosa”<sup>5</sup>.

Los productos ricos en energía obtenidos durante la primera fase (NADPH y ATP), son empleados como fuente de energía para efectuar la reducción del dióxido de carbono y rendir glucosa; durante un proceso simultaneo el NADPH se reoxida en NADP<sup>+</sup> y el ATP se escinde de nuevo en ADP y fosfato. La fase oscura de la fotosíntesis puede representarse de la siguiente manera.



---

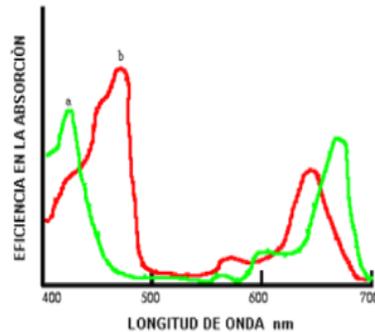
<sup>3</sup>DE ABATE, Jhon. Biología aplicada: fotosíntesis. 2 ed. San José; Costa Rica: Euned, 1999. p.114.

<sup>4</sup>LEHNINGER, Op. cit., p. 603.

<sup>5</sup>Ibid., p. 117

#### 5.1.4 Clorofila y pigmentos accesorios.

Figura 1. Espectro de absorción de clorofila A y B



*Fuente: Curtis H., Barnes N. Seres vivos y la energía. Fotosíntesis luz y vida*

En la Figura 1 se observa la eficiencia de la absorción de la clorofila a (color verde), y la clorofila b (color rojo); los dos máximos de absorción indican, que la radiación azul (450nm) y la radiación verde (500 nm), son fuertemente absorbidas por este tipo de pigmentos.

Mientras que la clorofila a es de color verde azulada, la clorofila b es de color verde amarillento. Esta diferencia se manifiesta en el espectro de absorción, en la clorofila tipo b, ambos máximos de eficiencia de absorción presentan una tendencia hacia la parte verde, haciéndose notoria la diferencia en la eficiencias de absorción las cuales varían entre las diferentes clorofilas.

De acuerdo con Curtis y Barnes quienes señala que: “Un pigmento es cualquier sustancia que absorbe luz”<sup>6</sup>. Donde el color de un pigmento es el resultado de la longitud de onda reflejada. Confirmado por Hernández, quien asegura que: “La clorofila, es el pigmento verde de todas las células fotosintéticas, absorbe todas las longitudes de onda de la luz (400nm y 700 nm) visible excepto el verde, el cual es reflejado y percibido por nuestros ojos”<sup>7</sup>. Y de acuerdo con ello las sustancias coloreadas tienen su espectro de absorción característico, que es el patrón de absorción de un pigmento dado.

<sup>6</sup>CURTIS y BARNES, Op. Cit., p.112.

<sup>7</sup>HERNÁNDEZ, Rubén. Fisiología vegetal. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2002. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>

En las plantas y otros organismos fotosintéticos existen diferentes tipos de clorofilas. La clorofila A, se encuentra en todos los organismos fotosintéticos (plantas, ciertos protistas y cianobacterias). La clorofila B, está presente en todas las plantas verdes (algas verdes, euglenophytas y plantas superiores).

Teniendo en cuenta la importancia de la clorofila para el proceso de fotosíntesis natural, se debe tener en cuenta también los pigmentos accesorios, descritos por Hernández como: “ carotenoides y xantofilas, absorben energía que la clorofila es incapaz de absorber. La clorofila *a* y *b*, absorbe las longitudes de ondas violeta, azul, anaranjado- rojizo, rojo y pocas radiaciones de las longitudes de onda intermedias (verde-amarillo-anaranjado)”<sup>8</sup>.

Figura 2. Centro de reacción del pigmento



*Fuente: Curtis H., Barnes N. Seres vivos y la energía. Fotosíntesis luz y vida*

En la Figura 2 se observan los pigmentos accesorios, estos actúan como especie de una antena, conduciendo la energía que absorben hacia el centro de reacción. Una molécula de clorofila en el centro de reacción puede transferir su excitación como energía útil en reacciones de biosíntesis.\*

**5.1.5 Estructura del cloroplasto.** Según Curtis y Barner, la unidad estructural de la fotosíntesis es el cloroplasto<sup>9</sup>. Los organismos fotosintéticos procariontas y eucariotas poseen sacos aplanados o vesículas llamadas tilacoides, que contienen los pigmentos fotosintéticos; pero solamente los cloroplastos de los eucariotas están rodeados por una doble membrana. El interior del cloroplasto entre las granas es el estroma proteico, donde se encuentran las enzimas que catalizan la

<sup>8</sup>Ibid., p 5.

\*Formación, por parte de los organismos vivos, de compuestos orgánicos a partir de elementos o compuestos simples

<sup>9</sup>CURTIS y BARNES, Op. cit.

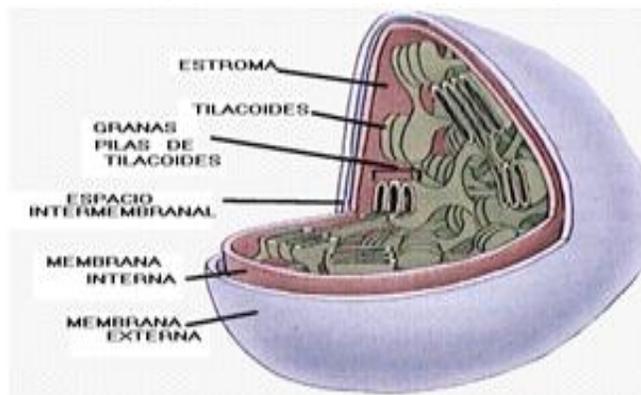
fijación del CO<sub>2</sub>. Las mitocondrias constituyen un sistema con dos membranas como los cloroplastos, pero los cloroplastos tienen tres compartimentos, según Curtis y Barner:

\*Estroma

\*Espacio tilacoidal

\*Espacio entre las membranas

Figura 3. Estructura del cloroplasto



*Fuente: Curtis H., Barnes N. Seres vivos y la energía. Fotosíntesis luz y vida*

**5.1.6 Las membranas fotosintéticas: los tilacoides.** Se encuentran ubicadas dentro del cloroplasto, En la Figura 3 se observa que los tilacoides, son una serie de membranas internas que contienen los pigmentos fotosintéticos. Cada tilacoides tiene habitualmente la forma de un saco aplanado.

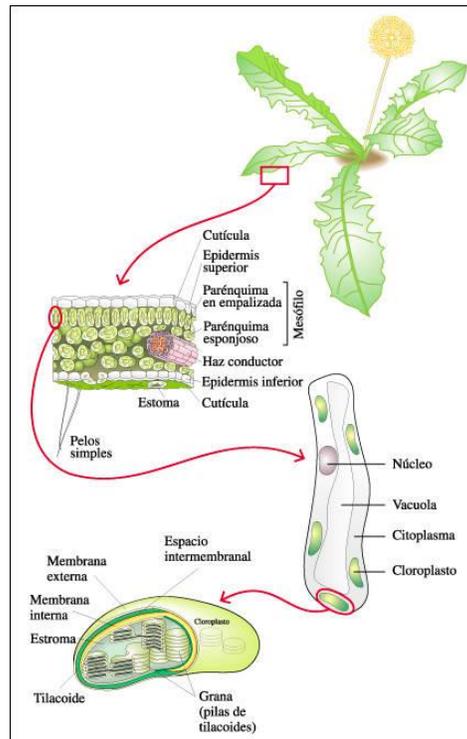
Entonces los tejidos internos de la hoja, como afirman Curtis y Barnes<sup>10</sup> están completamente encerrados por células epidérmicas transparentes, cubiertas con una capa cerosa, la cutícula. Y es cuando el oxígeno, el dióxido de carbono y otros gases entran en la hoja principalmente a través de aberturas especiales, denominados estomas; luego los gases y el vapor de agua llenan los espacios existentes entre las células de la capa esponjosa, entrando y saliendo de las células por difusión.\*

<sup>10</sup>Ibid., p. 118

\*Movimiento neto de partículas suspendidas o disueltas a favor de un gradiente de concentración como resultado de movimientos espontáneos aleatorios de partículas individuales.

Como se sabe el agua, absorbida por las raíces, entra en la hoja por medio de los vasos del xilema, en tanto que los azúcares, producto de la fotosíntesis, dejan la hoja a través de un tejido conductor conocido como floema, la mayor parte de la fotosíntesis se realiza en las células del parénquima en empalizada, células alargadas que se encuentran directamente por debajo de la epidermis superior y que constituyen el mesófilo.\*\* Según Hernández, “tienen una vacuola central grande y numerosos cloroplastos que se mueven dentro de la célula, orientándose con respecto a la luz. La luz es capturada en las membranas de los tilacoides, dentro de los cloroplastos.

Figura 4. Esquema representativo del proceso de fotosíntesis



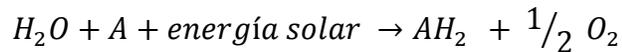
*Fuente: Curtis H., Barnes N. Seres vivos y la energía. Fotosíntesis luz y vida. Editorial médica panamericana*

**5.1.7 Reacciones Hill.** Dicha reacción según Lehninger<sup>11</sup> consiste en utilizar un aceptor artificial de electrones donde estos son inducidos a fluir hacia afuera de

\*\*Conjunto de tejidos internos de la hoja, encerrados entre dos capas de células epidérmicas.

<sup>11</sup>LEHNINGERN, Luis. Bioquímica: transporte electrónico y fosforilación fotosintéticos. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. p. 611.

las moléculas de agua hasta el aceptor A, con lo que se logra la producción de Oxígeno molecular a partir del agua. Como se muestra en la siguiente ecuación:



En donde A es el aceptor de Hidrógeno (electrones) y  $AH_2$  es su forma reducida., el aceptor A recibe en nombre reactivo de Hill, que actúa como aceptor artificial de los electrones que se separan del agua.

**5.1.8 Fosforilación fotosintética.** Se conoce como Fosforilación fotosintética o simplemente Fosforilación al movimiento de electrones inducidos por la luz a través de moléculas transportadoras de electrones como el agua u otros dadores electrónicos, a los diversos aceptores electrónicos.

**5.1.9 Diagrama Z.** Este proceso involucrado en la fotosíntesis consiste en que la “fotosíntesis productora de Oxígeno ocurre a través de la acción de dos fotosistema que se encuentran conectados esencialmente en serie los cuales son: el fotosistema I, genera un reductor fuerte capaz de reducir NADP y en forma simultánea un oxidante débil. El fotosistema II, genera un oxidante fuerte capaz de oxidar  $H_2O$  y, en forma simultánea, un reductor débil. Cuando el potencial de reducción aumenta hacia debajo de modo que el flujo de los electrones ocurre espontáneamente en esa dirección” tal como lo menciona Donald.<sup>12</sup>

**5.1.10 Productos de la fotosíntesis.** Según Curtis y Barnes<sup>13</sup>, a través del Ciclo de Calvin, se obtiene el **gliceraldehído\*** Esta molécula de cual se derivan otras, son las que van a suministrar, la fuente de energía, que necesitan todos los sistemas vivos para su normal funcionamiento y desarrollo; y estas moléculas pueden fluir en una variedad de vías metabólicas diferentes, dependiendo claro está, de las actividades y requerimientos de la célula.

Sabiendo que las células vegetales usan la glucosa para elaborar almidón y celulosa, que ellas utilizan para su beneficio (en las células animales es

---

<sup>12</sup>VOET, Donald y VOET, Judith. Bioquímica: fotosíntesis. 2 ed. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana, 2006. p. 921.

<sup>13</sup>Ibid., p. 926

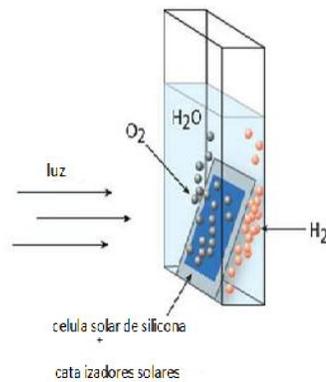
\* Intermediario en la glucólisis

almacenado como glucógeno), sacarosa para exportar a otras partes del cuerpo de la planta. Todas las células usan azúcares, incluyendo el gliceraldehído fosfato y la glucosa, según Curtis y Barnes, “como punto de partida para la elaboración de otros carbohidratos, grasas y otros lípidos y, con la adición de nitrógeno, para elaborar aminoácidos y bases nitrogenadas”.<sup>14</sup>

## 5.2 FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL

La fotosíntesis artificial es un proceso mediante el cual se imitan los pasos de la fotosíntesis natural, con ayuda de la energía solar para producir energía y utilizarla como combustible, siendo este menos contaminante de la atmósfera.

Figura 5. Esquema representativo fotosíntesis artificial



Fuente: <http://www.nature.com/news/2011/110929/full/news.2011.564/box/1.html>

En la Figura 5 se observa un esquema representativo de la fotosíntesis artificial, describiendo los dos principales procesos que hacen parte de la Fotosíntesis Artificial; la producción de Hidrógeno a partir de agua y la fotorreducción de dióxido de carbono. Tal como afirma Blankenship, “Ambos procedimientos se basan en métodos fotocatalíticos, que involucran el uso de luz solar como fuente de energía. Los catalizadores empleados en este tipo de procesos son materiales semiconductores, capaces de absorber luz y generar pares electrón-hueco que reaccionen con especies activas en la superficie del catalizador y den lugar a la reacción foto catalítico”.<sup>15</sup>

<sup>14</sup>Ibid., p. 945.

<sup>15</sup>BLANKENSHIP, R. Mecanismos de la fotosíntesis. s.n.: Blackwell Science, 2002.

Así durante el proceso de fotosíntesis natural, las plantas convierten la energía de la luz solar en energía química a través de un ciclo de reacciones catalizadas por sistemas enzimáticos, Tal como lo plantea la Doctora Magnunson en su artículo científico.

De forma análoga, la fotosíntesis artificial trata de imitar el proceso natural mediante la absorción de luz y la transformación de esa energía luminosa en combustibles.

Al ser un proceso inspirado en la fotosíntesis natural, se compone básicamente de dos etapas, fase luminosa y fase oscura, tal como lo afirma Dufour<sup>16</sup>:

1. Primera fase: ocurre la absorción de la luz solar, a través de complejos metálicos, (formados por Rutenio, Manganeso, Plata) que imitan la función del Fotosistema II, produciendo la fotólisis del agua para dar lugar a la descomposición del agua en electrones e iones de Hidrógeno.

2. Segunda fase: ocurre básicamente la fotorreducción del dióxido de carbono, favoreciendo así la producción de hidrocarburos, gracias al Hidrógeno proveniente del agua que puede ser empelados como combustibles, que se forman a partir de ella, como: el metano, metanol, etanol.

Utilizando como materias primas: la energía proveniente de la luz solar y el agua.

De aquí que los diferentes científicos están trabajando para:

1. Producir catalizadores químicos que dividan las moléculas de agua.
2. Utilizar Cianobacterias para producir Hidrógeno a partir de la luz del Sol y el agua.
3. Producir enzima que imite la función del Fotosistema II

---

<sup>16</sup>DUFOUR, Javier. Fotosíntesis artificial.  
<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/01/21/131>

Muchos científicos, llegan a la conclusión que si se utilizara la energía solar proveniente del Sol se suplirían todas las necesidades de combustibles que tiene el hombre para su convivencia en la sociedad; uno de ellos es la investigadora, de la Universidad de Uppsala Magnusson<sup>17</sup>:

Las investigaciones realizadas sobre el desarrollo de la fotosíntesis artificial, para el mejoramiento del sector energético, se enfatiza en buscar una manera de producir un tipo de energía limpia que disminuya los actuales problemas ambientales, como: efecto invernadero, contaminación de la atmósfera, lluvia ácida, deshielo, entre otros, que en los últimos años han ocasionado catástrofes y destrucción a nivel mundial.

Esta visión general de investigación, describe el campo de investigación en fotosíntesis artificial, teniendo como meta final la producción de hidrógeno gaseoso, utilizando la luz solar y el agua. Utilizando este hidrógeno gaseoso como combustible, siendo menos contaminante y ayudando a la disminución del deterioro del ambiente.

Figura 6. Proceso de fotosíntesis artificial



Fuente:[http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto\\_Eng.pdf](http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto_Eng.pdf)  
imagen

En la Figura 6 se observa los pasos que se llevan a cabo convencionalmente para el proceso en el que el gas Hidrógeno obtenido es un combustible, y no emite dióxido de carbono cuando se usa, convirtiéndose en un interesante suministro de energía sostenible.

<sup>17</sup>MAGNUNSON, Ann. Fotosíntesis Artificial. Universidad de Uppsala.  
<http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/>

El éxito de diversas investigaciones, adelantadas sobre la fotosíntesis artificial podría proporcionar un impulso importante en el mejoramiento de las condiciones ambientales actuales, disminuiría nuestra dependencia de los combustibles fósiles, y por supuesto contribuirá a la disminución del deterioro de la atmósfera por la emanación del dióxido de carbono, que proviene en una mayor parte de los automóviles que utilizan como combustible los derivados del petróleo.

Aunque hay constantes y numerosos avances, la fotosíntesis artificial como proceso energético tiene un largo camino que recorrer. Los sistemas desarrollados por diferentes científicos en el mundo, aún se encuentran en una fase inicial de desarrollo y ejecución, sin embargo ya se han logrado obtener resultados novedosos e innovadores, aunque existan diversas dificultades, entre ellas el elevado costo de los catalizadores utilizados.

### **5.3 INVESTIGACIÓN FORMATIVA**

Según plantea Miyahira Arakaki<sup>18</sup>, la investigación, actúa como herramienta en el proceso enseñanza aprendizaje, y tiene como finalidad difundir información ya existente para favorecer al estudiante y que este logre incorporarla como conocimiento (aprendizaje). La investigación formativa presenta dos características adicionales fundamentales respectivamente: Una investigación dirigida y orientada por un profesor, como parte de su función docente; Los agentes investigadores no son profesionales aún, sino sujetos en formación.

El principal objetivo de la investigación formativa es difundir la información ya existente y lograr que el estudiante la incorpore como nuevo conocimiento, es decir, desarrolle las capacidades precisas para el aprendizaje permanente, necesario para la actualización del conocimiento y habilidades de los profesionales.

Tal como lo plantea Parra<sup>19</sup>, Existen variadas formas de clasificar la investigación formativa, pero en general se divide en tres tipos: Documental, Básica o pura y Aplicada.

---

<sup>18</sup>MIYAHIRA ARAKAKI, J. M. Profesor Principal. Facultad de Medicina Alberto Hurtado. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Sin embargo, la investigación básica y la aplicada tienen una etapa de investigación documental. La investigación formativa y la formación para la investigación, se debe desarrollar en interacción continua. La investigación formativa desarrolla en los estudiantes las capacidades de interpretación, de análisis y de síntesis de la información, y de búsqueda de problemas no resueltos, el pensamiento crítico y otras capacidades como la observación, descripción y comparación; todas directamente relacionadas también a la formación para la investigación.

## **5.4 MEDIOS DIDÁCTICOS Y RECURSOS EDUCATIVOS**

Se propone la publicación de una revista informativa, con el fin de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje, por medio de la cual se dan a conocer los diferentes avances relacionados con la fotosíntesis artificial, siendo esta un campo de investigación que intenta reproducir la fotosíntesis natural de las plantas, para la producción de combustibles no contaminantes.

Resaltando que aunque la fotosíntesis artificial se encuentra en sus estados iniciales de investigación los resultados obtenidos arrojan grandes avances.

Medio didáctico es cualquier material elaborado con la intención de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por ejemplo, un libro de texto, revista informativa o programa multimedia, que permite hacer prácticas de formulación en alguna ciencia específica.

Recurso educativo es cualquier material que, en un contexto educativo determinado, es utilizado con una finalidad didáctica o para facilitar el desarrollo de las actividades formativas. Los recursos educativos que se pueden utilizar en una situación de enseñanza y aprendizaje pueden ser o no medios didácticos.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup>GROS., Begoña. Del software educativo a educar con software. In: Quaderns digitals. 2006. [En línea]. Universidad de Barcelona España. <http://www.eumed.net/libros/2011b/953/>

## 6. METODOLOGÍA

Para el proceso de sistematización de las investigaciones realizadas sobre los procesos de fotosíntesis artificial, activadas por energía solar, se desarrollaron 3 etapas:

- *ETAPA 1*

*Búsqueda de la información*

Información consultada en libros, revistas, artículos de prensa, páginas web y comunicaciones electrónicas.

- *ETAPA 2*

*Descripción de la investigación*

Inicialmente se preseleccionaron 60 trabajos de los cuales, se seleccionaron 20 de ellos en razón a su importancia científica, para cada caso se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos.

- ❖ Identificación del trabajo (nombre de la investigación)
- ❖ Investigador Principal (autor principal)
- ❖ Lugar de la Investigación
- ❖ Fecha de publicación
- ❖ Resumen de la publicación y resultados obtenidos
- ❖ Anotaciones al documento y resaltar las ventajas de cada uno de los trabajos de investigación.

- *ETAPA 3*

*Diseño y edición de la revista educativa*

Se presenta una revista como resultado de la compilación de algunos procesos de fotosíntesis artificial activados por energía solar, sistematizados a la fecha; esta cartilla se usará como recurso educativo, para lograr comunicar y difundir a la comunidad los nuevos adelantos científicos en esta rama.

## 7. RESULTADOS

### ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

A continuación se relacionan las investigaciones de los procesos de fotosíntesis artificial activados por energía solar, de acuerdo a la fecha de publicación.

#### 7.1 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR

Identificación del trabajo: Fotosíntesis artificial

*Investigador Principal:* Violeta Braach-Maksvytis: docente de la Universidad de Sydney, Australia.

*Lugar de la Investigación:* Organización Industrial de Investigaciones. *En la ciudad de Sydney, Australia.*

*Fecha de publicación:* Noviembre 27 de 2000.

*Resumen:* Científicos de la Organización industrial de investigaciones, (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*), de la *Universidad Tecnológica de Sydney, Australia*, han encontrado una manera de combinar los principios de la fotosíntesis natural, para la conversión de dióxido de carbono y luz solar, en *Hidrógeno*.

*Liderado por la Doctora Violeta Braach-Maksvytis*, se presenta el diseño de un dispositivo, en el cual su proceso de funcionamiento es denominado “auto-ensamblaje”, cuya función es la de imitar el cloroplasto, el cual, “se construye de abajo hacia arriba, átomo por átomo” según la Doctora Maksvytis; dando lugar a materiales semiconductores.

El proceso de auto-ensamblaje, se basa en el diseño de componentes moleculares de una estructura, que se combinan en un tubo de ensayo; donde se incrustan una proteína bacteriana sensible a la luz, en una membrana artificial, de dicho dispositivo, con el fin de imitar la función de la clorofila en las plantas, absorber la energía solar necesaria para que pueda ser llevada a cabo el proceso de la fotosíntesis.

*Resultados:* el resultado es el primer paso hacia la fabricación de una estructura de múltiples capas de membranas, en el que cada capa contiene diferentes elementos que asemejan una cascada de electrones.

Dando como resultado del proceso, *bioproductos* que podrían constituir combustibles alternativos, como el metano o incluso alimentos en forma de almidón y azúcares. Siendo de esta manera una esperanza para desarrollar una tecnología que puede reducir las grandes cantidades de dióxido de carbono emitido a la atmósfera desde las centrales eléctricas, fábricas y automóviles, entre los más contaminantes.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el propósito de recopilar y sistematizar las diferentes investigaciones, realizadas a nivel mundial, sobre el proceso de fotosíntesis artificial y mostrar a la comunidad los diversos adelantos que se realicen sobre este tema, se presenta el estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Sydney, a cargo de la Organización industrial de investigaciones, (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*), de Australia, con un proceso clave denominado *auto-ensamblaje*, en el cual intentan imitar la función fotosintética de la clorofila.

Donde se resalta la implementación de materiales semiconductores de electricidad y se hace énfasis en la implementación de proteínas bacterianas, que faciliten el proceso de absorción de energía solar, con el fin de a partir de dióxido de carbono y agua, producir Hidrógeno y Oxígeno, teniendo como resultado es la fotosíntesis artificial un proceso que da lugar a fuentes alternativas de combustibles.

## 7.2 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATICACION DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR

*Identificación del trabajo:* Desde fotosíntesis natural hasta fotosíntesis artificial: química molecular para producir combustible solar

*Investigador Principal:* Stebjörn Styring, Profesor de Química de la facultad de química de la Universidad de Uppsala, Suecia.

*Lugar de la Investigación:* Departamento de Ciencias, fotoquímica y Biología Molecular, en la Universidad de Uppsala, en la ciudad de Uppsala, Suecia.

*Fecha de publicación:* Diciembre de 2007

*Resumen de la publicación:* investigadores del consorcio Sueco para la fotosíntesis artificial, trabajan conjuntamente por construir un modelo químico que consiste en un absorbente de luz solar. El modelo planteado por los profesores Stebjörn Styring y Ann Magnuson, consiste en la construcción de una estructura química, mediante la adición de una pieza a la vez y poco a poco la construcción de una gran molécula a partir de Rutenio, un complejo que está vinculado a otro de manganeso, en una construcción similar a la disposición en el Fotosistema II, de una planta natural.

Este sistema artificial funciona, según Styring<sup>21</sup> de la siguiente manera:

1. Cuando el Rutenio es irradiado por la luz solar, un electrón se envía al receptor de la parte (A) de la molécula. El agujero de electrón que se ha formado en el complejo de Rutenio es llenado por un electrón, que es transportado desde el complejo de Manganeso.
2. El complejo de Manganeso toma los electrones de las moléculas de agua.

---

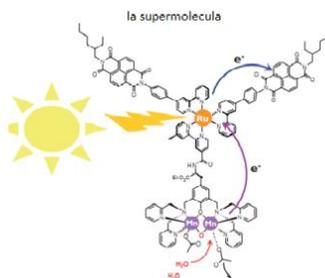
<sup>21</sup>STYRING. Complejo fotosintético. <http://www.uu.se/utbildning>

3. El resultado de estos eventos es la liberación de electrones, como iones de Hidrógeno y Oxígeno que pueden ser utilizados para la producción de combustibles.

## Resultados

1. Cuando la luz incide en el complejo de Rutenio (Ru), envía un electrón al aceptor (resaltado en azul).
2. El agujero de electrones en el complejo de Rutenio es llenado por un electrón desde el complejo de manganeso (Mn).
3. El manganeso atrae las moléculas de agua y electrones.

Figura 7. Acoplado del compuesto Rutenio y Manganeso, “ gran molécula”



Fuente: <http://www.uu.se/utbildning>

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el objetivo de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y exponer, las distintas innovaciones en energía, se presenta la investigación de los profesores Ann Magnusson y Stebjorn Styring, de la Universidad de Uppsala, en Suecia ya que además que reúne a dos líderes en el mundo, para llevar a cabo una investigación integrada, basada en la construcción de una gran molécula con ayuda de materiales semiconductores, como el Rutenio y el Manganeso; destinada a el logro de Hidrógeno renovable la

producción de recursos ambientalmente seguros. Siendo una idea para desarrollar nuevas rutas para la producción de un combustible por energía solar, novedoso e ingenioso, desde un recurso, inagotable.

Adicionalmente a esto el proyecto integra dos líneas de investigación, como producción en los organismos vivos, y la fotosíntesis artificial.

Mientras las poblaciones humanas fueron pequeñas y su tecnología modesta, el impacto sobre el medio ambiente fue local. Al ir creciendo la población y diversificándose la tecnología, aparecieron problemas más importantes y generalizados, y en ello esta nueva forma de energía ayudaría a disminuir este impacto.

### **7.3 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* investigación sobre la energía fotosíntesis artificial.

*Investigador Principal:* D. Kuciauskas, investigador italiano. De energía Solar, de la Universidad de Bolonia Italia.

*Lugar de la Investigación:* Universidad de Bolonia Italia 2006.

*Fecha de publicación:* 26 de junio de 2006.

Resumen de la publicación y resultados obtenidos: en la ciudad de Bolonia, el profesor D. Kuciauskas, famoso investigador italiano, adscrito a la Universidad de Bolonia, hace referencia en la revista Biosualiza, acerca del primer gestor y creador de la fotosíntesis artificial, Giacomo Ciamician en 1912, quien fuera un químico italiano, en la que proponía una alternativa energética a cambio de los combustibles fósiles, en la cual la energía solar no fuera utilizada solamente por las plantas, algas y algunas bacterias, sino también para el beneficio del hombre.

Una propuesta en la que para un futuro se encontraran centrales energéticas donde, según Ciamician citado por Kuciauskas “ bosques de tubos de vidrio

cubrirían llanuras enteras”, en el interior de los cuales muy seguramente la luz del sol serviría para el aprovechamiento del hombre, el proceso radica en que las plantas transformen la energía Solar en energía electroquímica empleando moléculas sensibles a la luz Solar, con el fin de disminuir el uso de combustibles fósiles, de tal manera que casi un siglo después el objetivo de Ciamician parece estar acercándose a la realidad.

Es así que científicos químicos e investigadores están desarrollando nuevos métodos para lograr obtener la energía limpia de una manera simple, utilizando el mismo sistema de las células vegetales, que transforman la energía Solar en energía química utilizando moléculas sensibles a la luz.

La idea principal de la versión artificial de la fotosíntesis es proporcionar una fuente de energía ecológica y renovable, que coadyuve a la limpieza de la atmósfera del dióxido de carbono que se encuentra en ella debido a la contaminación ambiental.

### *Resultados*

✓ La esencia de la fotosíntesis no solo consiste en captar la energía solar, sino en utilizar moléculas que son capaces de excitarse con la luz y que, debido a la energía captada, se transforma en calor lo que induce el proceso de conversión de energía.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

El hombre en la búsqueda de nuevas tecnologías se encuentra, en su afán de reducir los problemas ambientales que surgen tras la utilización de los combustibles fósiles, es así que la ciencia viene empleando nuevas técnicas para lograr producir combustibles amigables con el medio ambiente, como lo es la transformación de la energía solar en energía química, utilizando centrales energéticas implementando moléculas sensibles a la luz tal como lo mencionaba Giacomo Ciamician en 1912.

## 7.4 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR

*Identificación del trabajo:* Hoja artificial genera energía a partir del agua.

*Identificación del trabajo:* Hoja artificial genera energía a partir del agua.

*Investigador Principal:* Daniel Nocera: Licenciado en química, de la Universidad de Rutgers en 1979, Licenciado en Ciencias Químicas por el Instituto de Tecnología de California en 1984.

*Lugar de la Investigación:* MIT, Instituto Tecnológico de Massachusetts.

*Fecha de publicación:* Agosto de 2008.

*Resumen:* El doctor Daniel Nocera, Científico del MIT, contribuye de manera importante en la búsqueda de la era verde, presentando adelantos acerca de la fotosíntesis artificial, un proceso que busca imitar la actividad vegetal. Con el principal objetivo de dividir el agua con ayuda de la energía solar y lograr producir Hidrógeno.

Presenta un eficaz electrolizador construido a base de un compuesto de cobalto, silicio y fosfato, con posibilidades de trabajar a temperatura ambiente, cuenta con un tamaño aproximado de un naípe. Depositada en un cubo de agua la hoja artificial reacciona químicamente ante la luz solar y produce burbujas separadas de Hidrógeno y Oxígeno, las cuales pueden ser recolectadas y almacenadas en pilas de combustible listas para proporcionar electricidad.

### *Resultados*

Los catalizadores químicos como el cobalto, fosfato y silicio, utilizados en el proceso son de bajo costo y además se encuentran en abundancia en el planeta, y producen electricidad más eficientemente que las células solares.

Las moléculas de agua se dividen por efectos de la luz solar, tal cual como ocurre en el proceso natural desarrollado por las plantas.

El Hidrógeno resultante puede lograr satisfacer las necesidades energéticas de los hogares e incluso cargar los vehículos.

Figura 8. Generador hidroeléctrico



Fuente: <http://www.smartinthegrid.com/>

El generador hidroeléctrico, conocido como silo hidráulico, es utilizado en este proceso, ya que está integrado por 5 componentes diferentes que aseguran que el agua no se desperdicia, sino en cambio retorna al tanque para volver a ser utilizada.

Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación

Cada día las fuentes renovables de energía se ubican en un lugar estratégico, en búsqueda de proporcionar nuevas y mejores oportunidades de vida, buscando como objetivo enfocar el mundo hacia una era verde, por esta razón científicos del MIT, presentan nuevas opciones como la hoja Artificial Inorgánica, que se encuentra construida a base de compuestos de cobalto, silicio y fosfato, resaltando características importantes como su bajo costo, que contribuyen de manera importante cuando de buscar un medio ambiente sostenible se trata, proporcionando novedosos procedimientos para lograr generar electricidad a partir de elementos básicos y comunes encontrados en el planeta.

## 7.5 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR

**Identificación del trabajo:** La fotosíntesis artificial y Bio-inspirada Catálisis: los paradigmas de producción de energía sostenible.

**Investigador Principal :** Thomas A. Moore, Ph.D. Director ASU Centro de bioenergía y fotosíntesis Texas, Estados Unidos.

**Lugar de la Investigación:** Centro de Bioenergía y Fotosíntesis de Texas, Estados Unidos.

**Fecha de publicación:** Septiembre 8 de 2008.

**Resumen de la publicación y resultados obtenidos:** los avances a nivel tecnológico, los adelanta una serie de laboratorios que busca desarrollar catalizadores, bio inspirados en energías renovables; planteamiento que es alentador pero aún lejos de su aplicación práctica, el consumo continuado de combustibles fósiles es insostenible y promueve el deterioro y agotamiento de la biodiversidad del planeta, claro está que es responsabilidad de las sociedades tecnológicamente avanzadas, liderar el camino hacia la producción y aprovechamiento de energía sostenible y eficiente libre de CO<sub>2</sub>, la producción de energía y el consumo de las estructuras físicas, biológicas y químicas sirven de guía a los centros de investigación, para imitar los elementos presentes en la naturaleza en la producción de energía, argumentándose que la energía Solar es la única fuente libre de carbono que debe producirse de manera inmediata.

Pero la preocupación número uno es, ¿estamos en una sociedad dispuesta a pensar a largo plazo, para obtener financiación para la investigación e inversión en infraestructura a un nivel más alto, incluso a la altura de Salud y Servicios Humanos o el Departamento de Defensa, para proporcionar energía real de seguridad?.

Desarrollar la producción de energía sostenible inspirada en la fotosíntesis artificial. La investigación consiste en separar los pigmentos carotenoides que puedan ser incorporados en la clorofila basado en centros de reacción artificial, capaz de convertir la energía Solar en energía química. De igual manera se busca

adoptar algunas características esenciales de la fotosíntesis natural, presentándose el mayor reto en la adquisición de sistemas de bombas artificiales basados en bucles Mitchellean redox, que demuestran la conversión neta de la energía Solar, en energía química potencial, incluyendo la síntesis de ATP.

### *Resultados*

- ✓ Pigmentos carotenoides e incluso polienos polímeros pueden ser incorporados en la clorofila basado en centros de reacción artificial capaz de convertir la energía solar en energía química.
  
- ✓ Se ha duplicado este complejo proceso natural mediante la adopción de algunas de las características esenciales de la fotosíntesis y el uso de ellos en un material sintético, libre de carbono, un sistema homogéneo.
  
- ✓ El resultado es el desarrollo de catalizador eficientes para la descomposición del agua, la reducción de oxígeno en el agua y la oxidación del hidrogeno a los protones.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Recalcando el riesgo que genera la utilización de combustibles fósiles y el deterioro que causan a la capa atmosférica, surgen nuevas opciones para lograr producir combustibles no tóxicos, basándose en la fotosíntesis artificial activada por energía Solar donde se busca lograr separar los pigmentos carotenoides que puedan ser incorporados en la clorofila basado en centros de reacción artificial, capaz de convertir la energía Solar en energía química. Es así que investigadores como Tomas A. Moore y equipo Center for Bionergy & Photosynthesis, de Francia buscan implementar técnicas para desarrollar nuevos catalizadores que generen transformaciones de energía eficiente. La combinación de información mecánica y estructural para la producción de energía de modo que nos acerque más al objetivo de producir energía de manera sostenible a partir de la luz del Sol buscando siempre disminuir los problemas ambientales ocasionados por la utilización de combustibles no renovables.

## 7.6 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR

*Identificación del trabajo:* Fotosíntesis artificial y nanotubos para generar combustible de Hidrógeno con la luz del Sol.

*Investigador Principal:* Kara Bren; Profesor de química, biología y biofísica de la Universidad de Rochester, New York, Estados Unidos

*Lugar de la Investigación:* laboratorio de Química de la Universidad de Rochester, New York, Estados Unidos.

*Fecha de publicación:* Octubre de 2009

*Resumen:* Científicos de la Universidad de Rochester, han desarrollado la técnica de un dispositivo que se divide en tres módulos, con el fin de imitar el proceso de las plantas que da lugar al proceso de fotosíntesis artificial. Liderado por los profesores: Kara Bren, Richard Eisenberg, Todd Krauss y Patrick Holland; han presentado el diseño de un aparato, que consta de tres módulos, que permiten a cada etapa del proceso ser manipulado más fácilmente que otros métodos, *con el fin de producir un combustible que se queme de forma limpia.*

### *Resultados*

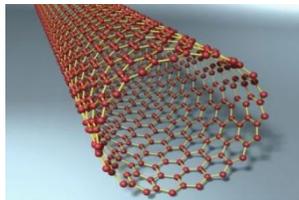
El modelo basado en procesos químicos y biológicos desarrollados por las plantas consiste en un dispositivo, dividido en tres módulos:

1. El primer módulo absorbe luz solar y produce electrones libres.
2. El segundo módulo consiste en una membrana impregnada de nanotubos de carbono\* a modo de cables moleculares con un tamaño aproximado del millonésima parte del diámetro de un cabello humano. Con el fin de evitar que los

cromóforos reabsorban los electrones libres, conduciéndolos hasta el tercer módulo.

3. En el tercer módulo, por medio de catalizadores, se utilizarán los electrones para producir Hidrógeno a partir del agua, el cual podrá usarse posteriormente en pilas de combustible para coches, hogares o para alimentar las plantas de energía del futuro.

Figura 9. Nanotubo de carbono



Fuente:<http://www.teknologeek.com/2010/02/09/bayer-abre-fabrica-de-nanotubos-mas-grande-del-mundo/>

Tienen una “escala nanométrica, con características físicas que son funciones fuertes de su tamaño y forma, pueden ser fácilmente manipulados para hacer frente a una aplicación dada. Formados por una red hexagonal de átomos de carbono enrollada en un cilindro”.<sup>22</sup>

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el fin de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y presentar a la comunidad los estudios sobre fotosíntesis artificial, como una nueva fuente de energía, se resume el estudio realizado en la Universidad Rochester, en Nueva York, Estados Unidos, basado en la invención de un dispositivo novedoso que capta la energía solar, a base de nanotubos de carbono, ya que tienen características físicas especiales, como resistencia y maleabilidad.

---

<sup>22</sup>BREN. Artificial photosynthesis. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp203292h>

## **7.7 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Espuma de rana como combustible

*Investigador Principal:* Carlo Monte magno, Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.

*Lugar de la Investigación:* Laboratorio de Monte magno, Departamento de Ingeniería Biomédica. Universidad de Cincinnati. Ohio, Estados Unidos.

*Fecha de publicación:* En la web, 05 de marzo de 2010 Copyright © 2010 American Chemical Society.

*Resumen:* investigadores de la Universidad de Cincinnati, en Ohio, Estados Unidos, desarrollaron estudios para encontrar nuevas formas de biocombustibles, convirtiendo la energía solar y el dióxido de carbono, en azúcares.

El trabajo de los investigadores se basa principalmente en la fabricación y desarrollo en el laboratorio de dicha sustancia (espuma) a través de fotosíntesis artificial, que utilice enzimas ya sean de plantas, bacterias, hongos o ranas.

En este caso la escogida fue la espuma producida por la rana, por que se pueden concentrar los reactivos, permiten buena producción de luz y la buena penetración del aire, el diseño se basó en los nidos de espuma de una rana semitropical.

Esta investigación se fundamentó en el proceso que genera un índice de eficiencia de cerca del 96%. Todo esto basado en los hábitos de nidificación desarrollados por una rana de la región subtropical. La rana tungara la cual genera una gran resistencia cuando se trata de proteger los huevos fertilizados de factores como la luz solar, agentes patógenos y la temperatura, todo esto hasta el momento de la eclosión, y presenta como principal ingrediente la proteína ranaspumin -2, que permite la formación de espuma a bajas concentraciones sin alterar las membranas celulares.

La sustancia (espuma), es colocada en una estructura que permite concentrar los reactivos, logrando una captación muy efectiva de los componentes en la luz solar y el aire.

La mayor ventaja es que toda la energía solar captada se transforma en azúcares, y estos azúcares son utilizados para el desarrollo de etanol y otros biocombustibles. La espuma convierte la luz en ATP (adenosin trifosfato), y el CO<sub>2</sub> en azúcar por medio del ciclo de Calvin. Resaltando que estos son considerados fuentes importantes en la producción de energía.

### *Resultados*

+ Toda la energía solar es capturada y convertida en azúcares. (Mientras que las plantas y algas deben utilizar gran cantidad de esta energía para mantener sus funciones vitales, mantenerse y reproducirse)

+ La espuma en el suelo no interrumpe el proceso de producción.

+ Funciona en ambientes con alto nivel de CO<sub>2</sub>.

+ Toma el carbono de la atmósfera y utiliza la luz solar, de esta manera reorganiza las moléculas en el combustible generando carbono neutro.

+ El azúcar se puede implementar en diferentes situaciones, incluyendo la producción de etanol y otros biocombustibles, logrando eliminar el CO<sub>2</sub> del aire y manteniendo los suelos aptos para la producción.

+ La captación de la fisiología de los seres vivos, como una opción económica, mediante la creación de nuevos materiales funcionales que incorporan intrínsecamente los procesos de vida y su estructura.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

Para poder realizar la relación de investigaciones y sistematización de los procesos de fotosíntesis artificial activados por energía solar, se presenta este

trabajo realizado por investigadores de la universidad de Cincinnati, Espuma de rana como combustible (Frog's foam fashions fuel), como una gran opción a tener en cuenta, en el momento de implementar un procedimiento como la fotosíntesis artificial, para lograr obtener una energía limpia, económica e inagotable.

Creando una forma económica y ecológica de aprovechar la fisiología de los sistemas vivos (producción de espuma por parte la rana tungara) para el desarrollo y creaciones de nuevas sustancias y materiales para emplear en la producción de energías alternativas por medio de la fotosíntesis artificial. Resaltando que la utilización de esta espuma en el proceso de producción de energía no genera mayores inconvenientes a nivel ecológico, sino más bien se observan grandes ventajas en el momento de evaluar el índice de eficiencia.

Añadiendo avances significativos en el campo de la fotosíntesis artificial, buscando minimizar el consumo de combustibles fósiles y reducir la depredación de la naturaleza.

Figura 10. Rana tungara



*Fuente:*

[http://www.hondurassilvestre.com/data/upload/uploads/phpThumb.php?src=1238457291.jpg&w=800&sia='Physalaemus pustulosus.jpg&q=90&fltr\[\]=usm|80|0.5|3&fltr\[\]=wmi|/data/specie/img/HSicon.png|BR](http://www.hondurassilvestre.com/data/upload/uploads/phpThumb.php?src=1238457291.jpg&w=800&sia='Physalaemus pustulosus.jpg&q=90&fltr[]=usm|80|0.5|3&fltr[]=wmi|/data/specie/img/HSicon.png|BR)

## **7.8 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Nuevo catalizador nos lleva a la fotosíntesis artificial.

*Investigador Principal:* Craig Hill, Químico Inorgánico de la Universidad de Emory.

*Lugar de la Investigación:* Universidad Emory (Atlanta), y el Instituto de Química Molecular de París.

*Fecha de publicación:* revista Science, 11 de marzo de 2010, Neofronteras, 23 de marzo de 2010.

*Resumen:* Científicos de la Universidad Emory y el Instituto de Química Molecular de París, desarrollaron un nuevo Catalizador tipo WOC, (catalizador de oxidación del agua), que permite la producción de Oxígeno, y además presenta características como economía y rapidez.

Dicho catalizador debe cumplir con unas características para lograr su viabilidad como lo son la selectividad, estabilidad, homogeneidad ya que gracias a estas, aumenta la eficacia y hace que el catalizador sea más fácil de estudiar y optimizar. Este tipo de catalizador está basado principalmente en un material importante como el cobalto.\*

La idea principal de este tipo de catalizadores es imitar la fotosíntesis natural que desarrollan las plantas y lograr producir combustibles pero de una manera limpia, el siguiente avance consistirá en incorporar este tipo de catalizador en un sistema de fotólisis,\*\* buscando a largo plazo la producción de Oxígeno e Hidrógeno partiendo del agua, resaltando que la combinación en una célula de combustible, producirá electricidad. Dejando como resultado la no emisión de gases de efecto invernadero y obteniéndose de nuevo agua como producto final.

Se presentan grandes desafíos en el momento de lograr un sistema de producción de este tipo.

- ✓ Desarrollo de un colector de luz solar.
  
- ✓ Catalizador para oxidar el agua en Oxígeno tipo WOC. (Presenta mayor dificultad en el momento de adquirirlo.)
- ✓ Catalizador para reducir el agua en Hidrógeno.

---

\*Se encuentra distribuido a gran escala en la naturaleza y forma aproximadamente el 0.001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre.

\*\* Ruptura de la molécula de agua debido a la acción directa de la luz del sol.

El mayor reto es la adquisición del catalizador tipo WOC, ya que este debe estar libre de estructura orgánica, ya que los componentes orgánicos se combinan con Oxígeno y se autodestruyen en el proceso.

*Resultados:* destacando la gran labor de las enzimas como catalizadores naturales, pero teniendo en cuenta que las enzimas que forman parte del proceso fotosintético son las menos estables, ya que desempeñan la más dura labor en el proceso.

- ✓ Se ha duplicado este complejo proceso natural mediante la adopción de algunas de las características esenciales de la fotosíntesis y el uso de ellos en un material sintético, libre de carbono, un sistema homogéneo. Añade, Craig Hill,
- ✓ El resultado es un catalizador de oxidación del agua que es mucho más estable que la que se encuentra en la naturaleza.
- ✓ Dicho catalizador ha demostrado más eficiencia que los catalizadores anteriores, que trabajaban a base de materiales como el rutenio. Ofreciendo más posibilidades de convertirse en una gran opción en el momento de imitar el proceso de fotosíntesis natural.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

Recalcando el gran riesgo generado por los problemas ambientales, como calentamiento global, utilización de combustibles fósiles y el deterioro de la capa atmosférica, surgen nuevas opciones para lograr producir combustibles no tóxicos al obtener Hidrógeno y Oxígeno por medio de la fotosíntesis artificial, activados por energía solar.

Es así que los investigadores de la universidad Emory y el instituto de Química Molecular de París, presentan este nuevo catalizador a base de cobalto con características importantes como la selectividad, estabilidad, homogeneidad, lo que facilita su eficacia, y se acerca un poco más hacia el gran objetivo de producir Hidrógeno de manera económica, a partir de la luz del Sol sin la mediación de caras células fotovoltaicas. Buscando siempre disminuir los problemas ambientales ocasionados por la utilización de combustibles no renovables.

## **7.9 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Hoja Artificial Inorgánica.

*Investigador Principal:* Dr, Tongxiang fan: profesor del departamento del Instituto de Investigación de materiales compuestos.

*Lugar de la Investigación:* Laboratorio Estatal Clave de compuestos de matriz metálica en la Universidad Jiaotong de Shanghai.

*Fecha de publicación:* Marzo de 2010

*Resumen:* científicos de la Universidad Jiaotong. Liderado por el doctor Tongxiang Fan presentaron el diseño de una Hoja Artificial Inorgánica capaz de producir energía por medio de la luz solar, como una gran alternativa ecológica a los combustibles fósiles no renovables como el carbón, petróleo y gas natural.

El modelo basado en los procesos químicos y biológicos desarrollados por las hojas naturales, podría conducir a encontrar un dispositivo capaz de capturar la energía del sol y producir Hidrógeno como una opción de combustible. Para lograr un proceso eficiente, los investigadores de la Universidad de Shanghai, en China, han estudiado por varios años el proceso de fotosíntesis desarrollado por las plantas naturales y gracias a esto lograron crear una nueva estrategia para el diseño de la hoja artificial, que principalmente logre dividir el agua en sus dos componentes básicos: Hidrógeno y Oxígeno.

Destacando sus ventajas ya que al quemarse el Hidrógeno produce vapor de agua, mientras que los combustibles fósiles al quemarse producen dióxido de carbono, siendo este un gas de efecto invernadero asociado directamente a problemas ambientales.

El proceso de producción de hidrógeno.

Los investigadores de la universidad de China, tienen un enfoque primordial, y es la hoja artificial inorgánica que se basa en una planta con partículas de dióxido de titanio infiltrados para lograr producir el Hidrógeno. Buscando con esto generar una nueva alternativa en la creación de nuevos sistemas artificiales fotosintéticos, basados en los comportamientos naturales biológicos, buscando nuevos prototipos de trabajo, para explotar los recursos de la energía sostenible.

Este proceso consiste principalmente en:

✓ Infiltrar dióxido de titanio en hojas de la anemona vitifolia (planta nativa de China), utilizando técnica de gran avance en la espectroscopia. Destacando que las características estructurales de estas hojas favorecían la recolección y un mejor aprovechamiento de la luz.

Las hojas combinadas con dióxido de titanio, resultaron 8 veces más activas en la producción de Hidrógeno que el propio titanio. Con esto los científicos destacan el adelanto en busca de la construcción total del prototipo de una hoja artificial inorgánica. El estudio presenta dos grandes retos y desafíos, que son la recolección limitada de energía solar, sobre todo la luz visible, y la conversión suficiente de la energía.

### *Resultados*

La principal ventaja que presenta esta técnica sobre otras tecnologías presentes convencionales es que en esta se hace un uso completo de la energía solar y la biomasa, teniendo en cuenta que estas son inagotables y además a bajo costo y hasta gratuitas.

Todo esto pretende utilizar la luz del Sol para dividir las moléculas de agua y de combustible de Hidrógeno, perfilando esta como una opción prometedora para disminuir la contaminación ambiental y por consiguiente la crisis energética mundial.

Una de las principales aplicaciones de esta técnica es lograr convertir la energía solar en combustible químico, en dos etapas fundamentales.

✓ La división de agua foto catalítico para la producción de Hidrógeno.

- ✓ La reducción foto catalítica del dióxido de carbono en combustibles orgánicos.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

Con el objetivo de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y mostrar a la comunidad los avances realizados sobre este tema, se presenta este estudio realizado por la Universidad Jiaotong de Shanghái, en el laboratorio estatal clave de compuestos de matriz metálica como una gran alternativa ecológica en el momento de minimizar el uso de los combustibles fósiles no renovables.

Aportando grandes avances a la fotosíntesis artificial, se introduce el diseño de una hoja artificial inorgánica capaz de capturar energía solar y lograrla utilizar para transformar el agua en combustible de hidrógeno, al infiltrar dióxido de titanio en hojas de la anemona vitifolia, planta nativa de China. Destacándose como una gran alternativa ambiental, ya que al quemarse el Hidrógeno produce vapor de agua, mientras que al quemarse los combustibles fósiles producen dióxido de carbono, desencadenando un gas de efecto invernadero asociado al calentamiento global.

## **7.10 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Obtener electricidad útil de las plantas mediante fotosíntesis e ingeniería genética.

*Investigador Principal:* Gadi Schuster, decano de la facultad de Biología del Instituto Techion.

*Lugar de la Investigación:* Instituto Israelí de Tecnología (Techion), Haifa.

*Fecha de publicación:* Septiembre de 2010.

Resumen: Científicos del Instituto Israelí de Tecnología, (Techion) descubrieron un sistema que podría producir energía eléctrica, manipulando el proceso de fotosíntesis que desarrollan las plantas, estudiando fuertemente una proteína clave, que lograría mover los electrones, y extraerlos del agua y trasladarlos por medio de la membrana celular de los vegetales.

El proceso se desarrolla alterando un aminoácido, de todos los que se encuentran presentes en dicha proteína, y consiste en cambiar la dirección de la emisión de los electrones de positiva a negativa, y de esta manera permitir que la energía obtenida durante el proceso pueda fluir hacia afuera, y no permanezca atrapada en su interior y se pueda aprovechar para uso posteriores.

Cuando ya la proteína se encuentra modificada exporta electrones a una alta frecuencia y así logra producir una cantidad útil de energía, creyendo que se podría producir electricidad partiendo de ella.

#### *Resultados:*

✓ Resaltando que el cambio generado de positivo a negativo no logra perjudicar la función de la proteína y mucho menos en crecimiento y desarrollo de la planta, dejando como resultado grandes cantidades de energía a un bajo costo.

✓ El siguiente y primordial paso es la creación de un mecanismo que permita convertir la energía bioquímica en electricidad, buscando siempre poder suministrar energía eléctrica útil, aunque en realidad este sistema nunca llegará a remplazar los tradicionales, sí se busca abastecer lugares donde la llegada de electricidad tradicional presenta muchas falencias.

✓ La principal meta es lograr con pocas hojas de una planta de gran tamaño, suministrar energía eléctrica durante unas cuantas horas al día.

✓ Dejando como garantías más beneficios en el cuidado del medio ambiente, y una gran opción para regiones que no cuentan con el servicio, por esta razón este sistema se convierte en una opción prometedora, y como si fuera poco la planta no sufre ninguna modificación, su proceso de desarrollo se cumple sin contratiempos.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

La fotosíntesis artificial es un campo de investigación que intenta imitar, la fotosíntesis natural de las plantas.

Con el fin de sistematizar los principales avances presentados por las investigaciones desarrolladas a nivel mundial, se presenta como una opción importante en el momento de lograr suministrar energía eléctrica a lugares aislados donde esta no llega con facilidad, destacando que el proceso llevado a cabo no genera ningún contratiempo a las plantas, y permite el desarrollo normal de estas, al alterar un aminoácido de todos los que se encuentran presentes en dicha proteína y lograr cambiar la dirección de la emisión de los electrones de positiva a negativa, y permitir que la energía obtenida pueda fluir y ser aprovechada. Ayudando de manera significativa a reducir los costos y los problemas ambientales generados por la quema de combustibles fósiles, en la producción de energía eléctrica.

## **7.11 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Árbol artificial PAU-20.

*Investigador Principal:* Grupo interdisciplinario de ingenieros y científicos de TIERRA NUESTRA.

*Lugar de la Investigación:* TIERRA NUESTRA, empresa peruana especializada en la conservación del medio ambiente.

*Fecha de publicación:* Octubre de 2010.

*Resumen:* ante la difícil situación de contaminación ambiental y calentamiento por la que atraviesan miles de ciudades de todo el mundo, la organización peruana, TIERRA NUESTRA, experta en planes para conservar el medio ambiente, expone ante el público su última creación llamada, **PAU-20**, un árbol artificial que absorbe CO<sub>2</sub>, al igual que los bosques naturales máquina única en América, que actúa como alternativa de solución integral para reducir la contaminación que invade las ciudades.

El PAU-20, también llamado súper árbol se presenta como resultado de un largo proceso desarrollado por científicos de la organización peruana, con características relevantes como un tamaño de 5 m, peso total de 1200 kilos, y además es capaz de purificar 200 000 m<sup>3</sup> de aire por día, equivalente a la

cantidad que respiran 20 000 personas. El proceso que desarrolla la especial máquina consta en retirar del aire gérmenes, polvo y bacterias hasta un 100% y absorbe como mínimo el 8% de las partículas que emanan los gases nocivos liberados por los automóviles.

Para desarrollar el proceso de destilación del aire que ya se encuentra contaminado, se necesitan 60 litros de agua, además de condiciones termodinámicas adecuadas para de esta manera lograr equilibrar el proceso, y conseguir que los contaminantes permanezcan en el agua<sup>23</sup>.

Como producto final y demostrando que la máquina es efectiva, solo se desecha lodo estéril, agua no potable sin gérmenes o bacterias, y con gases disueltos, además de que no genera olores desagradables.

### *Resultados*

- ✓ Instalación del primer árbol artificial piloto, PAU-20, en la ciudad de Lima, con el objetivo de disminuir los altos índices de contaminación ambiental.
- ✓ El PAU-20, es capaz de purificar 200.000 m<sup>3</sup> de aire al día.
  
- ✓ Los contaminantes del aire quedan fijados en agua, para poder producir aire limpio.
  
- ✓ La máquina, es capaz de proporcionar valiosa información sobre la contaminación ambiental.
  
- ✓ Es capaz de fijar CO<sub>2</sub> en grandes proporciones.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

De acuerdo con los adelantos presentados por la organización TIERRA NUESTRA, con el árbol artificial PAU-20, se busca implementar unidades en las

---

<sup>23</sup>PAU- 20 es capaz de fijar tanto CO<sub>2</sub> por día como una hectárea de eucalipto.

calles más contaminadas para de esta manera lograr reducir el dióxido de carbono presente en la atmosfera, una de las principales desventajas es el alto costo de cada unidad (aproximadamente 100000 dólares).

El proceso actúa como gran alternativa en el momento de disminuir el aire contaminado por medio del proceso de destilación del aire, necesitándose 60 litros de agua y condiciones termodinámicas adecuadas, para lograr equilibrar el proceso y conseguir que los contaminantes permanezcan en el agua, y retirar del aire gérmenes, polvo y absorber partículas que emanan los gases nocivos liberados por los automóviles y disminuir factores que alteran la estabilidad del ambiente.

## **7.12 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGIA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Nuevo material permite la Fotosíntesis Artificial de forma económica

*Investigador Principal:* Hideki Koyanaka Licenciado en Ingeniería en Energía, Universidad Técnica de Toyohashi, (1986); Magister en Ingeniería Energética, Universidad Técnica de Toyohashi.

*Lugar de la Investigación:* Universidad Japonesa de Kioto.

*Fecha de publicación:* Octubre de 2010.

*Resumen:* científicos de la Universidad Japonesa de Kioto, desarrollaron un nuevo material a base de nano partículas, de alta pureza de dióxido de manganeso, las cuales podrían utilizarse para lograr reproducir la fotosíntesis natural de una manera artificial y a un costo mínimo.

Dichas nano partículas se obtienen mediante una técnica especial de combustión, resaltando que estas desempeñan un papel fundamental en el proceso de fotosíntesis. El tamaño representativo de las nanopartícula es muy reducido (nanómetros), lo que lo convierte en un material reactivo y con mayor efectividad en el proceso de imitar el fenómeno natural, desarrollado por las plantas.

Teóricamente se espera que este nuevo material pudiera reducir el CO<sub>2</sub>, presente en la atmósfera 300 veces más que las plantas.

Teniendo en cuenta que la fotosíntesis artificial es un campo de investigación que intenta reproducir la fotosíntesis natural de las plantas, porque éstas convierten el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos y Oxígeno utilizando la luz solar. La fotosíntesis artificial, que hasta el momento se encontraba en un estadio inicial de desarrollo, podría verse potenciada por los resultados de la labor de los ingenieros japoneses.

### *Resultados*

Sistemas baratos: según los investigadores de la Universidad de Kioto, un factor fundamental, es la economía, y resaltan que con este nuevo hallazgo se podrán reducir los costos y aumentar la eficacia en el momento de sintetizar los azúcares y el etanol, partiendo de la luz y el dióxido de carbono, reduciendo en gran proporción las emisiones de dióxido de carbono lanzadas a la atmósfera. Gracias a la técnica de combustión, llevada a cabo por los científicos, se ha logrado la producción de dióxido de manganeso base del nuevo material.

- REDUCCIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO

En teoría, el nuevo material a base de manganeso, podría reducir el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera 300 veces más que las plantas. Además de reducir los costos, presenta un valor agregado a nivel ecológico; en un inicio su comercialización sería en dispositivos prácticos, de un tamaño pequeño donde principalmente se utilizarían para reducir las emisiones en su misma fuente de producción. (Coches o fábricas).

- FRENAR EL CALENTAMIENTO: al igual que en la fotosíntesis natural (dividida en dos fases), la fotosíntesis artificial también se encuentra dividida en dos fases.

- ✓ Se separa el Oxígeno del Hidrógeno.

- ✓ Imitación de la segunda fase de la fotosíntesis natural, las plantas convierten del CO<sub>2</sub> en glucosa, como almacenamiento de energía para el desarrollo y

crecimiento de las plantas, aplicando el mismo procedimiento a escala industrial, de manera que pueda contrarrestarse el calentamiento global.

De manera específica, esta segunda fase de la fotosíntesis artificial supondría la posibilidad de eliminar el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

Los investigadores de la Universidad Japonesa de Kioto, se enfocan en el campo de la fotosíntesis artificial, por medio del nuevo material construido a base de nano partículas de dióxido de manganeso, como una opción viable en el momento de imitar la fotosíntesis natural que desarrollan las plantas y aun costo mínimo. Con el principal objetivo de convertir el dióxido de carbono y agua, en carbohidratos y Oxígeno, pero siempre con la ayuda del Sol, como factor determinante. Todos estos estudios surgen con el fin de utilizar la energía solar para lograr producir otros tipos de energía que el hombre pueda utilizar de manera limpia y eficiente.

Generando no solo consecuencias positivas a nivel práctico y económico sino también a nivel ecológico, lo que ayudaría a minimizar los problemas ambientales ocasionados por el uso de combustibles fósiles.

### **7.13 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Combustión de hidrogeno. ¿Es posible una combustión limpia?

*Investigador Principal:* Javier Dufour, Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Madrid 2003.

*Lugar de la Investigación:* Universidad Rey Juan Carlos Madrid.  
*Fecha de publicación:* 8 de diciembre del 2010.

### *Resumen de la publicación y resultados obtenidos.*

*Resumen:* al hablar de combustión asociamos la palabra con humo negro, suciedad y contaminación, es interés de grupos de científicos investigadores contradecir esta idea con el uso del Hidrogeno como combustible. El objetivo es presentar una alternativa de futuro y de presente.

El sistema actual energético de combustibles fósiles al parecer se hace cada día más insostenible, las reservas son cada vez más escasas en muchos países, a esto se le suma el gran daño que causan al medio ambiente. Los planes estratégicos de Países de gran potencia Mundial radican en utilizar el Hidrógeno como vector energético y nuevo modelo, este se fundamenta en la variedad de modelos para producirlos y en la diversidad de sistemas de generación de energía para utilizarlo, el proyecto consiste en la construcción de una turbina de gas que opere íntegramente con Hidrogeno su principal fortaleza como combustible se puede lograr teniendo en cuenta que el único producto de la combustión, de la reacción química de Hidrogeno con oxígeno es vapor de agua y su principal debilidad es su baja densidad de grandes volúmenes de acumulación.

Se presentan grandes desafíos en el momento de lograr un sistema de producción de este tipo como lo son:

- ✓ El lento desarrollo, su escasa vida útil y su elevado precio, hacen inviable su competencia con las energías convencionales.
- ✓ La adaptación de motores de combustión y turbinas para su funcionamiento con Hidrogeno.

### *Resultados:*

- ✓ El gran potencial de las tecnologías basadas en la combustión de Hidrógeno se basa en el aprovechamiento de la estructura industrial actual, debido a que son sistemas de alta fiabilidad.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Recalcando el gran riesgo generado por los problemas ambientales, como calentamiento global utilización de combustibles fósiles y el deterioro de la capa atmosférica, surgen nuevas opciones para lograr producir combustibles no tóxicos al obtener Hidrógeno y Oxígeno por medio de la fotosíntesis artificial, activadas

por energía solar con el fin de que a un futuro disminuir la utilización de los combustibles fósiles que tanto han afectado el medio ambiente.

#### **7.14 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Descubren como almacenar de manera estable el calor del sol.

*Investigador Principal:* Jeffrey Grossman, profesor del Instituto Tecnológico de Massachussets, Científico Livermore National Laboratory, Universidad de California, Berkeley.

*Lugar de la Investigación:* Universidad de California, Berkeley. Estados Unidos.

*Fecha de publicación:* 17 de Febrero del 2011.

##### *Resumen de la publicación y resultados obtenidos*

Los resultados de este estudio muestran como exactamente actúa una molécula llamada Fuvaleno Dirutenio al almacenar calor y al liberarlo, mediante dos procesos activables de manera artificial, gracias a este conocimiento es posible encontrar sustancias químicas similares en comportamiento, compuestas por ingredientes más abundantes y menos caros que el rutenio.

Esto podrá convertirse en la base para desarrollar una batería recargable que almacene calor en vez de electricidad. La sustancia estudiada que fue descubierta en 1996, experimenta una transformación estructural cuando absorbe la luz Solar, pasando a un estado de alta energía en el cual puede permanecer estable por tiempo indefinido. Para activar la transformación que la saca de ese estado, basta con agregar una pequeña cantidad de calor o bien usar un catalizador, esa transformación hace que la sustancia regrese a su forma original, liberando durante el proceso el calor que había retenido.

En el proceso se desarrolla un paso intermedio que desempeña un papel fundamental. En este la sustancia forma una configuración semiestable entre los dos estados conocidos previamente. El hallazgo ha sido inesperado, el proceso de dos pasos ayuda a explicar por qué la sustancia es tan estable, debido a que este es fácilmente reversible y también por qué la sustitución del rutenio por otros elementos no ha funcionado hasta ahora; comparada con otras tecnologías que se valen de la energía Solar, esta singular batería de calor aprovecharía muchas de las ventajas de la energía Solar térmica, pero con la diferencia de que almacena el calor en forma de combustible. El hecho de que sus transformaciones sean estables a largo plazo pero reversibles a voluntad del usuario es también una base importante, al usuario le bastaría exponer el combustible al Sol para cargarlo, luego lo utilizaría para que emitiera calor, y de nuevo se iniciaría el ciclo volviendo a exponer el mismo combustible al sol para recargarlo.

✓ la sustancia estudiada con fin de almacenar calor, experimenta una transformación estructural cuando absorbe la luz Solar, pasando a un estado de alta energía en el cual puede permanecer estable todo por tiempo indefinido.

✓ El resultado de un catalizador de Fulvaleno es un proceso muy estable que permite almacenar energía del Sol y posteriormente ser liberada de forma reversible.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de investigación*

La comunidad científica en su afán de menguar el daño producido por la emisión de productos de combustibles fósiles que causan un deterioro a la capa de ozono y que sin este es mucho más directo las radiaciones del Sol, el equipo de Investigadores de Instituto Tecnológico de Massachussets, han descubierto como exactamente actúa una molécula en el proceso de almacenar calor y liberarlo mediante un molécula llamada Fulvaleno Dirutenio, es la finalidad de este equipo de investigadores producir baterías donde sean fácilmente recargables mediante la exposición a la energía del Sol para posteriormente ser nuevamente utilizada.

### **7.15 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Fotosíntesis I: Principios de diseño para la recolección de la Luz.

*Investigador Principal:* Graham Fleming: Profesor de Química y Biodinámica, adscrito al Departamento de Química de la Universidad de California en la ciudad de Berkeley, Estados Unidos.

*Lugar de la Investigación:* Laboratorio Nacional Berkeley (*Lawrence Berkeley National Laboratory*), Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.

*Fecha de publicación:* Mayo de 2011

*Resumen de la publicación:* Científicos de la Universidad de California, en Berkeley, a cargo del profesor Graham Fleming, han conseguido crear un complejo fotosintético pigmento-proteína, que convierte la energía de la luz solar en una forma química.

Con el fin de descubrir porque los sistemas naturales realizan la fotosíntesis de manera eficiente. Las reglas de diseño que rigen la estructura y los procesos dinámicos de la transferencia de energía de excitación, para descubrir cómo los vegetales son capaces de transferir energía a través de una red de complejos pigmento-proteína con casi un ciento por ciento de eficiencia.

Simulando la energía de transferencia electrónica en el complejo de la recolección de la luz en el fotosistema II, que ocurre en la fotosíntesis natural.

Resultados:

Fleming y su grupo de investigación lograron conectar el flujo de energía de activación a funciones de transferencia de energía, mediante enlaces directos entre estructuras atómicas y electrónicas en los complejos pigmento-proteína; con ayuda de las funciones de transferencia de energía dentro de la proteína fotosintética FMO\*.

---

\*Proteína que absorbe fotones y dirige la energía de excitación hacia un centro de reacción donde puede ser convertida en energía química

-Examinar la dinámica cuántica, de un complejo fotosintético pigmento-proteína, denominado en la planta FMO, siendo este un complejo soluble en agua, y que permite ser señalado por la espectroscopia de Rayos X, propio de las bacterias verdes del azufre; su función es participar en la transferencia de energía de excitación de los clorosomas captadores de luz solar.

- Utilizar la técnica de espectroscopia electrónica 2D, que ha permitido estudiar las estructuras electrónicas de átomos y moléculas.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el fin de sistematizar las diferentes investigaciones de sistemas artificiales para explotar la química básica de la fotosíntesis con el fin de producir combustibles de Hidrógeno. Se presenta esta investigación, realizada por la Universidad de California, en Estados Unidos, un diseño novedoso en cuanto a adelantos en esta rama, con la implementación de un pigmento-proteína que absorbe los fotones y dirige la energía de reacción hacia un centro de reacción donde puede ser convertida en energía química, para posteriormente ser utilizada como combustible.

El resultado neto es un aumento en la urgencia de diseñar sistemas eficaces de fotosíntesis artificial. Este es un problema global que se hace más importante cada día y pronto se convertirá en el problema científico dominante.

## **7.16 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

Identificación del trabajo: nanocristales de óxido metal a metal.

Investigador Principal: Peidong Yang; Profesor de Química de la Universidad de California, investigador del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), Director del Fondo Norte del Centro Conjunto de Artificial Fotosíntesis (JCAP).

Lugar de la Investigación: Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, California Estados Unidos

Fecha de publicación: Junio 2 de 2011

Resumen de la publicación: científicos estadounidenses, que hacen parte del grupo de investigadores del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, liderado por el profesor del Departamento de Química de la Universidad de Berkeley, Peidong Yang, han creado un dispositivo compuesto por dos capas de nanocristales de metales. Estos aparatos catalíticos permiten múltiples reacciones, secuenciales para llevar a cabo de manera selectiva y en conjunto, el proceso de la fotosíntesis artificial.

Utilizando la técnica de “*Langmuir-Blodgett*”, llamada así por el profesor Yang, para determinar, “si la integración de los dos tipos de caras de óxido de metal en la superficie de un solo metal activo por nanocristales, podrían producir un catalizador nuevo”<sup>24</sup>.

Resultados:

El montaje consiste en depositar una capa de Platino y Óxido de Cerio en un nano cubo, con un contenido de sustrato de Silicio. Nanocubos de menos de 10 nanómetros de espesor y apilados uno encima del otro para crear dos distintas caras de metales: Silicio de Platino y de óxido de Cerio.

Según el profesor Yang, “en primer lugar, el Óxido de Cerio y de platino catalizan la interfaz de metanol para producir monóxido de Carbono e Hidrógeno. Estos productos se sometieron a hidroformilación de etileno (proceso empleado en la industria para la obtención de aldehídos a partir de olefinas, monóxido de carbono e hidrógeno.), a través de una reacción catalizada por la conexión entre platino de sílice.

Figura 11. Catalizador metal sobre metal para la producción de energía



Fuente: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2011/April/11041102.asp>

<sup>24</sup>YANG. Nanocristales en tandem. <http://newscenter.lbl.gov/feature-stories/2011/04/11/tandem-catalysis-in-nanocrystals/>

Vista de un microscopio electrónico muestra una monocapa de óxido de cerio sobre una mono capa de platino, dispositivo de nano catalizadores.

Asegurando el transporte de carga eficiente y la recolección del combustible.

*Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el objetivo de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y exponer, las distintas innovaciones en energía, se presenta esta novedosa investigación, dirigida por el Profesor Yang, en Estados Unidos. Un material que cuenta con diferentes metales (Silicio de Platino) y con la ayuda de catalizadores a base de Oxido de Cerio, que aceleren el proceso de absorción de energía solar y la producción de Hidrógeno

Como se sabe la generación de combustibles por la transformación directa de energía solar en un sistema completamente integrado es una meta atractiva, sin embargo, aunque se ha demostrado que este sistema requiere de eficiencia, y que se pueda fabricar a un costo razonable. Este dispositivo resulta especialmente prometedor como un acelerador de la reacción química que tiene por objetivo separar el Hidrógeno del agua, y convertirlo en combustible como una fuente barata de energía eléctrica para los hogares en los países en desarrollo.

## **7.17 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* fotosíntesis artificial II.

*Investigador Principal:* Nathan S. Lewis; Profesor de Química, Instituto de Tecnología de California *Caltech*. Investigador principal del Centro Conjunto para la fotosíntesis artificial.

*Lugar de la Investigación:* Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, Universidad de California, Estados Unidos.

*Fecha de publicación:* junio 5 de 2011

*Resumen de la publicación:* Científicos de la Universidad de California, en Estados Unidos, en conjunto con el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley; liderado por Nathan Lewis, del Instituto de Tecnología de California (Caltech), con la colaboración del profesor Lin-Wang Wang del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), y el científico David Skinner del Centro Científico Nacional de Investigaciones en Energía (NERSC); adelantan investigaciones centradas en la creación de un prototipo de dispositivo que puede producir combustible a partir de energía solar, como una fuente doméstica de energía que es limpia, ecológica y renovable.

El objetivo de este proyecto es diseñar una célula fotoeléctrica capaz de producir combustible 10 veces la eficiencia de la fotosíntesis natural. Tal dispositivo aprovecha la luz solar para generar combustible químico, con la separación de agua para generar hidrógeno.

Resultados:

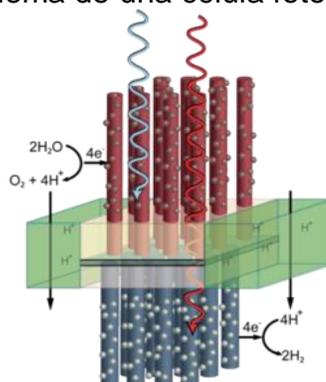
El desarrollo del proyecto cuenta con cuatro componentes básicos, según Lewis<sup>25</sup>:

1. Absorbente de luz: materiales semiconductores con capacidad para absorber la luz y con gran potencial de para la división de agua.
2. Catálisis: moléculas eficientes para acelerar el proceso de la separación del Hidrógeno del agua.
3. Membranas: material adecuado y las rutas de fabricación de una membrana multifuncional que es el ingrediente clave en una celda fotoelectroquímica y enlazadores.
4. Búsqueda de las moléculas para tallar el flujo de la luz del Sol y el calor, lo que permite la conversión de la luz solar en energía eléctrica y química.

---

<sup>25</sup>LEWIS, N. Energía solar para la conversión de combustibles. <http://energy.gov/articles/fuels-sunlight-hub>.

Figura 12. Esquema de una célula fotoelectroquímica



Fuente: <http://www.nersc.gov/science/energy-science/artificial-photosynthesis-ii-joint-center-for-artificial-photosynthesis-jcap-simulations/>

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el objetivo de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y exponer, las distintas innovaciones en energía, se presenta este estudio realizado por el Instituto de Tecnología de California, con ayuda del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBLN), dada la urgencia de los desafíos en energía y clima, existentes, es importante considerar esta investigación como una de las más viables.

El objetivo de esta investigación es acelerar el desarrollo de un proceso comercial sostenible para la conversión de la luz solar en combustibles químicos, a través de mecanismos basados en la fotosíntesis natural, con la implementación de una célula fotoelectroquímica, un dispositivo que permite la generación de manera simultánea de energía química. Logrando una eficiente y efectiva investigación para convertir la energía solar en combustible, podría tener un impacto significativo en la seguridad energética y la producción de energía a nivel mundial.

### **7.18 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Bio-inspirado en la catálisis para la oxidación del agua: el gran reto para la Fotosíntesis artificial y combustible solar.

*Investigador Principal:* Marcella Bonchio; Profesora del Departamento de Química y ciencias de la Universidad de Padua, Italia.

*Lugar de la Investigación:* Centro de investigaciones de la Universidad de Padua, en la ciudad de Padua, Italia.

*Fecha de publicación:* Junio 24 de 2011

*Resumen:* Investigadores de la Universidad de Padua, con la colaboración de otras Universidades (Trieste, Jacobs Bremen, Zurich y Tor Vergata); adelantan estudios relacionados con el mejoramiento en el proceso de fotosíntesis artificial. A cargo de la profesora Marcella Bonchio, con la colaboración de los profesores Gianfranco Scorrano, Mauro Carraro, Andrea Sartorel, adscritos a Universidad de Padua; el equipo de investigación ha aislado un catalizador particular sintético que concreta la esperanza de ser capaces de utilizar el agua y la luz solar para producir Hidrógeno como una opción de energía limpia.

El proyecto según Bonchio<sup>26</sup>, “se enfatiza en la utilización del oxígeno y el Peróxido de Hidrógeno, en presencia de catalizadores, para llevar a cabo la oxidación de moléculas orgánicas, adicionalmente a esto también se utilizan reacciones fotoquímicas aplicadas también a la degradación oxidativa de los compuestos Contaminantes”.

Utilizando complejos metálicos y moléculas orgánicas, que se combinan para producir nuevos materiales híbridos para aplicaciones en catálisis y reconocimiento molecular. Los catalizadores son preparados por reacciones de oxidación asimétrica, o la formación de enlaces carbono-carbono. Catalizadores Polyoxometalatos de Wolframio se utilizan como plataformas para el anclaje de ligandos\*\* orgánicos adecuados para el desarrollo del proceso de fotosíntesis artificial.

## *Resultados*

---

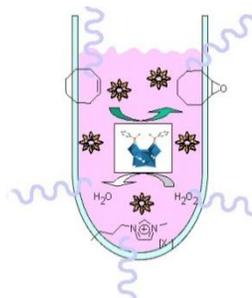
<sup>26</sup>BONCHIO, M. Fotosíntesis artificial. <http://lib.bioinfo.pl/pmid:21547686>.

\* Compuestos químicos, que se pueden describir como fragmentos discretos de óxidos metálicos, de tamaño y forma bien definidos.

\*\* Compuesto orgánico capaz de enlazarse a un centro metálico a través de uno o varios átomos.

Construcción de un catalizador de oxidación a partir de Polioxometalatos inorgánicos (POM) teniendo estos la ventaja de ser discretos, solubles, que se caracteriza por una gran variedad estructural y por poseer propiedades específicas tales como: un tamaño en nano-dimensiones, la carga polianiónicos y presentar alta reactividad en su superficie.

Figura 13. Química verde en reacciones de oxidación y síntesis de nuevos catalizadores



Fuente: <http://www.chimica.unipd.it/mauro.carraro/pubblica/progetti.htm>

El oxígeno y el peróxido de Hidrógeno se utiliza en presencia de catalizadores de los disolventes alternativos (líquidos iónicos y disolventes fluorados) y métodos no convencionales de la activación fotoquímica para llevar a cabo la funcionalización oxidativa de las moléculas orgánicas.

Con el fin de utilizar sus productos: Hidrógeno o Peróxido de Hidrógeno para la transferencia del Hidrógeno a los hidrocarburos saturados, alcoholes, para la utilización como combustibles, y así ayudar un poco a la desintoxicación masiva, por dióxido de carbono al planeta.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el objetivo de sistematizar las investigaciones desarrolladas a nivel mundial sobre fotosíntesis artificial y exponer, las distintas innovaciones en energía, se presenta aquí una combinación de estudio de síntesis sobre el uso de catalizador metálicos denominado polioxometalato de Wolframio, (wolframato); utilizados ampliamente, por su flexibilidad y capacidad para aceptar y devolver electrones, con el fin de lograr la hidrólisis del agua.

Es una investigación innovadora, y tiene muy claro el propósito de su investigación, los procesos han sido favorables, cuenta con un gran grupo de investigadores de

diferentes universidades, todos con un mismo propósito, disminuir la alteración nociva del estado natural del ambiente como consecuencia de la introducción de agentes contaminantes (petróleo, radiación ionizante y gases tóxicos) que causa tanto daño en el ecosistema en que vivimos.

## **7.19 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Fotosíntesis artificial: producir combustibles a partir de la energía solar

*Investigador Principal:* Carles E. Curutchet, Instituto de química computacional, Universidad de Girona.

*Lugar de la Investigación:* Universidad de Girona e Instituto de Química Computacional.

*Fecha de publicación:* 25 de Julio del 2011.

*Resumen de la publicación y resultados obtenidos:* el hombre en su afán de desarrollo y nuevas tecnologías poco a poco se concientiza más sobre la realidad del avanzado cambio climático en el que se encuentra el planeta; para la comunidad científica es ya preocupante y por ello busca el desarrollo de energías renovables que teóricamente son inagotables.

Una solución muy atractiva se basa en imitar el proceso natural que las plantas realizan, este campo de fotosíntesis artificial es uno de los mayores retos de la ingeniería química en el siglo XXI, la gran ventaja radica en que la energía se podría almacenar fácilmente ya que el proceso produce un combustible mas no electricidad de la misma forma que las plantas almacenan la glucosa que generan a través de la fotosíntesis. Teniendo como objetivo desarrollar dispositivos que no se limiten a captar energía solar y convertirla en electricidad (como una celda fotovoltaica a partir de la electrolisis del agua) si no que pretende usar esta energía para producir un combustible renovable, de este modo la energía solar se usaría directamente para disociar agua en Oxígeno e Hidrógeno; destacando que el Hidrógeno también se logra utilizar como combustible en máquinas térmicas o en la producción de otros combustibles. Dando como resultado la no emisión de gases de efecto invernadero y obtención de agua como producto final. La gran

ventaja radica en que la energía se podrá almacenar fácilmente, ya que el proceso produce un combustible no contaminante. El gran desafío es desarrollar un catalizador químico que consiga disociar el agua en Hidrógeno y Oxígeno usando la energía solar absorbida.

Aunque esta tecnología se encuentra aún en su infancia, y se cree que aun debería pasar años antes de que sea posible integrar todos los pasos necesarios a fin de capturar la luz Solar y producir el combustible final de forma económicamente viable, no hay duda que en los próximos años los avances de este campo de investigación prometen ser muy excitantes.

### *Resultados*

- ✓ Desarrollar un catalizador químico que consiga disociar el agua en Hidrógeno y Oxígeno usando la energía solar absorbida. Tal fotocatalizador debería ser capaz de extraer secuencialmente cuatro electrones de dos moléculas de agua.
  
- ✓ Desarrollar dispositivos que no se limiten a captar la energía solar y convertirla en electricidad, si no que se pretenda usar esta energía para producir un combustible.
  
- ✓ El resultado es un catalizador de oxidación del agua que es mucho más estable que la que se encuentra en la naturaleza”.
  
- ✓ Dicho catalizador pretende imitar al fotosistema II de la maquinaria fotosintética natural y cuya estructura atómica detallada se determinó en el año 2000 después de veinte años de investigación.

### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Destacando el gran riesgo generado y los problemas ambientales, como calentamiento global, efecto invernadero entre otros que causa la utilización de combustibles fósiles y el deterioro de la capa atmosférica, surgen nuevas opciones para lograr producir combustibles no tóxicos al obtener Hidrógeno y Oxígeno por medio de la fotosíntesis artificial, activadas por energía Solar. Es así que los investigadores de la Universidad Girona y el Instituto de Química Computacional presentan un nuevo catalizador capaz de disociar agua en Oxígeno e Hidrógeno, con la ventaja de almacenamiento fácil, de este modo nos acerca un poco más

hacia el gran objetivo de producir combustible en forma de Hidrógeno de manera barata a partir de la luz del Sol sin la mediación de caras células fotovoltaicas.

## **7.20 RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL ACTIVADOS POR ENERGÍA SOLAR**

*Identificación del trabajo:* Fotosíntesis artificial para la producción de combustibles químicos.

*Investigador Principal:* Shunichi Fukuzumi; Profesor de la Universidad de Osaka, director de ALCA (Advanced Research) líder del programa global del Consejo de Europa, Mundial de Educación y el Centro de Investigación por Bio-Química Ambiental en la Universidad de Osaka.

*Lugar de la Investigación:* Universidad de Osaka, en la ciudad de Osaka, Japón.

*Fecha de publicación:* 17 de agosto de 2011

*Resumen:* Científicos de la universidad de Osaka, en Japón, han desarrollado un sistema que mejora el desarrollo de técnicas de transferencias de electrones, durante el proceso de fotosíntesis artificial. Liderado por el profesor Shunichi Fukuzumi, presento un dispositivo que intenta imitar los varios pasos de transferencia de electrones y sistemas que pueden reproducir las funciones del centro de reacción fotosintética, alcanzando un estado de larga duración y alta carga de energía separados sin pérdida significativa de energía de excitación por un control preciso de los potenciales redox.

### *Resultados*

Esta investigación presenta el desarrollo reciente de cada unidad de la fotosíntesis artificial y algunas combinaciones de recolección de luz y separación de las unidades de carga de las unidades catalíticas para la reducción de agua y la oxidación, así como la fijación de CO<sub>2</sub>.

Los resultados de la investigación de Fukuzumi se resumen en:

Describir el desarrollo reciente de los sistemas bioinspirados en la fotosíntesis artificial. En primer lugar, de varios pasos de transferencia de electrones, sistemas compuestos por electrones como donador-aceptor juntos se presentan, quienes imitan las funciones del centro de reacción fotosintética. Sin embargo, una cantidad significativa de energía se pierde durante el paso de transferencia de electrones. Entonces, como una alternativa a la convencional separación de carga, se proponen funcionales modelos moleculares basados en múltiples pasos de transferencia de electrones de largo alcance dentro de las cascadas redox, simple electrón donador-aceptor, parejas unidas por enlaces covalentes o no covalentes se han desarrollado para lograr una larga vida y con una alta energía de carga, sin una pérdida significativa de energía de excitación. Tales parejas moleculares simples, son capaces de separación de carga rápida, tienen importantes ventajas con respecto a la viabilidad sintética, ofreciendo una variedad de aplicaciones, incluyendo la construcción de células solares orgánicas y el desarrollo de sistemas eficientes fotocatalíticos para la conversión de energía solar.

#### *Anotaciones al documento y aportes al trabajo de la investigación*

Con el fin de sistematizar los adelantos relacionados con los proceso, de producción de energía renovable, se presenta la investigación “fotosíntesis artificial para la producción de combustibles, químicos”, que permitan disminuir los cada vez más grandes, problemas ambientales, como: efecto invernadero, contaminación de la atmosfera, entre otros. Sin embargo, en años recientes se la debido prestar cada vez mayor atención, ya que ha aumentado la frecuencia de la gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo y cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre ambiente y salud.

El rápido consumo de combustibles fósiles ha provocado problemas ambientales inaceptables, como los efectos de invernadero, lo que llevaría a las desastrosas consecuencias climáticas. Ahora los recursos de energía renovables y limpias son sin duda necesarios con el fin de resolver los problemas mundiales para el éxito del medio ambiente.

Basados en múltiples pasos de transferencia de electrones se han desarrollado para lograr una larga vida y con una alta energía de carga, sin una pérdida significativa de energía de excitación; para la producción de Hidrógeno como combustible, que es de esperar sea más eficiente que los sistemas naturales, mediante la aplicación de la química básica de la fotosíntesis artificial.

## 8. SISTEMATIZACIÓN

A continuación, en la tabla 8.1 se presenta de forma sistematizada de acuerdo con la fecha de publicación, las diferentes investigaciones más relevantes de entre 60 consultas sobre los procesos de fotosíntesis artificial activados por energía solar, que aparecen en cada una de las referencias indicadas. Destacando de manera significativa: el nombre de la investigación, autor fecha y lugar de la investigación y resumen de la publicación.

Cuadro 1. Sistematización de la información recolectada

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR, FECHA Y LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN	RESUMEN DE LA PUBLICACIÓN
1. FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL	Violeta Braach Maksytis  27 de noviembre de 2000.  CSIRO, Organización Industrial de Investigaciones. Sydney Australia.	Construcción de una membrana artificial a partir de materiales semiconductores, que imiten la función de la clorofila, con el fin de absorber la energía necesaria para la producción de bioproductos, como combustibles alternativos.
2. DESDE LA FOTOSÍNTESIS NATURAL HASTA LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL	Stebjörn Styring  Ann Mangunson  Consorcio Sueco de fotosíntesis artificial  Departamento de Química Universidad de Uppsala  Uppsala, Suecia  Diciembre de 2007	Construcción de un complejo a partir de placas de Rutenio, el cual es impactado con luz solar, este libera electrones que son enviados al complejo de Manganeso, aquí toma los electrones y el agua, y como resultado es la liberación, de electrones como iones de Hidrógeno y oxígeno.
3. INVESTIGACIÓN SOBRE LA ENERGÍA	Giacomo Ciamician  26 de junio de 2006	Separar las cargas eléctricas formadas gracias al rompimiento de la molécula de agua por fotolisis, para así poder obtener un diferente potencial eléctrico aprovechable.

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	AUTOR, FECHA Y LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN	RESUMEN DE LA PUBLICACIÓN
4. HOJA ARTIFICIAL GENERA ENERGÍA DEL AGUA	Daniel Nocera. MIT, instituto tecnológico de Massachusetts. Agosto de 2008	Diseño y construcción de un Electrolizador compuesto por una placa de silicio que separa dos catalizadores (cobalto y fosfato) y logra romper las moléculas de agua en Hidrógeno y Oxígeno, las cuales son enviadas a una célula de combustible que puede producir electricidad más eficiente que las células solares.
5. FOTOSINTESIS ARTIFICIAL BIO-INSPIRADA EN LA CATÁLISIS	Thomas A. Moore Centro de bioenergía y fotosíntesis Universidad Estatal de Arizona Arizona, Estados Unidos Septiembre 8 de 2008	Incorporar al cloroplasto artificial una enzima ATP-sintetasa, principal responsable del aprovechamiento del desequilibrio en la concentración de H <sup>+</sup> para producir ATP, a una vesícula rodeada de una cubierta parecida a las membranas de los cloroplastos naturales. En ella se hallaban las clorofilas tratadas sintéticamente, junto con otros compuestos que se añaden con la intención de generar una acumulación de iones H <sup>+</sup> en la parte interna de la membrana. Consiguiéndose un comportamiento similar al de los cloroplastos reales.
6. NANOTUBOS DE CARBONO PARA GENERAR COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO	Kara Bren Universidad de Rochester, New York, Estados Unidos. Octubre de 2009	Elaboración de un Dispositivo conformado por tres módulos, los cuales trabajan separadamente; el primero toma la luz solar y produce electrones libres, el segundo es una membrana hecha de nanotubos de carbono, que conduce los electrones hacia el tercer módulo, en este, por medio de catalizadores, se utilizan los electrones para producir Hidrógeno a partir del agua.
7. ESPUMA DE RANA COMO COMBUSTIBLE	Carlo Montemagno Laboratorio de Montemagno, universidad de Cincinnati, Ohio estados unidos.	Utilización del material (espuma) producido por la rana tungara, que permite que la luz y el aire penetren, al igual que los reactivos, la cual presenta como principal ingrediente la proteína surfactante ranaspumín - 2, que permite que la espuma se

	05 de marzo de 2010	<p>forme a bajas concentraciones sin alterar las membranas celulares.</p> <p>La espuma logra convertir la luz en ATP, (adenosin trifosfato), y el CO<sub>2</sub> en azúcar por medio del ciclo de Calvin.</p>
8. NUEVO CATALIZADOR NOS LLEVA A LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL	<p>Craig Hill y Benjamin Yin</p> <p>Universidad Emory (Atlanta) y el Instituto de química de Paris.</p> <p>11 de marzo de 2010</p>	<p>Desarrollo de un catalizador tipo WOC, para imitar el proceso de fotosíntesis natural y producir combustibles de manera limpia, incorporándolo a un sistema de fotólisis, buscando a largo plazo la producción de Oxígeno e Hidrógeno a partir de agua, resaltando que el hidrógeno se utiliza como combustible en máquinas térmicas o en la producción de otros combustibles, dejando como resultado la no emisión de gases de efecto invernadero y obteniéndose de nuevo agua como producto final.</p>
9. HOJA ARTIFICIAL INORGÁNICA	<p>Dr. Tongxiang fan.</p> <p>Laboratorio estatal clave de compuestos de matriz metálica en la universidad Jiaotong de Shanghai.</p> <p>Marzo de 2010</p>	<p>Diseño de una hoja artificial, que logra dividir el agua en sus componentes básicos.</p> <p>El proceso consiste en infiltrar dióxido de Titanio en hojas de anemona vitifolia (planta nativa de china), por medio de técnicas de espectroscopia para lograr producir hidrogeno generando alternativas en la creación de nuevos sistemas artificiales fotosintéticos.</p>
10. OBTENER ELECTRICIDAD ÚTIL DE LAS PLANTAS MEDIANTE FOTOSÍNTESIS E INGENIERÍA GENÉTICA.	<p>Gadi Schuster y Noam Adir</p> <p>Techion, Instituto israelí de Tecnología, Haifa.</p> <p>Septiembre de 2010</p>	<p>Consiste en una proteína clave que lograría mover los electrones, extraerlos del agua y trasladarlos por medio de la membrana celular de los vegetales, el proceso se desarrolla alterando un aminoácido, de los que se encuentran presentes en la proteína, y cambiando la dirección de la emisión de los electrones de positiva a negativa y permitir que la energía obtenida pueda fluir hacia afuera y ser aprovechada en usos posteriores. Cuando ya la proteína se encuentra modificada exporta electrones a frecuencias altas y de esta manera lograr producir cantidad</p>

		útil de energía.
11. ÁRBOL ARTIFICIAL PAU-20	Grupo interdisciplinario de ingenieros y científicos de TIERRA NUESTRA. Perú  TIERRA NUESTRA.  Octubre de 2010	Creación de PAU-20, un árbol artificial que imita la fotosíntesis natural, y absorbe CO <sub>2</sub> y es capaz de purificar 200000 m <sup>3</sup> de aire por día.  El proceso consta en retirar del aire gérmenes, polvo y bacterias, y necesita 60 litros de agua, como también condiciones termodinámicas para equilibrar el proceso.  Como producto final se desechan lodo estéril, agua no potable sin gérmenes o bacterias, y no genera olores desagradables, el PAU-20, es capaz de fijar tanto CO <sub>2</sub> por día como una hectárea de eucalipto.
12. NUEVO MATERIAL PERMITE LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL DE FORMA ECONÓMICA.	Hideki Koyanaka.  Universidad japonesa de Kioto  Octubre de 2010	Desarrollo de material a base de nano partículas de alta pureza de MgO <sub>2</sub> , estas se obtienen por una técnica especial de combustión, de tamaño reducido (nanómetros), convirtiéndose en un material reactivo y con mayor efectividad en el proceso de imitar el fenómeno natural, desarrollado por las plantas, se espera que este nuevo material reduzca hasta 300 veces más que las plantas en CO <sub>2</sub> presente en la atmósfera.
13. COMBUSTION DE HIDRÓGENO ¿ES POSIBLE UNA COMBUSTIÓN LIMPIA?	Javier Dufour  Universidad Rey Juan Carlos Madrid  Madrid España  9 de diciembre de 2010	Utilizar el Hidrógeno como vector energético del nuevo modelo, este se fundamenta en la variedad de modelos para producirlos y en la diversidad de sistemas de generación de energía para utilizarlo destacando que el Hidrógeno también se logra utilizar como combustible en máquinas térmicas o para la producción de otros combustibles.
14. ALMACENAR DE	Jeffrey Grossman del MIT	Mostrar cómo actúa una molécula llamada Fivaleno Dirutenio al almacenar calor y al liberarlo, mediante dos procesos activables de manera artificial, siendo base para desarrollar una batería recargable

<p>MANERA ESTABLE EL CALOR DEL SOL</p>	<p>Cientifico Livermore National Laboratory</p> <p>Universidad de California, Berkeley.</p> <p>17de febrero de 2011</p>	<p>que almacene calor en vez de electricidad. Experimentando una transformación estructural cuando absorbe la luz Solar, pasando a un estado de alta energía en el cual puede permanecer estable todo por tiempo indefinido. Obteniendo como resultado un catalizador de Fulvaleno es un proceso muy estable que permite almacenar energía del Sol y posteriormente ser liberada de forma reversible.</p>
<p>15. FOTOSÍNTESIS I: PRINCIPIOS DE DISEÑO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA LUZ</p>	<p>Graham Fleming</p> <p>Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.</p> <p>Mayo de 2011.</p>	<p>Fabricación de un complejo fotosintético, pigmento-proteína, FMO (proteína fotosintética), que convierte la energía de la luz solar en una forma química.</p> <p>Conectando el flujo de energía de activación a funciones de transferencia de energía, para descubrir como las plantas son capaces de transferir energía a través de una red de complejos pigmento-proteína.</p>
<p>16. NANO CRISTALES DE OXIDO METAL A METAL</p>	<p>Peidong Yang</p> <p>Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.</p> <p>Junio 2 de 2011</p>	<p>Elaboración de un complejo, formado por nano hilos de Titanio cubiertos de Silicio, que recrea una hoja vegetal, la cual convierte la luz solar, en Hidrógeno y Oxígeno. Mediante el uso de mezclas de dióxido de carbono, agua y luz solar, con el fin de sustituir, la gasolina, diesel, carbón y gas natural como únicas fuentes de combustible, utilizadas por el hombre.</p>
<p>17. FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL II</p>	<p>Nathan S. Lewis</p> <p>Ling Wang Wang</p> <p>David Skinner</p> <p>Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos</p>	<p>Creación de un prototipo de dispositivo que produce combustible químico a partir de energía solar. Una célula fotoeléctrica, con materiales semiconductores, con suficiente potencial para la absorción de luz solar y la producción de división del agua para generar, Hidrógeno.</p>

	5 de junio de 2011	
18. BIO-INSPIRADO EN CATÁLISIS PARA LA OXIDACIÓN DEL AGUA: EL GRAN RETO PARA LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL	<p>Marcella Bronchio</p> <p>Centro de investigaciones de la Universidad de Padua</p> <p>Padua, Italia</p> <p>Junio 24 de 2011</p>	Elaboración de un polioxocomplejos sintéticos, a partir del Wolframio, con el fin de producir Wolframatos o polioxometalatos de Wolframio denominados POM que concreta la producción de Hidrógeno a partir del agua, y la energía solar. Para ser almacenado y posteriormente utilizado como combustible.
19. FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL: PRODUCIR COMBUSTIBLES A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR	<p>Carles E. Curitchet</p> <p>Instituto de química computacional</p> <p>Universidad de Girona</p> <p>Girona, Cataluña, España Julio de 2011</p>	Desarrollo de un catalizador químico, que disocie el agua en Hidrógeno y Oxígeno.
20. FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL PARA LA PRODUCCION DE COMBUSTIBLES QUÍMICOS	<p>Shunichi Fukuzumi</p> <p>Universidad de Osaka, ciudad de Osaka, Japón.</p> <p>17 de agosto de 2011</p>	<p>Diseño y combinación de la unidad de recolección, de energía solar y la unidad de carga de separación de las moléculas de Hidrógeno y Oxígeno.</p> <p>Con ayuda de un catalizador para alcanzar más eficientemente el sistema foto catalítico.</p>

## 9. DISCUSIÓN

De acuerdo con la Tabla 8.1, sistematización de la información recolectada, se observa que los procedimientos para obtener Hidrógeno y Oxígeno, a partir del agua, con ayuda de energía solar; se están desarrollando en un número relativamente pequeño, resaltando el trabajo investigativo desarrollado por países como: Estados Unidos, Japón, Francia, España, Italia, Alemania y Australia.

Teniendo en cuenta que todos los procesos desarrollados se enfocan hacia la misma perspectiva como es la producción de Hidrógeno y Oxígeno a partir de energía solar, argumentando que se requiere un conocimiento avanzado de los procesos químicos desarrollados en la naturaleza, con el fin de aplicarlos a un sistema que reproduzca artificialmente una fotosíntesis, destacando la importancia de todas las reacciones clave que se llevan a cabo en el proceso de fotosíntesis natural.

La energía obtenida luego del proceso de la fotosíntesis artificial es utilizada directamente para crear un combustible: Hidrógeno gaseoso para el funcionamiento de motores entre otros.

Los resultados de las investigaciones demuestran que los adelantos son significativos, pero aún hay mucho por descubrir en el campo de la fotosíntesis artificial, antes de que está sea una alternativa al alcance de la comunidad, debido a que las diferentes investigaciones se encuentran en su etapa inicial.

Adicionalmente se observa que las investigaciones realizadas a nivel mundial, coinciden en la búsqueda de una energía limpia, presentando gran variedad en cuanto al método utilizado y materiales implementados que logren reducir el consumo y dependencia de combustibles fósiles, los que generan un alto grado de deterioro del medio ambiente y ocasiona los principales problemas ambientales.

Diferentes ventajas trae para la mejora del medio ambiente, la implementación de técnicas que permitan desarrollar el proceso de fotosíntesis artificial, así como afirman sus creadores, este nuevo tipo de energía produce Hidrógeno para ser usado luego como combustible, y permitirá la producción de sistemas baratos y eficaces para sintetizar azúcares y etanol a partir de la luz y del CO<sub>2</sub>, disminuyendo de paso la cantidad de emisiones de este gas a la atmósfera. Además de tener un costo muy bajo, este tipo de energía, permitirá aprovechar el

exceso de energía solar durante el día para, por ejemplo, recargar en los hogares, células de combustible para suministrar energía a electrodomésticos. A través de la generación de un sistema energético ecológico basado en el Hidrógeno y la energía solar, capaz incluso de combatir los efectos del calentamiento global al reducir el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, adicionalmente a esto su fabricación es mucho menos contaminante que la generación del tipo de energía y los combustibles convencionales.

## 10. CONCLUSIONES

Considerando las lecturas de las investigaciones acerca del proceso de fotosíntesis artificial, activados por energía solar, desarrollados a nivel mundial se concluye la importancia de continuar avanzando en la búsqueda de mejorar las condiciones del planeta a nivel ecológico, para lograr obtener energía y reducir los principales factores contaminantes que alteran la estabilidad del ambiente.

Los científicos concentrados en el proceso de fotosíntesis artificial activada por energía solar, cada día avanzan de manera sorprendente en búsqueda de energía limpia, económica e inagotable, que reduzca de manera significativa el consumo y dependencia de combustibles fósiles así como la depredación de la naturaleza.

Las investigaciones realizadas a nivel mundial, incluyen la utilización de materiales semiconductores, electrolizadores compuestos por placas de silicio, dispositivos de tres módulos, agentes vivos (espuma de rana tungara), catalizadores (Dióxido de Magnesio), Dióxido de Titanio infiltrado en plantas nativas (anemona vitifolia), polioxocomplejos fotosintéticos, nano hilos de Titanio cubiertos de Silicio.

Aunque las investigaciones tenidas en cuenta se enfocan hacia el mismo objetivo, la producción de una nueva energía, difieren en los materiales y método empleados, lo cual genera mayores alternativas en la producción de energía limpia, minimizando diferentes problemas ambientales como: efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, cambio climático que afecta la agricultura, la hidrología, la biodiversidad de especies animales y vegetales.

## BIBLIOGRAFIA

AUDESIRK T, AUDESIRK G, BYERS B, E. Biología ciencia y naturaleza. Pearson. Prentice Hall. Mexico 2004. Pág. 106 capítulo 6.

BLANKENSHIP, R. Mecanismos de la fotosíntesis. s.n.: Blackwell Science, 2002.

BONCHIO, Marcella. Fotosíntesis artificial. <http://lib.bioinfo.pl/pmid:21547686>.

BREN. Artificial photosynthesis. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp203292h>

CURTIS, Helena y BARNES, Sue. Bióloga: fotosíntesis, luz y vida. 6 ed. Madrid: Panamericana, 2006. p. 112.

DE ABATE, Jhon. Biología aplicada: fotosíntesis. 2 ed. San José; Costa Rica: Euned, 1999. p.114.

DUFOUR, Javier. Fotosíntesis artificial.  
<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/01/21/131>

FERNADEZ, Alex. Medio ambiente y energía:  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2008/09/01/179698.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2008/09/01/179698.php)

GONZALEZ J, GALINDO N, GALINDO J, L. los paradigmas de la calidad calidad educativa México 2004.

GROS., Begoña. Del software educativo a educar con software. In: Quaderns digitals. 2006. [En línea]. Universidad de Barcelona España.  
<http://www.eumed.net/libros/2011b/953/>

GUERRERO M, E. Formación para la investigación. Editorial Studiositas. 2007.

GUERRERO M, E. formación de habilidades para la investigación desde el pregrado. Acta colombiana de psicología. 2007

HERNÁNDEZ, Rubén. Fisiología vegetal. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2002. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>

LEHNINGER, Albert L. Bioquímica: las bases moleculares de la estructura y función celular. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. p. 603.

LEHNINGERN, Luis. Bioquímica: transporte electrónico y fosforilación fotosintéticos. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. p. 611.

LEWIS, Natan. Energía solar para la conversión de combustibles. <http://energy.gov/articles/fuels-sunlight-hub>.

MAGNUNSON, Ann. Fotosíntesis Artificial. Universidad de Uppsala. <http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents>.

MIYAHIRA ARAKAKI, J. M. Profesor Principal. Facultad de Medicina Alberto Hurtado. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia.

NUÑEZ C, J. COLLADO B, L. Fotosíntesis artificial, un nuevo reto para mitigar el calentamiento global. Grupo de procesos Termoquímicos. IMDEA.

PHOTONICS IN SOLAR CELL, PRODUCTION. Editorial photonics spectra. June 2010. Pág. 33-39.

PARRA, C., Apuntes sobre la investigación formativa. En: Educación y educadores. 2004. No. 7. p. 57-77.  
<http://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/view/549>  
(Fecha de acceso: 18 de agosto 2009).

REYES T, P.J. Combustibles fósiles y contaminación. Revista de la facultad de Ingeniería. Noviembre 1999. Pág., 87-92

## Anexo A. Fotosíntesis artificial<sup>27</sup>

Este proceso es el que utilizan las plantas “verdes” para satisfacer sus necesidades fisiológicas.

Investigadores australianos están desarrollando de una manera artificial el proceso de la fotosíntesis, copiando de las plantas el proceso por el cual son capaces de obtener sustancias alimenticias y energía a partir de la luz del Sol, el agua, los elementos minerales y el CO<sub>2</sub>.

El objetivo de este trabajo, dirigido por los científicos de la Commonwealth australiana y la Industrial Research Organization's (CSIRO) es desarrollar un método para disminuir el Cambio Climático producido por el Efecto Invernadero, además de perseguir la posibilidad de obtener alimentos y fuentes alternativas de combustibles al mismo tiempo.

“En la naturaleza, las hojas absorben CO<sub>2</sub> del aire y lo convierten en distintos azúcares y otros productos carbonados”, afirma la directora del proyecto Violeta Braach-Maksvytis.

“Imitando este proceso con una mezcla de materiales artificiales en vez de clorofila, queremos desarrollar la tecnología necesaria que pudiera reducir en una gran proporción las cantidades emitidas de CO<sub>2</sub> por los automóviles.

Los bio productos del proceso podrían constituir combustibles alternativos, metano o incluso alimentos en forma de almidón y azúcares”.

Aunque la doctora Braach-Maksvytis afirma que la investigación está en su etapa inicial, los resultados hasta la fecha son muy prometedores. Ya se ha conseguido producir energía y metano en las condiciones de laboratorio.

Todavía el proyecto de fotosíntesis artificial es un ejemplo de tecnología que deberá ser desarrollada tratando de imitar el proceso natural, sobre todo a una escala microscópica.

---

<sup>27</sup><http://www.ecoargentina.org/material-educativo/fotosintesis-artificial.htm>

Australia está, según Braach-Maksvytis, muy bien situada en estas investigaciones para progresar en estas nuevas ramas de la ciencia.

*"El éxito de la adaptación de este proceso de la Naturaleza en este proceso molecular depende del trabajo interdisciplinar de muchos grupos de investigación. Será necesario coordinar grupos de físicos, químicos, biólogos, matemáticos e ingenieros para que el proyecto funcione", afirma un portavoz de CSIRO.*

- **CIENTÍFICOS DESARROLLAN PLANTAS ARTIFICIALES PARA LUCHAR CONTRA LAS EMISIONES DE CARBONO<sup>28</sup>**

Investigadores australianos están desarrollando una tecnología revolucionaria que puede ayudar a combatir el efecto invernadero y crear alimentos y una fuente alternativa de combustible, al mismo tiempo.

Científicos de la Organización industrial de investigaciones, (CSIRO) están desarrollando la fotosíntesis artificial, que copia lo que hacen las plantas mediante la absorción de dióxido de carbono y la luz y la convierten en energía para producir alimentos.

Los investigadores esperan que esta tecnología se utilice para limpiar los residuos de dióxido de carbono y reducir el "efecto invernadero".

"En la naturaleza, las hojas absorben el dióxido de carbono de la atmósfera y lo convierten en azúcar y otros productos de carbono", dice la directora del proyecto Dr. Vijoleta Braach-Maksvytis.

"Al imitar este proceso con una mezcla de materiales fabricados en lugar de la clorofila, es la esperanza de desarrollar una tecnología que puede reducir las grandes cantidades de dióxido de carbono emitido a la atmósfera de las centrales eléctricas y los automóviles."

---

<sup>28</sup><http://www.spacedaily.com/news/greenhouse-00zb.html>

"Los subproductos del proceso podrían ser una valiosa alternativa de combustibles, como el metano, o incluso la comida en forma de almidones y azúcares."

El proyecto de la fotosíntesis artificial es un ejemplo de tecnología que está siendo desarrollado por imitación de los procesos en la naturaleza, sobre todo a nivel nano.

El proceso natural de fabricación se llama "auto-ensamblaje". Se construye de abajo hacia arriba, átomo por átomo, molécula por molécula, escogiendo correctamente los materiales que van a conducir al ensamblaje del material final. Este mismo principio de abajo hacia arriba, se utiliza para la fabricación, de cosas tan diversas como los chips "verde" de la computadora y sensores ambientales de gas.

"La fabricación de chips para la industria de la informática es cara y sobre todo, es un proceso tóxicos", dice la Dr. Braach-Maksvytis. "La demanda de dimensiones cada vez más pequeños, está empujando a los chips a las dimensiones de nanómetro, (es decir, una milmillonésima de un metro), que coincide con las dimensiones de la biología, en este campo nuestro trabajo es desarrollar una estructura nano inteligente. "sellado" una técnica de auto-ensamblaje para producir de manera segura y fácil los componentes de circuitos integrados en chips de silicio y semiconductores".

Australia está muy bien situada para aprovechar las oportunidades que ofrecen estas nuevas ramas de la tecnología dice la Dra. Braach-Maksvytis. "La adaptación exitosa de los procesos de la naturaleza de la nanotecnología es críticamente dependiente del trabajo en el punto de encuentro entre diferentes tipos de ciencia, Física, química, biología, matemáticas, ingeniería". Otros países están empezando a tener las redes y la financiación inicial en el lugar para empezar este trabajo. Aquí es donde Australia tiene la ventaja. Nosotros ya tenemos un lugar, con una organización como CSIRO, en conjunto con el gobierno, otras instituciones de investigación y los vínculos de la industria de diversos mercados. No hay que conformarse con los lugares de mercado. Australia tiene la capacidad de liderar la nanotecnología.

## Anexo B. Desde fotosíntesis natural hasta la fotosíntesis artificial<sup>29</sup>

Sus propiedades son similares a los de la clorofila, en que los compuestos de rutenio puede captar la luz y emitir los electrones en la mayor parte del mismo modo que la clorofila es en el Fotosistema II.

La ventaja de los complejos de rutenio sobre la clorofila es que los complejos de rutenio son fuertes, mientras que la clorofila es muy sensible a la luz. La fotosíntesis Artificial, por el contrario, tiene que ser construido a prueba de errores y de bajo mantenimiento como sea posible. Además de ser fuerte, el complejo de Rutenio son fáciles de usar como componentes químicos en la construcción de estructuras más complejas.

La construcción de un modelo químico es el principio del trabajo del desarrollo de la fotosíntesis artificial en los pasos, mediante la adición de una pieza a la vez y poco a poco la construcción de grandes moléculas. El objetivo es construir una súper en una de rutenio complejo está vinculado a un complejo de manganeso, en una construcción similar a la disposición en el Fotosistema II. El objetivo es imitar la serie de eventos que tiene lugar cuando las plantas convierten la energía de la luz del sol a una forma química.

Así es como el sistema artificial se supone que funciona: Cuando el rutenio (Ru) es golpeado por la luz, un electrón se envía al receptor de parte (A) de la súper molécula. El agujero de electrones en el rutenio complejo es llenado por un electrón, que es transportado desde el manganeso complejo (Mn) para el rutenio. El complejo de manganeso se toma los electrones de las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O). El resultado de estos eventos es el liberación de electrones, que pueden ser utilizados para la producción de un combustible. Además, iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) son también liberados. Hasta el momento, el sistema artificial imita el natural.

La parte importante es lo que los electrones se utilizan para - como la energía está protegido y almacenado. En este caso, el consorcio tiene una solución diferente a la que tienen las plantas. Nosotros los humanos, como la producción de

---

<sup>29</sup><http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/research2.shtm>

combustible que es tan eficiente como sea posible, por lo que los electrones y los iones de hidrógeno se utilizará para producir hidrógeno con un catalizador químico.

### **Un descubrimiento sensacional**

Hasta ahora, el consorcio ha producido cerca de 50 diferentes compuestos de rutenio y Manganeso. La molécula de la Figura es la más avanzada, y ha producido un resultado sensacional, por lo menos en el ámbito de la investigación: se trata de la única molécula artificial en el mundo que combina varios bloques de construcción de una artificial "fotosistema" con la fotoquímica única en sus propiedades. En primer lugar, se puede mover más de un electrón desde el lado del donante a lado aceptor. Cuando las cargas positivas y negativas existen en lugares diferentes en una molécula, se habla de un cargo separado por estado. La única propiedad es que la separación de cargas en la molécula es inusualmente larga vida. La descomposición del agua en el Fotosistema II es un proceso muy "lento" (una milésima de segundo es mucho tiempo en una escala de tiempo químico). El electrón que se transporta debe ser atado el tiempo suficiente para la disociación del agua que tendrá lugar, por lo que la energía puede ser utilizada para producir combustible. Para la investigación de la fotosíntesis artificial, resolver el problema de la separación de cargas de corta duración ha sido siempre una prioridad importante.

### **Resultados duraderos**

Aquí es donde la investigación se encuentra en la actualidad. Un súper molécula ha sido diseñada absorbe la luz y mueve los electrones a un aceptor de electrones. Varios electrones se pueden mover de un complejo de manganeso en el lado donante de la molécula, y el manganeso toma los electrones del agua. A este fin, los científicos han logrado imitar los principales acontecimientos que tienen lugar en el Fotosistema II. Estos son resultados a largo plazo que hacen que el consorcio sea optimista sobre el futuro.

El desafío pendiente es hacer un complejo de manganeso que pueda dividir el agua catalíticamente, de modo que el sistema puede tener los electrones del agua una y otra vez en una forma útil y sostenible. El consorcio sueco también está trabajando duro para desarrollar la parte de la "supermoléculas" que producirá hidrógeno.

- **LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL**<sup>30</sup>

Fotosíntesis artificial para la producción de combustible es un campo bastante reciente. Nuestro conocimiento sobre la fotosíntesis y la formación de reacciones naturales  $H_2$  aumenta rápidamente y durante los últimos 10 años la estructura tridimensional de la reacción fotosintética de los centros de Fotosistema I y II e hidrogenasa han sido resueltos. Este sofisticado conocimiento es proporcionado por el grupo de la fotosíntesis y es clave para el enfoque biomimético aplicado por los químicos sintéticos en el Consorcio para la fotosíntesis artificial.

Ha habido muchos intentos de modelo crucial de pasos elementales físicos y químicos de estas enzimas por bio-mimético química. Sin embargo, ha habido pocos intentos de utilizar el enfoque biomimético para producir un combustible hecho a partir de energía solar similar a lo que se hace en los organismos fotosintéticos. Con el mayor conocimiento molecular de la fotosíntesis natural y la producción de  $H_2$  bio-inspirados es cada vez más factible.

La investigación en esta línea, que se lleva a cabo por el Consorcio para la fotosíntesis artificial, es uno de los mayores intentos que actualmente sucede en el mundo. Nuestra idea general es que el diseño de componentes de moléculas múltiples con diversas funciones, basado en los principios de la naturaleza.

Nuestra estrategia es utilizar los principios de la física y el Fotosistema II para sintetizar compuestos orgánicos estables que pueden oxidar el agua utilizando la energía de la luz solar. Una clase de complejos se sintetiza todo el centro de iones metálicos de rutenio (II), que puede ser excitado por la luz y se utiliza en lugar de la clorofila. Estos complejos de Rutenio están vinculados a multinucleares complejos de Manganeso que se basan en principios naturales del Fotosistema II. La luz se oxida de Rutenio (II) a Rutenio (III), que a su vez, se oxidan los iones de Manganeso. Nuestros grupos de síntesis y espectroscópicas de pie en tierra firme y el Consorcio ha realizado un trabajo pionero, único en los últimos 10 años.

El Consorcio también es un enlace fotoactivo de Rutenio de los centros de fotosíntesis artificial, para la biomimética de moléculas capaces de reducir los protones hidrógeno  $H_2$ . Esta química es nueva y se desarrollará en el proyecto en el que integra a los grupos con un profundo conocimiento de la Hidrogenasas

---

<sup>30</sup>BRAACH-MAKSVYTIS, Viojoleta. Sydney, 2000.  
[http://www.publicservice.co.uk/feature\\_story.asp?id=6113](http://www.publicservice.co.uk/feature_story.asp?id=6113)

naturales con los grupos de síntesis tratando de construir centros de biomiméticos de metal capaz de formar hidrógeno H<sub>2</sub>.

Un programa básico en el Consorcio es que el grupo sintético avanza en su campo en la investigación básica dirigida. Que diseña y sintetiza el complejo multi-componente de moléculas destinadas a la oxidación del agua por la luz y la formación de hidrógeno H<sub>2</sub>. El único componente sinérgico en el Consorcio promoverá el aporte de los bioquímicos y biofísicos centrado en cuestiones relevantes para la fotosíntesis artificial. Los grupos genéticos, metabólicos y biorreactores trabajan en un campo en particular con un solo objetivo en mente. La intención es que los resultados de nuestra investigación básica en bioquímica y biofísica son rápidamente en marcha para mejorar las cianobacterias, que se utiliza en los biorreactores. El objetivo es continuar para mejorar la eficiencia y el rendimiento de hidrógeno H<sub>2</sub> a partir de los microorganismos fotosintéticos.

Los complejos sintetizados son estudiados por espectroscopia EPR en el grupo de la fotosíntesis y por espectroscopia óptica rápida y de la electroquímica en el Departamento de Química Física, Universidad de Uppsala.

- **DESDE FOTOSÍNTESIS NATURAL HASTA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL**<sup>31</sup>

Stenbjörn Styring y Ann Magnuson de la Universidad de Uppsala, tiene en cuenta el desarrollo del hidrógeno renovable.

Europa, como Suecia, depende en gran medida de los recursos energéticos fuera pero estos son cada vez menores y su suministro puede verse amenazado. Nuestro uso de combustibles fósiles debe reducirse al mínimo, dado que el efecto del CO<sub>2</sub> conduce al calentamiento global. Por lo tanto, la extrema necesidad de desarrollar nuevos conceptos para un suministro energético sostenible está en la agenda urgente. El objetivo estratégico del consorcio sueco para la fotosíntesis artificial (fundada en 1994) es satisfacer estas demandas por la producción de hidrógeno renovable (H<sub>2</sub>) a partir de los recursos ilimitados la energía solar y el agua.

---

<sup>31</sup>MAGUSON, Ann. 2005.

[http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto\\_Eng.pdf](http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/documents/ArtFoto_Eng.pdf)

Muchos tienen fe en un futuro del hidrógeno, como combustible ecológico, pero para que esto se haga realidad, el hidrógeno  $H_2$  debe ser producido a partir de fuentes renovables. Este requisito es reconocido en todo el mundo, y muchos científicos están activos en diferentes, a menudo en campos aislados. El Consorcio supera la fragmentación, orientando a los científicos de muchas disciplinas para concentrarse en dos rutas directas a la producción de hidrógeno  $H_2$ . Nuestra idea es nueva, e integra la fotosíntesis natural y artificial: los organismos vivos fotosintéticos en biorreactores, y el hombre, los catalizadores de fotosíntesis en los dispositivos técnicos.

El Consorcio es una iniciativa de abajo hacia arriba inaugurada por los propios investigadores. Aporta una experiencia multidisciplinaria en un proyecto de exploración. La visión es el desarrollo de nuevas rutas para la producción de hidrógeno  $H_2$  a partir de energía solar con el agua como materia prima.

El proyecto integra dos temas de primera línea: la fotosíntesis artificial en sistemas artificiales y fotobiológicos producción de hidrógeno  $H_2$  en los organismos vivos. El riesgo científico es alto la investigación es muy exigente y producción de hidrógeno  $H_2$  a través de estos medios es un objetivo a largo plazo pero el potencial es enorme. Un buen resultado podría constituir la base para cambios fundamentales en la infraestructura y los sistemas de energía en nuestra sociedad.

El proyecto se basa en dos pilares científicos: el conocimiento de alto nivel de enzimas fotosintéticas y organismos, y orientada hacia los problemas de caracterización de ambos organismos y catalizadores sintéticos, por avanzados métodos espectroscópicos. El conocimiento detallado sobre las enzimas bioquímicas ofrece ideas para los químicos sintéticos en su búsqueda de nuevos compuestos. Los bioquímicos también pueden llevar el conocimiento a los biólogos para acelerar su mejora de la producción de hidrógeno  $H_2$  en los organismos.

Recientemente, el Consorcio tuvo un gran salto con la creación de un entorno unificado científico propósito construido por la Universidad de Uppsala. Aquí nos damos cuenta de nuestra visión de crear, en un mismo lugar, un centro de investigación con la experiencia que van desde la biología molecular a la física química.

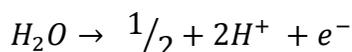
## Anexo C. Investigación sobre la energía fotosíntesis artificial<sup>32</sup>

En 1912, el químico italiano Giacomo Ciamician publicaba en la revista Science, su nueva idea acerca de una alternativa energética a los combustibles fósiles. Ciamician soñó con futuras centrales energéticas donde "bosques de tubos de vidrio cubrirían llanuras enteras", en el interior de los cuáles la luz del Sol serviría para que el hombre aprovechara "el custodiado secreto de las plantas".

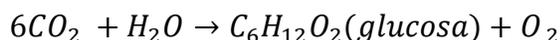
Casi un siglo después, el sueño de Ciamician parece estar más cerca que nunca de hacerse realidad. Investigadores de todo el mundo están desarrollando métodos para obtener energía limpia de una forma sencilla, aprovechando la misma idea que explotan las células vegetales, es decir, transformar la energía solar en energía electroquímica empleando moléculas sensibles a la luz.

La fotosíntesis es un proceso cuya finalidad fue ya intuida por Van Helmont a principios del siglo XVII. Sin embargo, la comprensión de su base molecular, imprescindible para poder ser imitada artificialmente con el fin de obtener energía, sólo ha podido lograrse a lo largo de la segunda mitad del siglo XX.

Los libros de Ciencias Naturales generalmente definen la fotosíntesis como la producción de glucosa a partir de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) y agua, gracias a la luz solar, según la reacción global:



Sin embargo, esto no es más que una simplificación de un proceso muy complejo, en el cual la etapa clave es la rotura de una molécula de agua por la luz solar, liberándose oxígeno gaseoso, iones hidrógeno y electrones. Estos últimos servirán para reducir el CO<sub>2</sub> hasta glucosa en las etapas siguientes de la fotosíntesis:



Puesto que la molécula de agua es muy estable, esta reacción requiere de una elevada cantidad de energía, que es suministrada por la luz solar y necesita de la presencia de un catalizador adecuado para que tenga lugar. El catalizador que emplean las plantas se llama [Fotosistema II](#), un asombroso colector solar en

---

<sup>32</sup>STENBJORN y MAGNUSON, Ann. Suecia. 2006. <http://www.meneame.net/story/fotosintesis-artificial-nuevo-enfoque-nueva-tecnologia>

miniatura de estructura muy compleja y tremendamente eficaz. El Fotosistema II contiene varias moléculas de proteína, que son el armazón del complejo, unas cuantas moléculas de clorofila, que son las encargadas de recolectar la energía solar, y un centro de reacción, que contiene cuatro átomos de manganeso y es el encargado de romper la molécula de agua. Esta increíble máquina molecular se localiza en el interior de las membranas internas de los cloroplastos, orgánulos presentes en las células vegetales.

Los electrones liberados por el proceso de ruptura del agua son transferidos a una cadena de moléculas transportadoras de electrones, a partir de la cual la planta obtiene el poder reductor que necesita para fabricar glucosa. Mientras, los iones de hidrógeno se acumulan en el interior de la membrana del cloroplasto, lo que permite crear una diferencia de concentración y de potencial eléctrico. A partir de esa diferencia la planta puede producir energía en forma de la unidad básica de energía de los seres vivos: el ATP. En resumen, el Fotosistema II es una máquina que transforma la energía solar en energía electroquímica aprovechable, de una forma mucho más eficaz que cualquier célula solar creada por ingenieros humanos.

La aparición de la fotosíntesis oxigénica, basada en la ruptura del agua usando luz solar, marcó el hito más importante en la historia de la vida, puesto que permitió el desarrollo de organismos mucho más activos, a la vez que produjo la mayor catástrofe ecológica de la historia de la Tierra: la acumulación del oxígeno (material de desecho de la fotosíntesis) en la Atmósfera, que cambiaría la faz de nuestro planeta para siempre.

### ***Los ingenieros copian a la naturaleza***

La esencia del proceso de fotosíntesis no consiste sólo en conseguir captar la energía solar. Existen muchos materiales y moléculas que son capaces de excitarse con la luz, pero que son inútiles como medio para obtener energía, ya que la energía solar captada se disipa rápidamente y se transforma en calor, lo que reduce en gran medida la eficacia del proceso de conversión de energía.

La clave reside en conseguir separar las cargas eléctricas formadas gracias a la rotura de la molécula de agua, para poder obtener una diferencia de potencial eléctrico aprovechable. Las plantas lo consiguen gracias a la división en membranas internas del cloroplasto y al perfecto funcionamiento del Fotosistema II, que es capaz de enviar los iones H<sup>+</sup> hacia un lado de la membrana y los electrones liberados hacia el otro lado. Si el hombre quiere copiar a la naturaleza,

no basta con disponer de una molécula capaz de absorber la luz solar: se debe idear un método para separar las cargas eléctricas liberadas empleando la energía recolectada. Además, sería deseable que el proceso fuera cíclico, de forma que los intermedios originados durante el proceso se regeneren de forma perfecta, para que éste pueda repetirse indefinidamente. De este modo, dispondríamos de un convertidor perfecto de luz solar en energía eléctrica, que funcionaría eternamente, sin necesidad de usar ningún tipo de combustible químico.

Para conseguir este fin, se han propuesto diferentes soluciones, pero los resultados más prometedores no han aparecido hasta los últimos dos o tres años.

### ***Cloroplastos artificiales y otros intentos prometedores***

Desde la década de 1970, muchos científicos han intentado construir sistemas artificiales capaces de emular la fotosíntesis. Generalmente, en ellos se sustituye el pigmento natural (la clorofila) por otros compuestos químicos, orgánicos o inorgánicos, capaces de captar la luz. El problema consiste, generalmente, en saber qué hacer con estos electrones liberados (tarea que es realizada en la naturaleza por el Fotosistema II y las membranas del cloroplasto).

En 1981 se fabricó el primer cloroplasto artificial, que contenía una mezcla de compuestos orgánicos sintéticos relacionados con la clorofila y que, al ser iluminado, era capaz de llevar a cabo la reacción de rotura del agua, produciendo  $H_2$  y  $O_2$  gaseosos. Por supuesto, su tamaño era muchísimo mayor que el de los cloroplastos naturales, y además su eficacia de conversión de energía lumínica en energía química era muy pequeña. Sin embargo, constituyó el primer paso hacia la construcción de un dispositivo fotosintético artificial que funcionara realmente.

En 1999, los estadounidenses D. Kuciauskas y J. Lindsey intentaron un método más imaginativo. Unieron químicamente cuatro moléculas de clorofila formando una cadena, a lo largo de la cual pueden circular los electrones y, al final de la cadena, situaron una bola de [fullereno](#) C60, la famosa molécula de carbono con forma de balón de fútbol, cuyos usos imprevistos están resultando ser de lo más variado. Cuando la luz incide sobre el sistema, los electrones emitidos son transportados hasta la bola de fullereno, que queda cargada eléctricamente y mantiene estable su carga. El único paso que falta para poder aprovechar este sistema de forma práctica es encontrar una utilidad para el fullereno cargado así obtenido. Es decir, encontrar una reacción química en la que desprenda la energía que ha almacenado.

## Células foto electroquímicas. Reinventando la fotosíntesis

Sin embargo, la idea que, en la actualidad, parece ser más susceptible de ser explotada industrialmente se basa en el empleo de células o pilas foto electroquímicas, dispositivos similares a las habituales pilas eléctricas y, como ellas, divididas en dos compartimentos (ánodo y cátodo), lo cual asegura la separación de cargas y la formación de una corriente eléctrica. La diferencia con las pilas corrientes (electroquímicas) está en que las células foto electroquímicas sólo funcionan cuando la luz incide sobre ellas, excitando los electrones, con lo cual la electricidad producida procede de la luz solar, y no de la energía química, como sucede en las pilas habituales. Esto hace pensar que, en principio, una pila foto electroquímica sería inagotable.

Para que la célula funcione, es necesario que estén presentes en la disolución dos especies químicas capaces de ceder y aceptar electrones, respectivamente (las llamadas A y B<sup>+</sup> en el esquema). Idealmente, para que se cerrara el ciclo, y la pila funcionara eternamente, las especies formadas, A<sup>+</sup> y B, deberían reaccionar de forma espontánea entre sí en la disolución, regenerándose las moléculas de A y B<sup>+</sup> iniciales. El desafío tecnológico consiste en encontrar las especies químicas A y B<sup>+</sup> adecuadas.

En la fotosíntesis natural, la especie que cede electrones (A) es el agua y la que los acepta finalmente (B<sup>+</sup>), el CO<sub>2</sub>, pero en la práctica se deberían emplear otras moléculas, ya que el ciclo de regeneración de la glucosa y el oxígeno es increíblemente complicado. En la naturaleza, las moléculas formadas, de O<sub>2</sub> y glucosa, se regeneran mediante el proceso opuesto a la fotosíntesis, es decir, la respiración de los seres vivos, que las vuelve a transformar en CO<sub>2</sub> y agua. Se podría considerar toda la Biosfera como una enorme pila foto electroquímica de dimensiones gigantescas, en la cual los cloroplastos serían el ánodo que absorbe la energía solar, las mitocondrias donde se produce la respiración serían el cátodo en el cuál acaban finalmente los electrones, y el conjunto de la atmósfera, la hidrosfera y la biomasa serían la disolución electrolítica en la cual coexisten las moléculas de agua, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y glucosa. Esta colosal célula foto electroquímica global funciona en un ciclo cerrado desde hace miles de millones de años, convirtiendo la energía solar en energía útil, y no parece que dé muestras de agotarse.

El reto de los ingenieros humanos es construir algo parecido, pero que tenga el tamaño de una pila eléctrica habitual. La búsqueda de las moléculas adecuadas para cerrar el ciclo y obtener una célula foto electroquímica perfecta continúa activamente en la actualidad, y no sería sorprendente que en un futuro próximo se

puedan construir pilas solares inagotables , cuya eficacia de conversión energética sería mayor que las células solares actuales, que están basadas en principios físicos, y no químicos.

Más difícil todavía: fotosíntesis en disoluciones homogéneas

Aunque, como hemos visto, la forma más eficaz de imitar la fotosíntesis es lograr una separación de cargas mediante membranas o diferentes compartimentos, los científicos no se conforman con esto, e intentan diseñar sistemas en los que ocurra un proceso similar a la fotosíntesis, pero en una única fase en disolución.

En ese sentido, A. Heiduk y D. Nocera, investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, han conseguido recientemente producir  $H_2$  a partir de disoluciones de ácido clorhídrico, empleando como catalizador un compuesto orgánico sintético que contiene átomos de rodio como centro activo.

Su prometedor resultado fue publicado en la revista Science el 31 de agosto de 2001.

La idea parece increíble. Se trata de una disolución que sólo contiene ácido clorhídrico y el compuesto catalizador, que se puede tener en un simple tubo de ensayo y permanece estable mientras se mantenga en la oscuridad. Pero, en cuanto incide la luz solar sobre el tubo, ¡éste empieza a desprender hidrógeno de forma espontánea! La reacción finaliza cuando ya no queda en el tubo ácido clorhídrico que descomponer, pero, en principio, sería fácil llevarla a cabo en un reactor alimentado continuamente con ácido clorhídrico, y lograr así una forma barata y sencilla de producir hidrógeno industrialmente.

En la práctica, se observa que la regeneración del catalizador de rodio no es perfecta, por lo que habría que añadir un nuevo catalizador cada cierto tiempo para mantener la reacción eternamente. La viabilidad económica de la idea no está aún demostrada.

Actualmente se está trabajando para resolver este problema, intentando encontrar nuevos y mejores catalizadores, que sean capaces de conseguir lo que la naturaleza no ha sido capaz de lograr en 3500 millones de años de evolución: la fotosíntesis en una disolución homogénea, contenida en un simple tubo de ensayo. El sueño de Ciamician está cada vez más cerca.

## Anexo D. Hoja artificial genera energía del agua<sup>33</sup>

Sugerencias para su casa y el coche con 5 litros de agua:

El Dr. Daniel Nocera del MIT ha contribuido con esta fascinante concepción, que consiste en un eficaz electrolizador construido con un compuesto de cobalto y fosfato de potasio, que puede trabajar a temperatura ambiente. Integrará una matriz fotovoltaica 6 X 5 metros (30 metros cuadrados) y mediante la utilización de la energía solar puede producir hidrógeno y oxígeno a partir de sólo 5 litros de agua. El hidrógeno resultante puede satisfacer las necesidades de consumo energético de nuestra casa e incluso puede cargar nuestro vehículo eléctrico para recorrer 500 km.

Una botella de aguas residuales podría alimentar su casa el año próximo

Nocera, propone de nuevo, y esta vez en colaboración con el eminente grupo TATA, ha conceptualizado una 'hoja' artificial compuesta de catalizadores químicos de bajo costo como cobalto y fosfato. Produce electricidad más eficientemente que las células solares; este diseño "naturalista" utiliza moléculas de agua de cualquier fuente. Las moléculas de agua se dividen por la luz solar tal como en la fotosíntesis.

- **Generador hidroeléctrico que reutiliza el agua para la generación continua de electricidad:**

Es conocido como el Silo hidráulico, este generador hidroeléctrico de Dindo Mangubat, integra 5 componentes diferentes que aseguran que el agua no se desperdicia, sino más bien retorna al tanque de agua para volver a utilizarse para la rotación de la turbina.

Todas las tendencias anteriores tienen una cosa en común: que todas han avanzado un paso para aprovechar una energía limpia y 'verde' y también en la forma "naturalista" que imita a la misma naturaleza. Un buen ejemplo sería la

---

<sup>33</sup> <http://blog.productosecologicossinintermediarios.es/2011/03/futuro-perfecto-el-agua-la-energia-de-su-casa/>. 2011.

concepción de Dr. Nocera donde la 'hoja' artificial puede confeccionar hidrógeno y oxígeno de las aguas residuales para producir electricidad. Este proceso imita claramente al proceso totalmente natural de fotosíntesis. Un dato a tener en cuenta: la cantidad de energía producida por la fotosíntesis es aproximadamente 100 teravatios (teravatios,  $T = 10^{12}$  vatios), que es aproximadamente seis veces más que el consumo de energía de la civilización humana. Esto solo habla de la eficacia de un sistema natural que los seres humanos tratarán de recrear para su sostenibilidad.

## Las ventajas

Las ventajas pueden verse claramente, especialmente cuando estas tecnologías tomen su forma definitiva. Dentro de un año un pequeño hogar puede ser mantenido por una sola botella de agua, pero, como dice el Dr. Nocera, la continua investigación podría conducir a una "mini planta de energía" del tamaño de un refrigerador que podría generar suficiente energía para tres millones de personas.

- **BOTELLA DE AGUA, CON LA LUZ SOLAR<sup>34</sup>**

Daniel Nocera, investigador del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), es el hombre de la botella milagrosa. Este químico afirma que **con una botella llena de agua y cuatro horas de luz solar pueden generarse 30 kilovatios de electricidad, lo suficiente como para abastecer a toda una casa durante un día.**

El resultado lo consigue gracias a la fotosíntesis artificial, un proceso que imita la actividad vegetal que transforma la energía de la luz solar en energía electroquímica. En este caso, se utiliza cobalto como catalizador, con el objetivo de que **la energía solar divida el agua y produzca hidrógeno en lugar de azúcares, tal y como hace la naturaleza.**

Así, con el óxido de cobalto puede llevarse a cabo con eficacia la reacción fotosintética de separar los componentes de las moléculas de agua

---

<sup>34</sup> MARIUSBONS. 2009. <http://www.ecologiablog.com/post/3399/la-fotosintesis-artificial-puede-iluminar-una-casa-con-una-botella-de-agua>

## Anexo E. La fotosíntesis artificial y bio-inspirada catálisis: los paradigmas de producción de energía sostenible<sup>35</sup>

La seguridad energética es un problema que enfrenta la humanidad que no es menos importante que la guerra, el hambre, la enfermedad, la superpoblación, la difícil situación de los refugiados y la garantía de los derechos humanos a través de las tierras. En el Primer Mundo, la energía proviene en gran parte por los combustibles fósiles, el mundo en desarrollo está siguiendo este ejemplo con una venganza. Ahora es cierto que el consumo continuado de combustibles fósiles es insostenible y que los seres humanos son, de hecho, haciendo un experimento a escala mundial en el cambio climático. Para evitar la incertidumbre, pero probable, catastrófico resultado de este experimento, es necesario convertir las fuentes de energía libre de carbono sobre una escala de un futuro cercano. Es responsabilidad de las sociedades tecnológicamente avanzadas para liderar el camino en la conversión, un proceso que hace aún más difícil debido a que el conductor habitual de ese cambio, pura a corto plazo la economía, continuará favoreciendo los combustibles fósiles en el futuro previsible. Se puede argumentar de manera convincente que la energía solar es la única fuente disponible que podría abastecer a las decenas de teravatios de energía libre de carbono que debe producirse antes de 2050 para que la producción global de energía sostenible.

Proceso de la fotosíntesis de la naturaleza es el principal proceso de conversión de energía solar en la tierra, sino que proporciona paradigmas para la producción sostenible de energía global y las transformaciones de energía eficiente. La combinación de información mecánica y estructural para la producción de energía y el consumo de las estructuras biológicas sirve para guiar a los químicos orgánicos, inorgánicos y materiales en sus esfuerzos abstractos e imitar los elementos activos de las construcciones de la naturaleza de procesamiento de energía y meterle a presión en humanos dirigida por el servicio. A tales efectos, en nuestro laboratorio hemos diseñado una serie de construcciones de fotosíntesis artificial y montados en los sistemas de energía de conversión.

Por ejemplo, pigmentos carotenoides e incluso polienos polímeros pueden ser incorporados en la clorofila basado en centros de reacción artificial capaz de convertir la energía solar en energía química. En algunos casos, la función de recolección de luz de estas antenas carotenoides artificiales es de casi el 100% de eficiencia. En los sistemas cada vez más complejo, bombas artificiales de iones

---

<sup>35</sup>NOCERA, Dniel. <http://bioenergy.asu.edu/faculty/tmoore/>

basados en bucles Mitchellian redox se han reunido que demuestran solar neta de conversión de energía química potencial, incluyendo la síntesis de ATP. Una célula fotoelectroquímica híbrida ha sido desarrollado que utiliza NAD vinculados a enzimas deshidrogenasa para oxidar una variedad de biomateriales y utiliza la luz para aumentar el potencial de reducción de los electrones que resulta suficiente para reducir los protones  $H_2$  a pH neutro.

De hecho, los procesos bioenergéticos que hacen posible la vida de organismos que respiran oxígeno implican reacciones comunes a las células de combustible que son prometedoras para la conversión eficiente de energía en dispositivos hechos por el hombre. Las enzimas que llevan a cabo estas reacciones en las células vivas operar con alta eficiencia y puede inspirar el desarrollo de catalizadores eficientes para la descomposición del agua, la reducción de oxígeno en el agua y la oxidación del hidrógeno a los protones, que son las reacciones de la derecha en el corazón de la producción de energía y el consumo sostenibles. El progreso en una serie de laboratorios para el desarrollo de estos catalizadores bioinspirados es alentadora, pero aún lejos de su aplicación práctica. La preocupación número uno es, ¿estamos en una sociedad dispuesta a pensar a largo plazo, para cometer financiación de la investigación y la inversión en infraestructura a un nivel mucho más alto, incluso a la altura de Salud y Servicios Humanos o el Departamento de Defensa, para proporcionar energía real de seguridad.

Anexo F. Utilizando la luz solar un grupo de químicos utiliza nanotubos para obtener fotosíntesis artificial y generar combustible de hidrógeno<sup>36</sup>

Estados Unidos otorga \$ 1.7 millones para investigar sobre la elaboración del "verde" de la Nueva Energía.

Un equipo de cuatro químicos de la Universidad de Rochester han comenzado a trabajar en un nuevo tipo de sistema para obtener combustible de hidrógeno a partir de agua utilizando únicamente la luz solar.

El proyecto ha captado la atención del Departamento de Energía de Estados Unidos, que acaba de dar el equipo de cerca de \$ 1.7 millones para continuar el diseño.

"Todo el mundo habla sobre el uso de hidrógeno como combustible verde, pero en realidad la producción de ese combustible sin necesidad de utilizar algún otro medio en el proceso no es fácil", dice Kara Bren, profesor en el Departamento de Química. "La gente antes, ha utilizado la luz solar para obtener hidrógeno del agua, pero el truco está en hacer el proceso lo suficientemente eficaz para ser útil".

Bren y el resto del equipo de Rochester, profesor de Química Richard Eisenberg, y los profesores titulares de Química Todd Krauss, y Patrick Holland, la investigación será sobre fotosíntesis artificial, que usa la luz solar para llevar a cabo procesos químicos tal como lo hacen las plantas. Lo que hace el enfoque de Rochester diferente de anteriores intentos de utilizar la luz solar para producir hidrógeno del agua, es que el dispositivo que están preparando se divide en tres "módulos" que permiten a cada etapa del proceso ser manipulado y optimizado más fácilmente que otros métodos.

El primer módulo utiliza la luz visible para crear electrones libres. Una molécula natural llamada cromóforo que utilizan las plantas para absorber la luz solar se ha rediseñado para generar de manera eficiente la reducción de los electrones. El segundo módulo es una membrana impregnada de nanotubos de carbono para

---

<sup>36</sup>INSTITUTO TECNOLOGICO DE MASSACHUSETTS .  
<http://www.itc.rochester.edu/news/show.php?id=3465>

actuar como cables moleculares tan pequeños que son sólo una cien milésima del grosor de un cabello humano. Para evitar que los cromóforos de la re-absorción de los electrones, vayan hacia el tercer módulo. En el tercer módulo, los catalizadores aceleran el proceso de separación del hidrogeno del agua. El hidrógeno puede ser utilizado en pilas de combustible en automóviles, casas, o plantas de energía del futuro.

Al separar los módulos primero y el tercero con la membrana de nanotubos, los químicos tienen la esperanza de aislar el proceso de recolección de la luz del sol desde el proceso de generación de hidrógeno. Este aislamiento le permitirá al equipo un máximo en el sistema de recolección de luz, sin alterar su capacidad de generación de hidrógeno, y sus habilidades. Bren dice que esto es una clara ventaja sobre otros sistemas que tienen los diseños integrados, porque en otros diseños un cambio que mejora un rasgo puede degradar a otro impredecible e inaceptable.

Bren dice que pueden pasar años antes de que el equipo tenga un sistema que funcione claramente mejor que otros diseños, e incluso entonces el sistema tendría que trabajar de manera eficiente como para ser viable comercialmente. "Pero si tenemos éxito, puede ser capaz no sólo de ayudar a elaborar un combustible que se quema limpiamente, sino que la creación del propio combustible puede ser limpio."

## Anexo G. Espuma de rana como combustible<sup>37</sup>

*“están encontrando maneras de tomar la energía del sol y el carbono del aire para crear nuevas formas de biocombustible, gracias a una especie de rana semi-tropical”.*

Con la declinación inevitable de combustibles fósiles, la carrera está en las soluciones. Como alternativa, los investigadores de la Universidad de Cincinnati han encontrado una manera de convertir la energía solar y el dióxido de carbono en azúcar para crear nuevas formas de biocombustibles. El proceso natural de fotosíntesis en las plantas consiste en tomar la energía del sol y el carbono del aire y convertirlas en azúcares.

Son esos azúcares convertidos que producen biocombustibles como el etanol y bioetanol alternativas viables a los combustibles fósiles. El problema es que el costo de cultivo y procesamiento de cultivos para la producción de biocombustibles reduce las tasas de eficiencia de hasta un mínimo de 5%, las investigaciones ahora dicen que han dado forma a un material de fotosíntesis artificial que puede convertir la energía solar y el dióxido de carbono en azúcares con un índice de eficiencia de acerca el 96%. Y por extraño que parezca, le deben su inspiración a los hábitos de nidificación de una rana subtropical – **la tungara**.

La hembra tungara genera una resistencia nido bioespumoso para proteger de la luz solar sus huevos fertilizados, temperatura y de patógenos hasta que los huevos eclosionan. La espuma es eficaz porque permite que la luz y el aire penetren al mismo tiempo que la concentración de los reactivos. Los nidos de espuma son también resistentes a bacterias y hongos y pueden durar hasta dos semanas. El material artificial de gran formación de espuma de la rana tungara tiene como principal ingrediente la proteína surfactante **ranaspumin -2\***, que permite la formación de espuma en bajas concentraciones sin alterar las membranas celulares.

---

<sup>37</sup> Tomas A. Moore. Center for bioenergy and pPhotosynthesis <http://www.photonics.com/article.aspx?aid=42572>, Revista photonics in solar cell, production

\*RSN-2), monómero de 11kDa, proteína surfactante, componente principal de los nidos de espuma producidos por la rana tungara, permite a las vesículas de lípidos y a las enzimas concentrarse.

Según el estudio publicado en línea, en la revista Nano Letters <sup>38</sup>, la espuma convierte la luz en adenosin trifosfato o ATP y el dióxido de carbono en azúcar por medio del ciclo de Calvin. La síntesis de ATP se inicia con la exposición de las vesículas de lípidos.

"La ventaja de nuestro sistema en comparación con las plantas y algas es que toda la energía solar capturada se convierte en azúcares, mientras que estos organismos deben desviar una gran cantidad de energía a otras funciones para mantener la vida y reproducirse", dijo David Wendell, profesor asistente de investigación y co-autor del estudio, junto con Carlo Montemagno, decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, y el estudiante Jacob Todd.

Wendell agregó que demasiado dióxido de carbono cierra la fotosíntesis en los sistemas naturales de la planta ", pero la nuestra no tiene esta limitación debido a la estrategia de Photo-Capture-bacterial-based".

"El sistema que tenemos toma el carbono de la atmósfera y utiliza luz del sol para remodelar las moléculas en combustible -por lo que es neutra en carbono", dijo Montemagno en una entrevista con la emisora de radio pública de Cincinnati WVXU" Creo que las características, de lo que hemos hecho permite que sea escalable y se comercialice. Para mí la verdadera ventaja fundamental de esto es que estamos demostrando que somos capaces de incorporar los procesos de la vida y hacer lo intrínseco, y eso es lo que es realmente mágico en esto".

"Usted puede convertir los azúcares en muchas cosas diferentes, incluyendo el etanol y otros biocombustibles", dijo Wendell. "y se elimina el dióxido de carbono del aire. "Esta nueva tecnología establece una forma económica de la captación de la fisiología de los seres vivos mediante la creación de una nueva generación de materiales funcionales que incorpora intrínsecamente los procesos de la vida en su estructura" dijo Monte Magno, "En concreto, en este trabajo se presenta una nueva alternativa de captación de energía solar para producir combustibles, con alto grado de eficiencia que supera otros métodos de producción basados en la luz solar. En términos más generales se establece un mecanismo para incorporar la funcionalidad de los sistemas vivos en los sistemas que diseñamos y construimos".

---

<sup>38</sup>BREN, Kara. Universidad de Rochester. 2009.  
<http://algalbiofuels.pbworks.com/f/Wendel+et+al+2010+Nano+Letters+artificial+photosynthesis+in+foam.pdf>

El equipo dice que el siguiente paso será tratar de hacer la tecnología viable para aplicaciones a gran escala como la captura de carbono y la quema de carbón, y plantas de energía". Esto implica el desarrollo de una estrategia y/o extraer tanto de la cáscara de lípidos de las algas (utilizado para biodiesel) y el contenido citoplasmático (las ráfagas), y la reutilización de estas proteínas en la espuma" añadió Wendell.

## Anexo H. Un nuevo catalizador nos lleva a la fotosíntesis artificial<sup>39</sup>

Un nuevo catalizador nos acerca un poco más hacia la meta de producir hidrógeno de manera barata, a partir de la luz del Sol, sin la mediación costosa de células fotovoltaicas.

Figura 14. Catalizador para producir hidrógeno



Fuente: <http://pepascientificas.blogspot.com/2010/03/un-paso-mas-hacia-la-fotosintesis.html>

Desde hace décadas se experimenta con catalizadores que permitan obtener hidrógeno a partir del agua y la luz del Sol. El sistema sería muy sencillo; en presencia de luz solar el agua activada por un catalizador se dividiría, produciendo burbujas de hidrógeno y oxígeno que podrían ser utilizados como combustible o para producir electricidad. Por desgracia, pese a que algunos funcionan, no parece que sean muy eficientes o económicos. Sin embargo, con los actuales problemas de crisis energética y cambio climático, este tipo de tecnología ha recibido un nuevo impulso y empiezan a aparecer resultados nuevos y prometedores.

Uno de los resultados más recientes al respecto viene de una colaboración entre la Universidad Emory y el Instituto de Química Molecular de París. Han logrado desarrollar un nuevo catalizador de este tipo (o WOC) que permite la producción de oxígeno, y que sería más económico y rápido que otros desarrollados con anterioridad. El logro fue publicado en Science el pasado 11 de marzo de 2010. Algunos sistemas que se desarrollaron en el pasado permitían solamente la producción de hidrógeno, mientras que el oxígeno se combinaba con el catalizador

---

<sup>39</sup> <http://neofronteras.com/?p=3046>

destruyéndolo en el proceso, por lo que al cabo de un tiempo la producción de hidrógeno se detenía. Encima, algunos de estos catalizadores estaban basados en elementos caros como el platino<sup>40</sup>.

Para que un catalizador WOC sea viable necesita ser selectivo, estable y rápido. Además la homogeneidad también es deseable, ya que aumenta la eficacia y hace que el catalizador sea más fácil de estudiar y optimizar. El nuevo catalizador tiene todas estas cualidades y está basado en un elemento como el cobalto, que no es muy escaso en la corteza terrestre. Potencialmente podría ayudar al desarrollo de la energía solar.

La idea de este tipo de catalizadores es imitar la fotosíntesis, que se produce de manera natural en las plantas, para producir combustibles de una manera limpia.

El próximo paso de este grupo de investigadores consistirá en la incorporación de este tipo de catalizador en un sistema de fotólisis de agua alimentado por energía solar. A largo plazo la meta es producir oxígeno e hidrógeno a partir del agua y cuya combinación en una célula de combustible produciría electricidad. El hidrógeno también podría ser utilizado como combustible en una máquina térmica o para la producción de otros combustibles. En el balance final no habría emisión de gases de efecto invernadero, obteniéndose otra vez agua como producto final.

Los desafíos técnicos principales para lograr un sistema de producción de energía de este tipo son el desarrollo de un colector de luz solar, un catalizador para producir oxígeno tipo WOC y un catalizador para producir hidrógeno. Los tres componentes necesitan ser mejorados, pero el catalizador tipo WOC es el más difícil de conseguir. El objetivo de estos investigadores era conseguir un catalizador WOC libre de estructura orgánica, debido a que los componentes orgánicos se combinan con el oxígeno y se autodestruyen en el proceso.

Las enzimas son catalizadores naturales, pero las enzimas naturales que forman parte del sistema fotosintético de las plantas son las menos estables de la Naturaleza y unas de las de más corta vida, debido a que realizan la función más dura de todas.

---

<sup>40</sup>UNIVERSIDAD EMORY <http://shared.web.emory.edu/emory/news/releases/2010/03/water-oxidation-advance-boosts-potential-for-solar-fuel.html>.

Craig Hill, de la Universidad de Emory y participante en el proyecto, dice que han logrado duplicar este proceso natural mediante el copiado de las características esenciales de la fotosíntesis y usándolas en un sistema sintético libre de carbono. El WOC que han conseguido es mucho más estable que su correspondiente enzima natural.

Hasta ahora se han desarrollado unos 40 catalizadores de tipo WOC, pero todos ellos tenían serias limitaciones, como el contener componentes orgánicos que se oxidaban durante el proceso.

Hace dos años este mismo grupo de investigadores desarrollaron un catalizador homogéneo, rápido y libre de carbono pero que estaba basado en rutenio, que es un elemento escaso y caro. A partir de entonces han experimentos con cobalto, que es mucho más abundante (no tanto como creen los investigadores) y barato que el rutenio. Este nuevo catalizador ha demostrado incluso ser más rápido que el basado en rutenio.

## Anexo I. Hoja artificial inorgánica

*A natural leaf and its hierarchical structures (insets) are pictured. Scientists have reported the design for an artificial inorganic leaf. Courtesy of Tongxiang Fan, Shanghai Jiaotong University.<sup>41</sup>*

Los científicos han introducido un diseño, para una hoja artificial, inorgánica que pueda capturar la energía solar y ser utilizada para transformar el agua en combustible de hidrógeno, una alternativa ecológica a los combustibles fósiles no renovables como el carbón, petróleo y gas natural.

El hidrógeno, cuando se quema, emite vapor de agua. Por el contrario, los combustibles fósiles, al quemarse, emiten dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero asociados al cambio climático y otros problemas ambientales.

La hoja artificial inorgánica, con ayuda de la luz del sol logra dividir el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno, en el proceso de fotosíntesis.

Dr. Fan Tongxiang y sus colegas han observado de cerca la estructura y función natural de las hojas y aplican sus conocimientos para diseñar hojas artificiales con una mejora de las funciones de captación de luz, para aprovechar los recursos renovables de la energía solar.

El uso de dióxido de titanio, un catalizador de un solo componente, como un prototipo, demostraron con éxito el diseño estructural para la mejora de la actividad fotocatalítica basada en las estructuras de los sistemas biológicos. El dióxido de titanio es un fotocatalizador para la producción de hidrógeno.

Ellos encontraron que la intensidad de absorción, en el rango (preferible banda o nivel) de luz visible de la hoja artificial inorgánica y dióxido de titanio, aumentó de 200 a 234%, y que los inicios de absorción, en el borde de los rangos de UV y visible muestra un corrimiento al rojo de 25 a 100 nm, en comparación con las de dióxido de titanio sin biotemplate.

---

<sup>41</sup><http://en.sjtu.edu.cn/research/centers-labs/state-key-laboratory-of-metal-matrix-composites>  
pagina web del laboratorio, donde se realizo el estudio en china

"La investigación puede representar un primer paso importante hacia el diseño de nuevos sistemas de energía solar artificial de transducción, basada en paradigmas naturales, en particular en imitar el diseño estructural.

El trabajo puede ser un verdadero avance que sugiere una importante - y poco común - estrategia de preparación para obtener un fotocatalizador activo para dividir el agua, y abrir nuevas perspectivas en esta área estratégica de la investigación moderna ", añadió.

En realidad, toda la biomasa, como residuos agrícolas y las algas, podrían ser utilizados como recursos para la fabricación de materiales funcionales. Dijo Fan.

### **Forma y función**

Las hojas artificiales inorgánicas tienen una estructura similar a la hoja natural. Tienen la apariencia de la hoja en forma de películas inorgánicas, con un grosor de decenas de micrómetros, aproximadamente dijo.

Para las funciones, las hojas inorgánicas artificiales podrían conservar los rayos UV y parte de la luz visible. Se podría dividir el agua en hidrógeno y oxígeno en presencia de reactivos de una manera eficiente a la radiación de luz ultravioleta y visible.

Dos principales desafíos que enfrenta la investigación en esta área son la recolección limitada de energía solar, la luz visible sobre todo, y la conversión de la energía suficiente, sobre todo en la ausencia de reactivos de sacrificio, dijo Fan.

### **Aplicaciones**

"La ventaja de la técnica, que tiene sobre las tecnologías convencionales, es que se hace un uso completo de la energía solar y la biomasa", señaló. "La energía solar es inagotable y gratuita. Así, utilizando la luz del Sol para dividir las moléculas de agua y de combustible de hidrógeno es una de las tácticas más prometedoras para alejarnos nuestra adicción al carbono. La biomasa también es inagotable y barata. Haciendo pleno uso de la energía solar y la biomasa para generar energía sostenible, tales como el hidrógeno para aliviar la contaminación ambiental, sería de gran importancia para la crisis energética mundial y la contaminación del medio ambiente".

Una de las aplicaciones de la técnica es convertir la energía solar en combustibles químicos. Esto puede ser dividido en dos partes: la división de agua foto catalítica para la producción de hidrógeno y la reducción foto catalítica del dióxido de carbono en combustibles orgánicos. Fan dijo que esta es una de las tácticas más prometedoras para alejarnos nuestra adicción al carbono y podría ser importante para combatir la crisis energética mundial y el calentamiento climático global.

La aplicación importante es convertir la energía solar en electricidad. La estrategia podría ser utilizada para la producción rentable de paneles solares, la energía fotovoltaica y las células foto electro-químicas basadas en el modelo de la hoja.

El hidrógeno renovable y los combustibles orgánicos, (metanol y etanol) podrían perfilarse para ser una gran industria en el futuro. Y lograr ser utilizados en los automóviles y las máquinas mecánicas - incluso en los hogares para el uso diario, dijo Fan.

### **Herramientas fotónicas**

En el estudio, varias técnicas espectroscópicas avanzadas se utilizan para la medición: espectroscopia de absorción UV-visible, para la comparación cuantitativa de la intensidad global de absorción de luz visible; espectroscopia electrónica paramagnética de resonancia, para la detección e identificación de los radicales libres y centros paramagnéticos, que fue utilizado como un estudio preliminar sobre la actividad catalítica, y espectroscopia de rayos X de fotoelectrones, para la confirmación de la composición elemental y el estado químico.

Varias herramientas ópticas fueron utilizadas para la caracterización: un microscopio digital para la caracterización de los detalles de la superficie, tales como las morfologías y colores de las hojas bajo alta magnificación, un microscopio óptico para la observación de las estructuras interiores y colores de las hojas, y microscopía de escaneo láser con focal para la identificación de tejidos naturales de las hojas, incluyendo las cutículas, las células del mesófilo, las células de la vaina y el paquete de los haces vasculares. Este último también fue utilizado para la medición cuantitativa de la intensidad de fluorescencia, lo que podría dar algunas indicaciones para los procedimientos químicos.

Métodos de Electrónica de transmisión, emisión de campo y microscopios electrónicos de barrido son importantes para la caracterización de las nanas estructuras de las hojas naturales creadas artificialmente.

### **La investigación adicional**

"Para el siguiente paso, estamos pensando en utilizar un único cloroplasto como biotemplate (matriz biológica o plantilla biológica). La síntesis de los cloroplastos artificiales con estructuras y funciones similares podría ser muy atractivo e interesante ", dijo Fan.

La producción de otra serie de hojas artificiales, incluidos los titanatos, niobatos, tantalatos, nitruros metálicos y fosfuros, sulfuros de metales y otros óxidos de metales de transición para una mayor eficiencia fotocatalítica, es de interés para los investigadores.

El diseño y la construcción de un sistema de fotocátalisis para la reducción de dióxido de carbono en combustibles orgánicos mediante la imitación de la fase oscura de la fotosíntesis, sería de gran importancia para la crisis energética y el calentamiento climático global, dijo Fan.

Finalmente, el método podría extenderse a hojas artificiales poliméricos o supramoleculares, que podrían responder a la luz visible y que están mucho más cerca de los sistemas naturales, agregó.

Los investigadores también están analizando la síntesis de los foto catalizadores con la división de agua, y actividades foto catalíticos de degradación mediante el uso de la biomasa, incluyendo residuos agrícolas -paja, cáscara de arroz.

"Esto podría aliviar la escasez creciente de energía y la contaminación del medio ambiente. La idea central es "que rigen los residuos con los residuos." Esto significa que el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación de materiales con residuos agrícolas como los recursos podrían ser utilizados para aliviar los problemas de escasez de energía y la contaminación ambiental ", dijo Fan.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup>REVISTA PHOTONICS in solar cell production.

<http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42573> pagina de la revista. Artículo en inglés

## Anexo J. Creen poder obtener electricidad de la fotosíntesis de las plantas<sup>43</sup>

El agotamiento de las fuentes de energía tradicionales así como el interés por conseguir otras menos contaminantes está llevando a los científicos a experimentar con todo tipo de posibilidades. Las plantas solares o los molinos eólicos ya forman parte habitual del paisaje pero aún son insuficientes.

Por ello, las investigaciones continúan y, a veces, dan como fruto posibilidades singulares. Así, ahora un grupo de científicos del Instituto Israelí de Tecnología - conocido como Technion- han descubierto un sistema que podría producir energía eléctrica manipulando el proceso fotosintético de las plantas.

El equipo, dirigido por Gadi Schuster y Noam Adir, ha estudiado una proteína clave en este proceso: la que mueve los electrones, extrayéndolos del agua y trasladándolos a través de la membrana celular de los vegetales. A partir de ésta y mediante la alteración de uno de sus aminoácidos, han logrado cambiar la dirección de los electrones, de tal modo que la energía producida en el proceso se puede aprovechar. Y, como la frecuencia de aquéllos es lo suficientemente alta como para generar una cantidad útil de energía, creen que podría producirse electricidad de ella.

En lo que aún deben seguir trabajando estos científicos es en crear un mecanismo que permita convertir la energía bioquímica generada en electricidad, un avance nada fácil y acerca del que están investigando.

Una vez que logren esta segunda etapa del proceso, se podrá suministrar energía eléctrica útil. No obstante, este sistema nunca llegará a reemplazar a los tradicionales. La idea es que pueda utilizarse en lugares cuya falta de infraestructuras impida la llegada de la electricidad tradicional.

En estas zonas, se espera que con unas pocas hojas de una planta grande se pueda suministrar energía eléctrica durante unas horas al día, de forma similar a como sucede ahora con los paneles solares.

---

<sup>43</sup><http://www.aprendergratis.com/creen-poder-obtener-electricidad-de-la-fotosintesis-de-las-plantas.html>

Pensemos, por ejemplo, en un lugar como las selvas amazónicas o zonas de alta montaña. No sería preciso tender costosas instalaciones de cableado ni generadores que, además, perjudican al medio ambiente. Bastaría con instalar este sistema para que la electricidad llegase a esos lugares aislados.

Por todo ello, este sistema pionero resulta prometedor y, además y no menos importante, el vegetal no sufre ningún daño en el proceso. El cambio de positivo a negativo no altera la función de la proteína ni el posterior desarrollo de la planta, que crece sin ningún problema.

- **OBTENER ELECTRICIDAD DE PLANTAS MEDIANTE FOTOSÍNTESIS E INGENIERÍA GENÉTICA<sup>44</sup>**

El siguiente paso es idear un mecanismo que sea capaz de convertir con la debida eficiencia la energía bioquímica en electricidad, como la que usamos en nuestras actividades cotidianas. Pero en el futuro, podría suministrar cantidades utilizables de electricidad limpia, especialmente en lugares con problemas de infraestructura a los cuales no sea posible hacer llegar la electricidad tradicional. Los investigadores esperan lograr que unas cuantas hojas (las de una planta de tabaco, por ejemplo) suministren electricidad durante unas horas al día, como hoy hacen los paneles solares.

---

<sup>44</sup>[http://www.cidipal.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=5021&Itemid=85](http://www.cidipal.org/index.php?option=com_content&task=view&id=5021&Itemid=85)

## Anexo K. Árbol artificial

El centro de Lima se caracteriza por su historia, por sus tradiciones y por ser el corazón comercial de la ciudad; pero si queremos buscar la exactitud en su descripción no podemos dejar de mencionar un problema que pone en peligro la salud de todos los habitantes de la capital: la contaminación ambiental<sup>45</sup>.

Ante la crítica situación del aire capitalino surgieron diferentes voces reclamando la siembra de árboles que contribuyan a limpiar el smog de la ciudad, pero lamentablemente las arterias del centro de Lima, por cuestiones de espacio, no admiten mayor vegetación, ello sin mencionar que los árboles no crecen de un día para otro. Por tanto las áreas verdes no son una solución que de resultados en corto plazo. Entonces es momento de buscar salidas en la ciencia.

La organización TIERRA NUESTRA (experta en planes de conservación del medio ambiente) ha creado el **Purificador de Aire Urbano** (PAU- 20), una máquina única en América que nos podría brindar una solución integral para la contaminación del aire que respiramos a diario.

El PAU- 20 (o 'Súper Árbol') es resultado de un esfuerzo de varios años realizado por un equipo interdisciplinario de ingenieros y científicos. Tiene un tamaño de cinco metros, un peso total de 1200 kilos y esa capaz de purificar 200 000 metros cúbicos de aire por día; la misma cantidad que respiran 20 000 personas. El innovador aparato retira del aire gérmenes, polvo y bacterias en un 100% y absorbe como mínimo el 8% de las partículas que emanan de los gases nocivos liberados por los automóviles.

El proceso de destilación del aire contaminado que realiza el 'Súper Árbol' necesita 60 litros de agua. Ello junto a las bajas condiciones termodinámicas adecuadas logran equilibrar el proceso de absorción termodinámico, de tal manera que los contaminantes se queden en el agua. Solo para darnos una idea, un PAU-20 es capaz de fijar tanto CO<sub>2</sub> por día como una hectárea de eucalipto.

Jorge Gutiérrez, gerente de Tierra Nuestra, ha demostrado que la máquina funciona tan efectivamente que solo desecha lodo estéril, agua no potable sin

---

<sup>45</sup>Pontificia Universidad Católica de Perú <http://revistas.pucp.edu.pe/willay/node/384>

gérmenes o bacterias y con gases disueltos, y no genera olores desagradables. Un prototipo opera exitosamente desde julio en el Ministerio de Industria, Comercio Exterior y Turismo.

La intención de TIERRA NUESTRA es implementar las calles más contaminadas del centro de Lima (como la avenida Abancay) con varias unidades PAU- 20. El principal obstáculo para ello es que cada unidad cuesta 100 000 dólares por lo que se requiere del apoyo del Estado y de entidades privadas. Una forma de abaratar su costo es utilizar las paredes laterales de los PAU- 20 como paneles de publicidad.

El año pasado se alcanzó un acuerdo entre TIERRA NUESTRA y el Ministro de Producción, Rafael Rey, quien se comprometió a poner en marcha un plan para combatir la contaminación basándose en el trabajo de los 'Súper Árboles', pero lamentablemente, como si se tratase de una promesa electoral, todo quedó en nada.

Ojala se tome conciencia de la gravedad del problema y el gobierno ponga manos a la obra, pues cada día crece el número de muertes causadas por directamente por la contaminación aérea en todo el Perú. A la fecha la cifra es de 10 000 personas por año.

### **ÁRBOL ARTIFICIAL, LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL DE FORMA ECONÓMICA<sup>46</sup>**

Diseñan un árbol artificial que absorbe CO<sub>2</sub> igual que los bosques naturales. Este invento podría ser una solución al cambio climático. Estos árboles artificiales podría absorber 90.000 toneladas de CO<sub>2</sub> en un año, equivalente a las emisiones de unos 15.000 vehículos.

---

<sup>46</sup>TIERRA NUESTRA, Árbol Artificial. <http://www.serviciosjfp.com/Canales/otros/000449.htm>.

## **Instalan el primer árbol artificial viable del mundo**

Un equipo de ingenieros peruanos ha desarrollado un sistema denominado PAU-20, con el que se pueden purificar 200.000 metros cúbicos de aire al día, es decir, la cantidad diaria de aire que respiran 20.000 personas. Los contaminantes del aire quedan fijados en agua mediante un proceso que produce aire limpio. Ya hay una instalación piloto en Lima, pero sus creadores esperan que el proyecto se expanda a ciudades de todo el mundo. El depurador, conocido como súper árbol, proporciona así mismo valiosa información sobre la contaminación biológica ambiental y es capaz de fijar al día tanto CO<sub>2</sub> como una hectárea de eucaliptos.

Se trata de un dispositivo que permite eliminar partículas en suspensión y gases contaminantes, como el dióxido de carbono, con la finalidad de limpiar grandes volúmenes de aire contaminado, en especial en aquellas zonas urbanas altamente contaminadas.

El Súper árbol es capaz de purificar, eliminando polvo, gérmenes y bacterias, un volumen de aire de 8.334 metros cúbicos por hora, hasta llegar a los 200.000 metros cúbicos diarios, aseguran los ingenieros.

El aparato tiene un tamaño de cinco metros de alto por tres metros de ancho, pesa 1.200 kilogramos y precisa de 60 litros de agua para la destilación del aire contaminado. El aire y el agua, bajo condiciones termodinámicas adecuadas, logran equilibrar su entalpía (proceso de absorción termodinámico), produciendo la fijación de los contaminantes del aire en el agua en un proceso continuo. De esta forma, el aire sucio entra por un lado de la máquina y, por el otro lado, sale aire puro. Los contaminantes quedan fijados en el agua, que es depositada en un desagüe, en forma de lodo estéril y agua no potable.

Es capaz de fijar un 8% del dióxido de carbono del aire tratado en el agua en un día de operación, lo que equivaldría aproximadamente a la labor de una hectárea de eucaliptos en ese mismo periodo de tiempo.

## Anexo L. Un nuevo material permite la fotosíntesis artificial de forma económica<sup>47</sup>

Ingenieros de la universidad japonesa de Kyoto han desarrollado un material construido a base de nanopartículas muy puras de dióxido de manganeso, que podría utilizarse para reproducir la fotosíntesis natural de forma artificial y a muy bajo costo.

*Estas nanopartículas, que desempeñan un papel fundamental en el proceso de la fotosíntesis, se obtienen mediante una especial técnica de combustión. El reducido tamaño de estas partículas, de varios nanómetros, convierte al nuevo material en más reactivo y eficaz para imitar el fenómeno natural de la fotosíntesis. Teóricamente, podría reducir 300 veces el dióxido de carbono en la atmósfera más que las plantas.*

Un grupo de ingenieros de la Universidad de Kyoto, liderado por el profesor Hideki Koyanaka, ha desarrollado un material que podría ser utilizado para reproducir a muy bajo costo el proceso de la fotosíntesis de las plantas, de manera artificial. El nuevo material, del que informa el diario japonés Nikkei, se ha conseguido utilizando una especial técnica de combustión que permite producir nano partículas muy puras de dióxido de manganeso, que desempeñan un papel fundamental en el proceso de la fotosíntesis.

El reducido tamaño de estas partículas, de varios nanómetros, convierte al nuevo material en más reactivo y eficaz para imitar el fenómeno natural de la fotosíntesis, con la ventaja adicional de que el nuevo material podría reducir 300 veces más que las plantas el dióxido de carbono presente en la atmósfera.

La llamada fotosíntesis artificial es un campo de investigación que intenta reproducir la fotosíntesis natural de las plantas, por la que éstas convierten el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos y oxígeno utilizando la luz solar. La fotosíntesis artificial, que hasta el momento se encontraba en un estadio inicial de desarrollo, podría verse potenciada por los resultados de la labor de los ingenieros japoneses.

### **Sistemas baratos**

---

<sup>47</sup>[http://www.tendencias21.net/Un-nuevo-material-permite-la-fotosintesis-artificial-de-forma-economica\\_a1429.html](http://www.tendencias21.net/Un-nuevo-material-permite-la-fotosintesis-artificial-de-forma-economica_a1429.html)

Gracias al nuevo material desarrollado en la Universidad de Kyoto, será posible la utilización de sistemas baratos y eficaces para sintetizar los azúcares y el etanol a partir de la luz y del dióxido de carbono, reduciendo en el proceso, la cantidad de emisiones de dióxido de carbono lanzadas a la atmósfera.

Aplicando una innovadora técnica de combustión, estos ingenieros han conseguido producir partículas de dióxido de manganeso altamente puras y del tamaño de varios nanómetros. Estas partículas forman la base del innovador material.

El manganeso cuesta varios cientos de yenes (un yen equivale a 0.00653122 euros) por kilo, y jugaría un importante papel en el proceso artificial de imitación de la fotosíntesis. El pequeño tamaño de sus partículas hace que el nuevo material sea más reactivo y eficaz en el proceso de síntesis de azúcares o etanol.

### **Reducción del dióxido de carbono**

Las plantas, durante el proceso de la fotosíntesis, consumen dióxido de carbono. Los ingenieros japoneses señalan que, en teoría, el nuevo material de manganeso puede reducir hasta 300 veces más que las plantas el dióxido de carbono presente en la atmósfera.

Aparte de su bajo coste, por tanto, tiene un valor ecológico. Ahora, los ingenieros se plantean su comercialización en dispositivos prácticos, de pequeño tamaño, que en principio serían utilizados para reducir las emisiones de dióxido de carbono en su misma fuente de producción, es decir, que se instalarían en los coches o fábricas.

### **FRENAR EL CALENTAMIENTO**

En general, y al igual que en la fotosíntesis natural (dividida en la fase de reacción dependiente de la luz y la segunda fase, de reacción independiente de la luz), la fotosíntesis artificial consta de dos fases.

En la primera de ellas, se separa el oxígeno del hidrógeno, y este último puede emplearse en máquinas que se alimenten de hidrógeno para producir energía

gracias a las llamadas "tecnologías del hidrógeno"

En la segunda fase, se imitaría la segunda fase de la fotosíntesis natural, en la que las plantas convierten el dióxido de carbono en glucosa (forma de almacenaje de energía para el desarrollo y crecimiento de las plantas), aplicando el mismo procedimiento a escala industrial, de manera que pueda contrarrestarse el calentamiento global.

De manera específica, esta segunda fase de la fotosíntesis artificial supondría la posibilidad de eliminar el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera.

### **Fotosíntesis artificial**

La fotosíntesis artificial es un campo de investigación que intenta imitar la fotosíntesis natural de las plantas, con el fin de convertir dióxido de carbono y agua en carbohidratos y en oxígeno, utilizando para ello la luz del Sol.

En la fotosíntesis natural intervienen docenas de enzimas que catalizan varias reacciones individuales, pero todo el proceso puede dividirse conceptualmente en dos fases principales que interactúan mediante moléculas transportadoras de energía: las reacciones luminosas, que dependen de la luz del Sol, y las reacciones oscuras, que pueden ocurrir en ausencia de luz.

Estas reacciones tienen mucha importancia tanto desde el punto de vista científico como desde el punto de vista económico, dada su potencial aplicación en la explotación de la energía solar, sin embargo el proceso es tan complejo que aún en un laboratorio es difícil de replicar.

El término fotosíntesis artificial se aplica a aquellos procesos que, inspirados en la fotosíntesis natural, buscan utilizar la energía solar para producir otros tipos de energía que puedan ser aprovechados por el hombre de manera limpia y eficiente, de forma que en un futuro se pueda producir una "planta artificial" que sea capaz de almacenar energía en forma de compuestos orgánicos a partir de bióxido de carbono y agua.

Esto hace que la fotosíntesis artificial sea una tecnología atractiva no sólo desde el punto de vista práctico y económico, sino también desde el punto de vista ecológico, ya que potencialmente podría ayudar a mitigar o revertir algunos de los

efectos adversos producidos por el consumo de combustibles fósiles como el calentamiento global.

Las investigaciones en cuanto a fotosíntesis artificial se pueden dividir de acuerdo con la fase de la fotosíntesis natural que buscan replicar: la separación de moléculas de agua para obtener hidrógeno y oxígeno que ocurre en la fase luminosa, y la fijación del bióxido de carbono que ocurre en la fase oscura.

Anexo LL. Combustión de hidrógeno. ¿Es posible una combustión limpia?<sup>48</sup>  
Publicado por [Javier Dufour](#) el 9 diciembre, 2010

*Mentalmente asociamos la palabra “combustión” con el humo negro, la suciedad y la contaminación. En este artículo se pretende desmitificar esta idea con el uso del hidrógeno como combustible en los motores de combustión interna y en las turbinas de gas. El objetivo es presentar una alternativa de futuro y de presente, tanto a los sistemas de combustión convencionales como a las pilas de combustible.*

El sistema energético actual basado en los combustibles fósiles parece, cada día que pasa, más insostenible. Las reservas son cada vez más escasas y los precios, debido fundamentalmente a la aceleración económica de China y la India, y a la recesión en el resto del mundo, más inestables. Si a todo esto se le une la creciente preocupación por el medio ambiente, se convierte en urgente la necesidad de un nuevo modelo energético.

Los planes estratégicos de la mayoría de los países incluyen al hidrógeno como vector energético del nuevo modelo. El atractivo del hidrógeno radica en la variedad de métodos para producirlo y en la diversidad de sistemas de generación de energía para utilizarlo. Posiblemente, las pilas de combustible sea la tecnología que más interés ha despertado debido a una mayor eficiencia en el proceso electroquímico, el nivel de emisiones cero y el silencioso funcionamiento de las mismas. Como desventaja, su lento desarrollo, su escasa vida útil y su elevado precio, hacen inviable, actualmente, su competencia con las energías convencionales. En este punto, la adaptación de motores de combustión y turbinas de gas para su funcionamiento con hidrógeno comienza a ser atractiva como parte fundamental del futuro sistema energético.

El gran potencial de las tecnologías basadas en la combustión del hidrógeno radica en el aprovechamiento de la estructura industrial actual. Tanto los motores de combustión interna como las turbinas de gas son sistemas de generación de alta fiabilidad y limitado desembolso inicial, debido, fundamentalmente, al gran desarrollo industrial que han tenido durante las últimas décadas. Frente a las pilas de hidrógeno, con sistemas de producción aún artesanales, los sistemas de

---

<sup>48</sup><http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/page/7> Profesor Titular de Universidad.  
javier.dufour@urjc.es

generación de energía basados en la combustión de gas tienen un gran respaldo industrial.

En la actualidad, marcas constructoras de automóviles, como Mazda y BMW, se están posicionando para el empleo del hidrógeno en motores de combustión interna, proponiendo sistemas duales que permiten la utilización de combustibles fósiles o hidrógeno dependiendo de las circunstancias. En el mundo de las turbinas de gas, los proyectos no se encuentran en un estado tan avanzado, y aunque existen en el mundo turbinas de tamaño medio quemando combustibles ricos en hidrógeno, los proyectos que contemplan al hidrógeno como único combustible son escasos. Únicamente el proyecto de ENEL en Fusina incluye la construcción de una turbina de gas que opere íntegramente con hidrógeno aunque países como Corea (proyectos a pequeña escala), Japón (programa WE-NET) y Estados Unidos (proyecto Hydrogen Turbine Development) son los más punteros en esta nueva tecnología.

Las pruebas realizadas en motores de combustión interna dan como resultados mejores eficiencias en la combustión que los motores convencionales debido a la elevada difusividad que permite mezclas combustible-aire más homogéneas, al amplio intervalo de inflamabilidad con el que se consigue una combustión más completa y limitar la temperatura final de la combustión, y la alta temperatura de auto-ignición que permite mayor relación de compresión.

El inconveniente es que las propiedades que hacen del hidrógeno un combustible muy atractivo para su utilización en motores de combustión interna, se traducen en problemas para obtener una combustión controlada. La pequeña distancia de apagado, la baja energía de ignición y la alta velocidad de la llama, dan como resultado fenómenos indeseables en la combustión que, generalmente, se traducen en una combustión anómala. Estas anomalías incluyen la combustión superficial y el retroceso de la llama, además de problemas de autoencendido. La mayoría de estos problemas pueden ser controlados con un exceso de aire en la mezcla, mejoras en el sistema de refrigeración que eviten zonas calientes, recirculación de los gases de escape o inyección de agua.

En cuanto a las turbinas de gas operadas con hidrógeno, el gran potencial de las mismas asociadas a la generación vapor en ciclos combinados lo convierten en la tecnología más prometedora con el inconveniente de las altas temperaturas alcanzadas en la reacción de hidrógeno con aire. El rango de temperatura alcanzado en la llama (2500 – 3000 °K) suponen un gran problema debido a que la tecnología de materiales actual no ha conseguido sintetizar materiales capaces

de aguantar durante periodos de tiempo prolongados temperaturas tan elevadas. Para solventar este problema se suele recurrir a la inyección de agua adicional, lo que permite ajustar la temperatura de la combustión.

Además de todo lo enunciado, se debe tener en cuenta las particularidades del hidrógeno. Su principal fortaleza como combustible es el nivel de emisiones cero que se puede lograr teniendo en cuenta que el único producto de la combustión, o de la reacción química de hidrógeno con oxígeno, es vapor de agua, y su principal debilidad es su baja densidad energética en términos volumétricos (energía / volumen) lo que conlleva la necesidad de grandes volúmenes de acumulación.

En mi opinión, el nivel de emisiones “cero” de los motores de combustión de hidrógeno, sumado a que estructuralmente se podrían utilizar los sistemas de combustión actuales (con pequeñas modificaciones) lo que abarataría los costes de fabricación y aumentaría la vida de funcionamiento de los equipos, hace que los motores de combustión con hidrógeno puedan desempeñar un papel protagonista en un nuevo modelo energético a corto plazo.

## Anexo M. Descubren como almacenar de manera estable el calor del sol

Un equipo de investigadores del MIT ha descubierto cómo exactamente actúa una molécula llamada fulvaleno dirutenio al almacenar calor y al liberarlo, dos procesos activables de manera artificial. Este conocimiento debería ahora hacer posible encontrar sustancias químicas similares en comportamiento, pero compuestas por ingredientes más abundantes y menos caros que el rutenio.

La sustancia estudiada, que fue descubierta en 1996, experimenta una transformación estructural cuando absorbe la luz solar, pasando a un estado de alta energía en el cual puede permanecer estable por tiempo indefinido. Para activar la transformación que la saca de ese estado, basta con agregar una pequeña cantidad de calor o bien usar un catalizador. Esa transformación hace que la sustancia regrese a su forma original, liberando durante el proceso el calor que había retenido.

De todas formas, tal como ha tenido oportunidad de comprobar el equipo de Jeffrey Grossman del MIT, el proceso es más complicado de lo que podría parecer. Resulta que hay un paso intermedio que desempeña un papel fundamental. En este paso intermedio, la sustancia forma una configuración semiestable entre los dos estados conocidos previamente. El hallazgo ha sido inesperado.

De hecho, este proceso hace posible producir una batería de calor recargable, capaz de almacenar y liberar repetidamente el calor obtenido de la luz solar u otras fuentes. En principio, un combustible hecho de fulvaleno, al liberar su calor almacenado, podría alcanzar una temperatura de hasta 200 grados Celsius, lo suficiente para ser usado en un sistema de calefacción, o incluso para alimentar un motor que produzca electricidad a partir de calor comparada con otras tecnologías que se valen de la energía solar, esta singular batería de calor aprovecharía muchas de las ventajas de la energía solar térmica, pero con la diferencia de que almacena el calor en forma de combustible. El hecho de que sus transformaciones sean estables a largo plazo pero reversibles a voluntad del usuario es también una baza importante. Al usuario le bastaría exponer el combustible al sol para cargarlo, luego lo utilizaría para que emitiera calor, y de nuevo se iniciaría el ciclo volviendo a exponer el mismo combustible al sol para recargarlo.

Además de Grossman, en esta investigación han intervenido Yosuke Kanai del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, Varadharajan Srinivasan del MIT, y Steven Meier y Peter Vollhardt de la Universidad de California, Berkeley.

### **Principios de diseño para la recolección de la luz<sup>49</sup>**

Los investigadores miden dos dimensiones de Fourier del espectro electrónico de transformar las proteínas fotosintéticas real y el uso de simulación de la mecánica estadística en NERSC para calcular la respuesta óptica no lineal en el espectro. Esta es una tarea computacionalmente exigente, porque el espectro contiene un promedio de todos los aportes de un conjunto desordenado de estados de energía, que requieren un gran número (500-5000) de cálculos independientes. La dinámica cuántica de la energía de excitación y de transferencia de carga en la proteína fotosintética complejos pigmento se calcula también, como es la simulación de las reacciones luminosas fotosintéticas para entender la respuesta de una planta de retroalimentación a las fluctuaciones en la intensidad de la luz.

Por qué es importante: los detalles de la física química de las fases iniciales de la fotosíntesis, el proceso en el cual la el complejo fotosintético pigmento-proteína, convierten la energía de la luz solar en una forma química, aún no están completamente aclarados. Entender el mecanismo de conversión de energía de excitación en reales complejos fotosintéticos puede proporcionar conocimientos valiosos que pueden ser aplicadas para mejorar los dispositivos artificiales de captación de energía solar. Esta investigación examina la dinámica cuántica para explicar por qué los sistemas naturales para realizar la fotosíntesis, de manera eficiente y las reglas de diseño que rigen la estructura y los procesos dinámicos de la transferencia de energía de excitación.

Logros: El grupo de Fleming ha simulado la energía de transferencia electrónica de la dinámica cuántica en el complejo de la luz la cosecha principal del fotosistema II (LHCII). Los resultados demuestran un fuerte entrelazamiento cuántico en condiciones fisiológicas para el caso de una excitación elemental única. Las simulaciones ayudaron a comprender el impacto de la proteína en la deslocalización cuántica y entrelazamiento cuántico. Trabajos recientes han demostrado la importancia de la coherencia cuántica, las excitaciones electrónicas de los viajes, aunque los pigmento-proteína fotosintéticos en forma de paquetes de onda cuántica mecánica de mantenimiento de la coherencia de fase, en lugar del movimiento difusivo incoherente como ha sido por lo general.

Investigador Principal: Graham Fleming (UC Berkeley)

---

<sup>49</sup><http://www.nersc.gov/science/energy-science/artificial-photosynthesis-i-design-principles-for-light-harvesting/>

- **NUEVOS AVANCES HACIA LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL<sup>50</sup>**

(NC&T) Para alcanzar este logro, sin embargo, los científicos necesitan un conocimiento mucho mejor de cómo lo hace la Naturaleza, comenzando con la recolección de la luz solar y el transporte de esta energía hacia los centros de reacción electroquímica.

Graham Fleming, un físico químico que ocupa cargos en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley y en la Universidad de California en Berkeley, es el principal impulsor de un esfuerzo que ha sido puesto en marcha para descubrir cómo los vegetales son capaces de transferir energía a través de una red de complejos pigmento-proteína con casi un ciento por ciento de eficiencia.

En estudios previos, él y su grupo de investigación usaron una técnica basada en el láser, que desarrollaron para rastrear el flujo de energía de activación, a través del tiempo y del espacio.

Ahora, por primera vez, han conseguido conectar ese flujo a funciones de transferencia de energía. Lo han hecho mediante la estrategia de proporcionar enlaces directos entre estructuras atómicas y electrónicas en los complejos pigmento-proteína.

En su estudio, los investigadores trabajaron con las funciones de transferencia de energía dentro de la proteína fotosintética FMO, un complejo en ciertas bacterias que sirve como un sistema modelo, debido que consta de sólo siete moléculas de pigmento que se han caracterizado de manera detallada. La línea de investigación es prometedora, y se espera conseguir avances importantes en ella.

- **CAMINO A LA ENERGÍA: INVESTIGADORES DE BERKELEY ENCUENTRAN NUEVOS DETALLES SIGUIENDO LA PISTA DE LA ENERGÍA SOLAR DURANTE LA FOTOSÍNTESIS<sup>51</sup>**

---

<sup>50</sup><http://www.solociencia.com/quimica/08061101.htm>

<sup>51</sup><http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/PBD-energy-trail.html>

Imagine una tecnología que no sólo proporcionaría una fuente verde y renovable de energía eléctrica, sino que también podría ayudar a limpiar la atmósfera de dióxido de carbono resultante de la excesiva quema de combustibles fósiles. Esa es la promesa de las versiones artificiales de fotosíntesis, el proceso por el cual las plantas verdes hacen la conversión de energía solar en energía electroquímica durante millones de años. Para llegar hasta allí, sin embargo, los científicos necesitan un conocimiento mucho mejor de cómo la naturaleza lo hace, a partir de la recolección de la luz solar y el transporte de esta energía a los centros de reacción electroquímica.

Graham Fleming, un físico y químico tiene nombramientos conjuntos con el Departamento del laboratorio nacional Lawrence Berkeley (Berkeley Lab) y la Universidad de California (UC) en Berkeley, Estados Unidos, es el líder de un esfuerzo continuo para descubrir cómo las plantas son capaces de transferir energía a través de una red de complejos pigmento-proteína con casi un 100% de eficiencia. En estudios anteriores, él y su grupo de investigación usaron una técnica basada en el láser, que se desarrolló en dos dimensiones, llamado espectroscopia electrónica para rastrear el flujo de excitación de energía a través de tiempo y espacio. Ahora, por primera vez, han sido capaces de conectar ese flujo a funciones de transferencia de energía al proporcionar enlaces directos entre estructuras atómicas experimentales y electrónicas en los complejos de proteínas de pigmento.

"Para entender cómo funciona el sistema de transferencia de energía en las obras de la fotosíntesis, que no sólo puede estudiar el paisaje espacial de estos complejos de proteínas de pigmento, también es necesario estudiar el panorama de la energía electrónica. Este ha sido un reto ya que el panorama de la energía electrónica no se limita a una sola molécula, se extiende a lo largo de todo un sistema de moléculas ", dijo Fleming. "Nuestra nueva técnica de 2D de espectroscopia electrónica nos ha permitido, para empezar, ir más allá de la imagen de las estructuras y funciones de imagen. Esto hace posible para nosotros examinar los aspectos cruciales del sistema de transferencia de energía que permiten que funcione de la manera que lo hace.

En un documento publicado por The Bioficial Journal, Fleming y su grupo de trabajo, reportaron sobre un estudio de las funciones de la transferencia de energía dentro del Fenna Matthews Olson (FMO), un complejo pigmento-proteína en las bacterias verdes del azufre, recoge la luz fotosintética de las proteínas, y sirve como un modelo, ya que consta de sólo siete moléculas de pigmento bien caracterizados. El documento, titulado "La visualización de la estructura excitónica en el Complejo fotosintéticos Fenna Matthews Olson (FMO) por la polarización dependiente de dos dimensiones de espectroscopia electrónica", coescrito por

Elizabeth, junto con Gabriela Schlau-Cohen, Gregory Engel, Wen Jianzhong y Robert Blankenship.

"Las propiedades ópticas de los pigmentos de bacterias y clorofila se conocen bien, y la disposición espacial de los pigmentos de FMO es conocido, pero esto no ha sido suficiente para entender cómo la proteína en su conjunto responde a la excitación de la luz", dijo Lee. "Al polarizar los pulsos del láser en la espectroscopía electrónica 2D puesta en marcha de manera específica, hemos sido capaces de visualizar la dirección de los estados de excitación electrónica en el complejo de FMO y la sonda de la forma en estados individuales contribuyen a la conducta colectiva de los complejos pigmento-proteína después de la excitación de banda ancha."

Fleming ha comparado la [espectroscopía electrónica 2D](#) desde muy temprano, con receptores superheterodinos, donde una señal de radio de alta frecuencia se convirtió en un oscilador a una frecuencia menor para una amplificación más controlable y una mejor recepción. En la espectroscopia electrónica de 2D, es una muestra secuencial, brilló con la luz de tres rayos láser, en el tiempo de ráfagas de femto segundos, mientras que un cuarto rayo sirve como oscilador local para amplificar y la fase de partidos de las señales espectroscópicas resultantes.

Al proporcionar resolución temporal de femtosegundos y resolución nanométrica espaciales, la espectroscopia electrónica 2D nos permite seguir simultáneamente la dinámica de varios estados electrónicos, lo que lo convierte en una herramienta especialmente útil para el estudio de los complejos fotosintéticos ", dijo Fleming. "Debido a que las moléculas de pigmento, dentro de los complejos de proteínas, tienen una orientación fija respecto a la otra y cada una absorbe la luz polarizada a lo largo de un eje de la molécula en particular, el uso de la espectroscopia electrónica en 2D con pulsos láser polarizados nos permite seguir el acoplamiento electrónico y las interacciones (entre los pigmentos y la proteína que rodea) que determinan el mecanismo de flujo de energía. Esto sugiere la posibilidad de diseñar futuros experimentos que utilizan combinaciones de secuencias de polarización para separar y controlar las vías individuales de atenuación de la energía.

"Uso de las secuencias especializadas de polarización que seleccione para un particular, la confrontación de las horas punta en un espectro que nos permite la sonda cualquier acoplamiento electrónico en particular, incluso en un sistema que contiene cromóforos que interactúan", dijo Read. "La capacidad de conseguir que las interacciones específicas entre los estados electrónicos, de forma más incisiva, debe ayudarnos a entender mejor los principios de diseño de los recursos

naturales de recolección de luz y de los sistemas, que a su vez deben ayudar en el diseño de dispositivos de la conversión de la luz artificial”.

## Anexo O. Nanocristales de óxido metal a metal<sup>52</sup>

En un desarrollo que tiene interesantes posibilidades para el futuro de la catálisis industrial, así como para las prometedoras tecnologías de energía verde y limpias, como la fotosíntesis artificial, los investigadores del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) 's Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (Berkeley Lab) han creado un dispositivo que consta de dos capas de nanocristales de óxido, siendo los primeros en función de múltiples sitios catalíticos en la interfaz de nanocristales. Estos sitios catalíticos permiten múltiples reacciones, secuenciales para llevar a cabo de manera selectiva y en conjunto.

"La demostración de manera racional, diseñado y montado de bicapas nanocristales con múltiples interfaces integradas de óxido de metal a metal para la catálisis también representa un enfoque nuevo y poderoso hacia el diseño de alto rendimiento, de catalizadores nano estructurados, multifuncionales para las reacciones químicas de varios pasos", dice el líder de esta investigación Peidong Yang, un químico que tiene citas conjuntas con los materiales del laboratorio de Berkeley División de Ciencias y Química de la Universidad de California Berkeley del Departamento y el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería.

Yang es el autor correspondiente de un artículo que describe esta investigación que aparece en la revista Nature Chemistry. El documento se titula "nanocristales bicapa para la catálisis en tándem".

Los catalizadores son sustancias que aceleran la velocidad de las reacciones químicas, sin ser ellos mismos químicamente modificados, y se utilizan para iniciar prácticamente todos los procesos de fabricación industrial que involucra a la química. Los catalizadores metálicos han sido los temas favoritos tradicionales, pero en los últimos años.

Peidong Yang, Huang Wenyu y Somorjai Gabor son miembros de un equipo del Laboratorio de Berkeley que desarrolló primero de dos capas de metal a metal de óxido de nanocristales para ofrecer múltiples sitios catalíticos.

"De alto rendimiento de metal-óxido nano catalizadores son fundamentales para el desarrollo de la conversión de energía de nueva generación y las tecnologías de

---

<sup>52</sup><http://newscenter.lbl.gov/feature-stories/2011/04/11/tandem-catalysis-in-nanocrystals/>

almacenamiento", dice Yang. "Sin embargo, para mejorar significativamente nuestra capacidad de diseñar mejores catalizadores, son necesarios nuevos conceptos, para el diseño racional y el conjunto de interfaces de óxido de metal a metal."

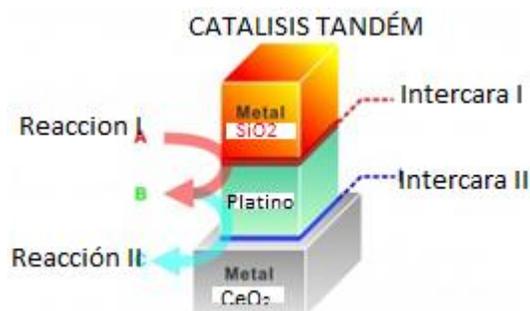
Los estudios realizados en los últimos años han demostrado que para los nanocristales, el tamaño y forma en concreto el aspecto de la superficie bien definida como arreglos atómicos puede tener un enorme impacto en las propiedades catalíticas. Esto hace que sea más fácil de optimizar los catalizadores de nanocristales para la actividad y selectividad de mayor tamaño de los catalizadores. Forma y tamaño controlado por nanocristales de óxido de metal han demostrado ser prometedores en particular para los catalizadores.

"se sabe que la catálisis puede ser modulada por el uso de óxido de metal de diferentes soportes, o el óxido de soportes metálicos con superficies de cristal diferente", dice Yang. "La selección y control preciso de las interfaces de óxido de metal-metal en nanocristales, implica un, mejor rendimiento de actividad y selectividad de la reacción deseada."

Para determinar si la integración de los tipos de [intercaras](#) de óxido de metal en la superficie de un solo metal activo por nanocristales produciendo un nuevo catalizador tándem para las reacciones de varios pasos, Yang y sus colaboradores utilizaron la técnica de "Langmuir-Blodgett" que consiste en un montaje para depositar monocapas de nanocubos de platino y óxido de cerio en un contenido de sustrato de sílice (dióxido de silicio). Las capas nanocubos de menos de 10 nanómetros de espesor y apilados uno encima del otro para crear dos distintas intercaras de metal sobre metal: óxido de silicio y óxido de platino. Estas dos intercaras fueron utilizadas para catalizar dos reacciones separadas y secuenciales. En primer lugar, el óxido de cerio y el óxido de platino catalizan la interfaz de metanol para producir monóxido de carbono e hidrógeno. Estos productos se sometieron a hidroformilación de etileno a través de una reacción catalizada por la interfaz de platino de sílice. El resultado final de esta catálisis tándem es propanal.

Un microscopio electrónico de transmisión muestra monocapa de óxido de cerio sobre una monocapa de platino forman una nueva bicapa de nanocatalizadores .

Figura 15. Integración de los dos tipos de metales



Fuente: <http://newscenter.lbl.gov/feature-stories/2011/04/11/tandem-catalysis-in-nanocrystals/>

"La forma cúbica de las capas de nanocristales son ideales para el montaje del metal sobre el metal, intercara de óxidos con grandes áreas de contacto", dice Yang. "La integración de nanocristales binario para formar superredes muy ordenado es una forma nueva y muy eficaz para formar múltiples interfaces con nuevas funcionalidades."

Yang dice que el concepto de catálisis en tándem a través del diseño de múltiples interfaz, que él y sus coautores han desarrollado, debe ser especialmente útil para aplicaciones en las que múltiples reacciones secuenciales se requieren para producir los productos químicos de una manera muy activa y selectiva. Un buen ejemplo es la fotosíntesis artificial, un esfuerzo para capturar la energía del Sol y transformarla en electricidad o combustibles químicos. Con este fin, Yang lleva el componente de Berkeley al Centro Conjunto para la fotosíntesis artificial, un eje de Innovación Energética creada por el Departamento de Energía de EE.UU.

"La fotosíntesis artificial generalmente implica múltiples reacciones químicas de una manera secuencial, como, por ejemplo, la reducción de agua y la oxidación y la reducción de dióxido de carbono", dice Yang. "Nuestro enfoque de la catálisis en tándem también debe ser relevante para las reacciones foto electroquímicas, como la división con la luz solar del agua, una vez más en etapas sucesivas, en la reacción se necesitan varios catalizadores. Para esto, tendremos que explorar de óxido de metal u otros soportes nuevos semiconductores, como el dióxido de titanio, en nuestro diseño del catalizador. Esta investigación fue apoyada por la Oficina de Ciencia del DOE.

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley se dirige al mundo de los retos científicos más urgentes mediante la mejora de la energía sostenible, la protección de la

salud humana, la creación de nuevos materiales, y la revelación del origen y el destino del Universo. Fundada en 1931, los científicos del Laboratorio de Berkeley han sido reconocidos con 12 premios Nobel. La Universidad de California administra el Laboratorio de Berkeley de los EE.UU. Departamento de Energía de la Oficina de Ciencia.

- **UN CATALIZADOR, DOS REACCIONES**<sup>53</sup>

Investigadores de los EE.UU. han diseñado un nuevo material que puede catalizar dos reacciones, secuenciales para producir productos intermedios de interés industrial.

Los catalizadores sólidos son importantes en la industria química utilizados para acelerar la producción de compuestos con productos básicos. Los catalizadores son normalmente del tamaño de nanómetros de metal o de partículas de óxido metálico soportado en un sólido de gran superficie. Pueden ser modificados químicamente para afinar su rendimiento, aunque es difícil catalizar reacciones múltiples con un solo material.

Ahora, un equipo dirigido por Peidong Yang de la Universidad de California, en Berkeley, ha desarrollado un catalizador de nanocristales que incorpora múltiples intercaras de óxido de metal que puede catalizar dos reacciones en diferentes secuencias.

Los nanocubos de platino están ensamblados en una monocapa con un espesor de un nanocubo de agentes de oleilamina entre los cubos y transferido a un lado de óxido de Silicio de la superficie. El segundo está hecho de una monocapa de óxido de Cerio en medio del espacio de los nanocubos hay ácido oleico colocado en la parte superior para formar una doble capa. La radiación ultravioleta elimina la limitación de los agentes sin dejar espacios verticales entre los nanocristales apilados. Esto proporciona una gran superficie, y limpia las intercaras del óxido de metal del catalizador.

“Con nuestro nuevo concepto de diseño de interfases frontales de los materiales utilizados, diseños de nanocristales tenemos un principio versátil que múltiples intercaras pueden ser montadas, y serán responsables de pasos de reacción por

---

<sup>53</sup><http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2011/April/11041102.asp>

separado y en última instancia conducir a la gran selectividad de la reacción", dice Yang.

Para poner a prueba la estructura de doble capa, el equipo utilizó las dos distintas interfaces de metal sobre metal de óxido Cerio y óxido de Silicio ( $\text{CeO}_2\text{-Pt}$  y  $\text{Pt-SiO}_2$ ) para catalizar dos reacciones secuenciales. Óxido de Cerio sobre el platino, ( $\text{CeO}_2\text{-Pt}$ ) cataliza la descomposición del metanol a monóxido de carbono e hidrógeno ( $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$ ), que luego se convierte en propanal por el óxido de Silicio ( $\text{Pt-SiO}_2$ ) y la hidroformilación catalizada etileno.

"Este trabajo será de alto impacto en la comunidad de industria de la catálisis, para que la gente piense sobre el diseño de un catalizador inteligente, que es el núcleo de las disposiciones de la energía y la química", dice Edman Tsang, un experto en el diseño del catalizador sólido en la Universidad de Oxford en el Reino Unido. Sin embargo, dice que las reacciones secundarias no deseadas podrían con reactivos o productos iniciar con la interfaz del catalizador equivocado.

Yang cree que el catalizador en conjunto podrían ser fácilmente utilizados en procesos industriales de gran escala. "Uno puede simplemente crear un proceso de ampliación para la producción de óxido de metal en uniones tándem utilizando una ruta coloidal", dice. Él explica que el siguiente paso es explorar óxido de nuevos soportes como Óxido de titanio  $\text{TiO}_2$  en los diseños de catalizador. "Estamos comenzando a explorar el concepto mismo con las reacciones fotoelectroquímicas de varios pasos, como la división de agua solar,"

## **La energía solar desafío para la conversión en combustibles**

El diseño de alta eficiencia, no biológica, de "máquinas" de conversión de energía que generan combustibles directamente de la luz solar, el agua y el dióxido de carbono es un desafío formidable y una oportunidad. Dicho proceso podría revolucionar nuestra capacidad de aprovechar nuevas fuentes de energía que sean renovables y el medio ambiente, al tiempo que mejora la seguridad energética.

La investigación básica ya ha proporcionado grandes avances en nuestra comprensión de los mecanismos sutiles y complejos detrás del sistema fotosintético natural, así como en el uso de métodos foto químicos que imitan los pasos clave en el proceso de descomponer el agua y reducir el dióxido de carbono. Si bien hemos avanzado mucho, todavía se carecen de conocimientos suficientes para el diseño de energía solar a los sistemas de conversión de combustible con la eficiencia, y la sostenibilidad para que sea económicamente viable.

Mientras que la tarea es sin duda un desafío, una gran promesa. Al hacer uso de nuevas fuentes de energía a través de proyectos innovadores que son renovables y respetuosas con el medio ambiente, tenemos el potencial para transformar el futuro de la energía convirtiéndose en protagonista, Estados Unidos. El Centro Conjunto para la fotosíntesis artificial (JCAP). Los combustibles del centro de innovación de energía solar ha sido diseñados específicamente como una organización altamente estructurada con tres objetivos principales:

1. El descubrimiento en la tierra de abundantes absorbentes de luz sólida con banda óptima a los rayos solares vacíos más eficaz y eficiente.
2. La aceleración en descubrimientos de catalizadores para reacciones de conversión de energía y combustible con ayuda de la energía solar.
3. Proporcionar la integración de sistemas y escala de modo que los experimentos de laboratorio puede ser la transición en prototipos para el desarrollo comercial.

---

<sup>54</sup><http://energy.gov/articles/fuels-sunlight-hub>

El progreso del centro de investigación se mide contra los objetivos de investigación y desarrollo que son monitoreados y ajustados en base a los avances o nuevas orientaciones dictadas por nuevo descubrimiento científico. La investigación se centra en la creación de un prototipo de dispositivo que puede producir combustible a partir del Sol 10 veces más eficiente que las plantas. El 22 de julio de 2010, el Departamento de Energía anunció la selección de JCAP, un equipo dirigido por el Instituto de Tecnología de California (Caltech), para ejecutar los combustibles a partir de la luz del Sol centro de innovación energética. Este grupo directamente asociado con el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), Laboratorio Nacional Acelerador (SLAC), y las Universidades de California en Irvine y San Diego, y colaborará con los Centros de Energía DOE frontera de la investigación (EFRCs), los programas básicos DOE, y otras organizaciones nacionales e internacionales.

- **EQUIPO DE CALIFORNIA RECIBE HASTA \$ 122 MILLONES PARA EL CENTRO DE INNOVACIÓN DE ENERGÍA PARA EL DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA PRODUCIR COMBUSTIBLES A PARTIR DE LA LUZ DEL SOL<sup>55</sup>**

Washington, DC. Como parte de un amplio esfuerzo para lograr grandes innovaciones en la producción de energía, en Estados Unidos. El subsecretario de Energía, Daniel Poneman, anunció hoy un premio de hasta \$ 122 millones en cinco años a un equipo multidisciplinario de científicos de alto nivel para establecer un centro de innovación energética destinado a desarrollar métodos revolucionarios para generar combustibles directamente de la luz solar.

El Centro Conjunto para la fotosíntesis artificial (JCAP), "Los Centros de Innovación Energética tienen un enorme potencial para avanzar en los avances de transformación", dijo el Secretario Adjunto Poneman. "Encontrar una manera costo efectiva para producir combustible como lo hacen las plantas –con la combinación de la luz solar, agua y dióxido de carbono, sería un elemento de cambio, reducir nuestra dependencia del petróleo y aumentar la seguridad energética. Este centro de innovación energética permitirá a nuestros científicos combinar sus talentos para hacer frente a este desafío audaz y altamente prometedor".

La senadora Feinstein dijo: "Estoy muy orgullosa de que California ha estado en la vanguardia del movimiento de la energía limpia. Con este premio, algunos de los

---

<sup>55</sup> <http://energy.gov/articles/california-team-receive-122-million-energy-innovation-hub-develop-method-produce-fuels>

mejores científicos de California continuarán liderando el camino a seguir trabajando juntos para crear "la fotosíntesis artificial," un proceso que puede emular el funcionamiento interno de la vida de las plantas para producir un combustible de transporte útil para nuestros coches. Si tiene éxito, este concepto de combinar la luz del Sol, el agua y el dióxido de carbono para producir un combustible limpio se revoluciona el sector de la energía. Ayudaría a limpiar la atmósfera del dióxido de carbono excesivo, ayudar a eliminar nuestra dependencia del petróleo, y generar una industria innovadora en el centro de California. Esto es muy emocionante."

La Senadora Boxer dijo: "Estoy muy contenta de que este consorcio de California recibieran esta inversión en la investigación de combustibles limpios, que tiene el potencial para reducir nuestra peligrosa dependencia del petróleo extranjero, aumentar nuestra seguridad nacional y crear empleos en California."

Los combustibles de centro de innovación La luz del Sol la energía es uno de los tres centros que recibirán fondos. En mayo, el Departamento anunció que un equipo dirigido por el Laboratorio Nacional Oak Ridge establecerá un centro en el modelado y simulación de reactores nucleares. La selección para el Centro restantes será anunciada en los próximos meses. Los bujes son grandes, multidisciplinarios y altamente colaborativo de equipos de científicos e ingenieros que trabajan en un marco de tiempo más largo para lograr un determinado objetivo de alta prioridad. Que será administrado por los mejores equipos de científicos e ingenieros con suficientes recursos y autoridad para actuar rápidamente en respuesta a los nuevos desarrollos.

La investigación del Centro Conjunto para la Fotosíntesis Artificial (JCAP) está basada en el descubrimiento de los componentes funcionales necesarios para montar un completo sistema de fotosíntesis artificial: absorbentes de luz, catalizadores, enlaces moleculares, membranas de separación. El centro de la investigación, integra los componentes en un sistema de combustible solar de funcionamiento y desarrollo de ampliación de las estrategias para pasar del laboratorio a la viabilidad comercial. El objetivo final es impulsar el campo de los combustibles solares de la investigación fundamental, donde ha vivido durante décadas a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico, estableciendo así las bases para la creación de una industria de combustibles solares directos.

El centro de investigación será dirigido por Nathan S. Lewis, George L. Argyros profesor y catedrático de Química, Instituto Tecnológico de California. Otros miembros del equipo de liderazgo Hub incluyen: Bruce Brunschwig (Cal Tech), Peidong Yang (UC Berkeley / Berkeley Lab), y Harry Atwater (Cal Tech). Además

de los principales socios, Instituto Tecnológico de California y del Laboratorio de Berkeley y otras instituciones participantes son SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford, California, la Universidad de California, Berkeley, la Universidad de California, Santa Barbara, la Universidad de California, Irvine, y la Universidad de California en San Diego.

La selección se basa en un proceso competitivo con la revisión científica. El proceso de selección de los combustibles a partir de luz del Sol es administrado por el Departamento de Energía de la Ciencia, que tendrá responsabilidades de supervisión federal para el Centro de la fotosíntesis artificial.

La investigación será financiada en hasta \$ 22 millones este año fiscal. El centro será financiado en un estimado de \$ 25 millones por año durante los próximos cuatro años, sujeto a las asignaciones del Congreso.

- **FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL II: CENTRO CONJUNTO PARA LAS SIMULACIONES DE LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL**<sup>56</sup>

Desafíos clave: El objetivo de este proyecto es diseñar una célula fotoeléctrica capaz de producir combustible con una eficiencia de 10 veces a de la fotosíntesis. Tal dispositivo aprovechará la luz solar para generar combustible químico mediante la separación de agua para generar hidrógeno. El proyecto cuenta con varios tipos de simulaciones moleculares para ayudar a comprender los procesos involucrados y la experimentación guía que tienen lugar simultáneamente. Las tareas específicas incluyen el estudio de los siguientes componentes:

(1) Absorbente de luz: la búsqueda de materiales semiconductores con suficiente luz que tengan la capacidad y el potencial de producción de la división de agua,

(2) Catálisis: la búsqueda de moléculas eficientes y abundantes en la tierra para acelerar el proceso de la evolución de hidrógeno.

(3) Las membranas: encontrar el material adecuado y las rutas de fabricación de la membrana multifuncional que es el ingrediente clave en una celda fotoelectroquímica y enlazadores.

---

<sup>56</sup><http://www.nersc.gov/science/energy-science/artificial-photosynthesis-ii-joint-center-for-artificial-photosynthesis-jcap-simulations/>

(4) La búsqueda de las moléculas correctas para el flujo de la luz del Sol y el calor, lo que permite la conversión de la luz energía eléctrica y química con una eficiencia sin precedentes.

Por qué es importante: En una sola hora el Sol calienta la tierra con la energía suficiente para abastecer a las actividades humanas durante todo un año. A través de la fotosíntesis, las plantas verdes recogen la energía solar y la utilizan para convertir el dióxido de carbono y agua en energía química que se utiliza para llevar a cabo los procesos de la vida. Encontrar una versión artificial de la fotosíntesis a través de membranas hechas de materiales especializados, nano ingeniería que puedan hacer lo que hacen las hojas verdes sólo que mucho más eficiente y con el fin de producir combustibles para autos y camiones podrían reemplazar a la gasolina y otros combustibles de transporte como una fuente doméstica de energía que es limpia, ecológica y renovable.

Logros: Centro Norte en el Laboratorio de Berkeley, un proyecto de cinco años de duración financiado por el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) a través de sus "centros de Innovación Energética" del programa, fue inaugurado el 02 de junio 2011. Usuarios NERSC han estado funcionando VASP y LAMMPS de Hopper y Franklin en apoyo de las actividades JCAP.

Anexo Q. Desafíos fotosíntesis artificial: la división de agua en interfaces nanoestructuradas<sup>57</sup>

Marcella Bonchio (ITM-CNR, Universidad de Padua, Departamento de Ciencias Químicas, a través de Marzolo 1, I-35131 Padova, Italia)

## Concepto

De la energía solar, la oxidación del agua puede ser aprovechada para producir hidrógeno mediante la división directa de agua fotocatalítica. Un avance reciente en el campo de la fotosíntesis artificial es el descubrimiento de los innovadores catalizadores de oxígeno tomados de la evolución del grupo de nanotamaño, soluble en agua: óxidos de metal molecular, polyoxometalatos llamada (POM).

Estos catalizadores proporcionan un mimetismo singular al del centro de la evolución del oxígeno en la enzima II (PSII), de la fotosíntesis compartiendo un común motivo funcional, es decir, un redox-activa tetranuclear  $M_4\mu(-O)_4$  hilos, y la oxidación del agua a Oxígeno, con antecedentes de eficiencia. En este escenario, el tetrarutenio basado POM  $[Ru^{IV}_4(\mu-OH)_2(\mu-O)_4(H_2O)_4(\gamma-SiW_{10}O_{36})]^{10-}$ ,  $Ru_4(SiW_{10})_2$ , presenta una cinética rápida, de manera excepcional por la luz de rendimiento y la actividad electrocatalítica alimentado por nanotubos de carbón.

## Motivaciones y objetivos

La investigación en el campo de la fotosíntesis artificial para la conversión de agua a combustible ha llegado recientemente al despertar punto de desviación una cuestión clave es el diseño de rutinas eficientes, catalizadores que puedan funcionar con la energía y tasas acordes con el flujo solar a nivel del suelo. Una solución a esta necesidad objetiva implica el dominio de la distancia de transferencia de electrones, los cruces y los gradientes de potencial en el nivel molecular y en un entorno de nano-estructurados. Nuestros puntos de vista a una cuidadosa selección y diseño del soporte nanoestructurado, y un preciso posicionamiento del dominio catalítico de estas plantillas, por adaptar las reglas sintéticas. Este es un punto clave para el acceso a la catálisis homogénea.

---

<sup>57</sup><http://instm.sitovirtuale.it/29giugno/Bonchio.pdf>

## Resultados y Discusión

Presentamos aquí una combinación de estudio de síntesis, espectroscópicas y mecanismos sobre el uso de catalizadores para la oxidación del POM de agua y su uso combinado con aplicaciones como sensores de luz visible y nanoestructuras de carbono CNT. El resultado es un híbrido de nanomateriales con propiedades imperturbables CNT eléctrico, en estrecho contacto con un único multielectrón catalizador que permite la división de agua electrocatalítica con una alta eficiencia en las sobretensiones.

- **FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL: RETOS PARA LA OXIDACIÓN DEL AGUA EN INTERCARAS NANOESTRUCTURADAS<sup>58</sup>**

Innovaciones en la evolución de catalizadores del Oxígeno, tomado desde el grupo de tamaño nanométrico, solubles en agua: óxidos de metal molecular, polyoxometalates llamada (POM), representan una oportunidad extraordinaria en el campo de la fotosíntesis artificial.

Estos catalizadores poseen una gran potencia, estructura totalmente inorgánica, y puede proporcionar un mimetismo singular al centro de la evolución del oxígeno en las enzimas de la fotosíntesis. Como resultado los POM puede afectar la oxidación del agua, a Oxígeno con una eficiencia sin precedentes. En particular, el tetra-rutenio POM  $[\text{Ru}^{\text{IV}}_4 (\mu\text{-OH})_2 (\mu\text{-O})_4 (\text{H}_2\text{O})_4 (\gamma\text{-SiW}_{10} \text{O}_{36})^{10-}]$ ,  $\text{Ru}_4(\text{SiW}_{10})_2$ , presenta una cinética rápida, actividad electrocatalítica impulsada por los nanotubos de carbono y el rendimiento excepcional por la luz. Una perspectiva más amplia se presenta en este documento por abordar los recientes progresos en el campo de los nano-grupos oxido-metales como catalizadores de oxidación del agua, incluyendo las especies coloidales. Por otra parte, la configuración del entorno del catalizador juega un papel fundamental en el acoplamiento del agotamiento del catalizador y la estabilización de intermediarios competentes, respondiendo así a cuáles son los desafíos formidables y termodinámicos de la división del agua.

El diseño de nano-intercaras con nanoestructuras de carbono específicamente diseñados y con estructuras poliméricas abre un extenso escenario para los mecanismos de la transferencia de electrones y protones. Por lo tanto, la

---

<sup>58</sup><http://lib.bioinfo.pl/pmid:21547686>

innovación se prevé sobre la base de la modificación molecular del centro de los híbridos fotocatalíticos y de su entorno.

- **LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL QUE GENERA HIDROGENO<sup>59</sup>**

Investigadores de la universidad de Trieste y Padua han desarrollado un proceso de "fotosíntesis artificial" generado por electrodos de nanotubos de carbono. Lograron, en el laboratorio reproducir la división del agua, es decir, la división de una molécula de agua en hidrógeno y oxígeno, marcando así un punto de cambio importante en la búsqueda de sistemas que marchan en acciones destinadas a la fotosíntesis artificial y la producción de hidrógeno.

Esto fue anunciado por la revista química "Authoritative Nature", que publicó un estudio coordinado por Marcela Bonchio de la Sección de Padua del Instituto ITM-CNR, Maurizio Prato, del Centro de Excelencia para la Nanotecnología de la Universidad de Trieste. En el estudio también han participado investigadores del Departamento de Química de la Universidad de Padua, del Departamento de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Trieste, de la Universidad de Bolonia, Sissa (Escuela Internacional de Estudios Avanzados). El equipo de investigación ha aislado un catalizador particular sintético que concreta la esperanza de ser capaces de construir un generador de hidrógeno que puede utilizar el agua y la luz solar para producir energía limpia con una alta eficiencia.

El catalizador facilita la separación de las moléculas de agua sintética en oxígeno e hidrógeno está formado por un centro reactivo colocados en la superficie de los nanotubos de carbono con un diámetro exterior de 25 nanómetros, donde cuatro átomos de rutenio establecer una acción sinérgica para gestionar la trans-ubicación de los átomos y los electrones a baja energía. La acción tiene lugar en medio acuoso activado por sensibilizadores a la luz visible a través de una antena.

"El descubrimiento del catalizador es la clave para producir la energía limpia y renovable del mundo en lugar de combustibles fósiles", explica el profesor. Maurizio Prato, quien también señala que "la molécula de agua se forma desde el punto de vista químico donde reaccionan el hidrógeno y oxígeno, en un proceso que produce grandes cantidades de energía y es la base de pilas de combustible." Pero, explica Prato, la división a la inversa de la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno "sigue siendo uno de los objetivos de investigación más ambiciosos".

---

<sup>59</sup>[http://www.scienzaegoverno.org/n/087/087\\_03.htm](http://www.scienzaegoverno.org/n/087/087_03.htm)

Y es aquí donde en la investigación participaron: los electrodos preparados por investigadores italianos, de hecho pueden reproducir este proceso a través de la fotosíntesis artificial. La reacción química se lleva a cabo en el interior del catalizador, utilizando muy poca energía para el proceso. Las moléculas de hidrógeno obtenido puede alimentar a motores, en sustitución de los combustibles fósiles, casi definitivamente.

"El catalizador que hemos desarrollado, demuestra Prato, tiene un " corazón ", donde la reacción se produce a través de la interacción de cuatro átomos de rutenio Aquí, los átomos y los electrones son transferidos al agua sin mucho esfuerzo y baja energía". Los cuatro átomos de metal utilizados como catalizadores se aferran a los nanotubos de carbono en una función de 'algo así como cables eléctricos: en ellos, corren los electrones que se liberan por la reacción química.

La investigación es parte del proyecto estratégico "Helios", financiado por la Universidad de Padua, y PRIN 2008 "project", financiado por el Ministerio de Educación, coordinador nacional Maurizio Prato.

Anexo R. Fotosíntesis artificial. producir combustibles a partir de la energía solar<sup>60</sup>

*Este campo de investigación es ya uno de los mayores retos de la química del siglo XXI.*

Actualmente, un tema que despierta grandes pasiones tanto en la sociedad como en la comunidad científica es el debate sobre el cambio climático y el desarrollo de energías renovables. La gran ventaja de las energías renovables es que teóricamente son inagotables (luz solar, vientos, etc.), y que muchas de ellas no emiten gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a la atmósfera. Desgraciadamente, el coste de la energía obtenida a partir de estas tecnologías es todavía muy superior al coste asociado al uso de combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo, lo que dificulta su uso generalizado.

Otro inconveniente importante, sin embargo, es el elevado coste asociado al almacenamiento de esta energía, ya que la producción de energía a partir de estas fuentes, a menudo irregulares o aleatorias, difícilmente se puede sincronizar con la demanda generada por la sociedad.

Una solución muy atractiva en este contexto se basa en imitar el proceso natural que plantas y bacterias realizan desde hace millones de años, la fotosíntesis. Este campo de investigación, conocido como fotosíntesis artificial, es ya uno de los mayores retos de la química del siglo XXI, y tiene como objetivo desarrollar dispositivos que no se limiten a captar energía solar y convertirla en electricidad (como una celda fotovoltaica), sino que pretende usar esta energía para producir un combustible, por ejemplo hidrógeno, directamente en el dispositivo. De este modo, la energía solar se usaría directamente para disociar agua en oxígeno e hidrógeno. La gran ventaja, pues, radica en que la energía se podría almacenar fácilmente, ya que el proceso produce un combustible, no electricidad, de la misma forma que las plantas almacenan la glucosa que generan a través de la fotosíntesis.

Con la tecnología actual, de hecho, ya es posible usar la electricidad generada por una placa fotovoltaica para generar hidrógeno a partir de la electrólisis del agua; el problema es que este proceso es muy poco eficiente. El gran desafío en este sentido es desarrollar un catalizador químico que consiga disociar el agua en hidrógeno y oxígeno usando la energía solar absorbida. Tal fotocatalizador

---

<sup>60</sup>CURUTCHET, Carles E. Institut de Química Computacional. Universidad de Girona

debería ser capaz de extraer secuencialmente cuatro electrones de dos moléculas de agua, y para entender la dificultad que entraña este proceso basta indicar que hasta la fecha solo se conoce un catalizador capaz de realizar esta tarea. Se trata del llamado fotosistema II de la maquinaria fotosintética natural, y cuya estructura atómica detallada se determinó en el año 2000 después de más de 20 años de investigación en esta dirección.

En marzo de este año asistí a un interesante conferencia organizada por la Universidad de Leiden (Países Bajos), que mediante el título 'Modeling natural and artificial photosynthesis', tenía como objetivo impulsar contactos entre investigadores que trabajan en diversas áreas relacionadas con este tema. Principalmente, los temas de discusión se centraron en dos aspectos: 1) la comprensión de los mecanismos de captura de luz en las llamadas proteínas antena fotosintéticas procedentes de plantas y bacterias, para replicar su extraordinaria eficiencia en sistemas artificiales, y 2) el desarrollo de catalizadores que permitan generar el combustible deseado usando la energía solar capturada. Ambos aspectos representan retos de primer orden, que necesitan de la colaboración de químicos procedentes de ámbitos muy diferentes (síntesis, simulación computacional, técnicas de espectroscopía electrónica, etc.) para llegar a dispositivos eficientes y económicamente viables.

En mi caso, fui invitado para exponer el trabajo que realizamos en el Instituto de Química Computacional (IQC) de la Universidad de Girona, enfocado a entender cómo la estructura molecular (atómica) de las proteínas fotosintéticas regula y controla los procesos de captura de luz mediante simulación por ordenador.

Otro ejemplo de centros dentro de nuestras fronteras que han sido seducidos por este reto lo encontramos en el Instituto Catalán de Investigaciones Químicas (ICIQ), que recientemente han iniciado una línea de investigación para el desarrollo de catalizadores en fotosíntesis artificial. Otra muestra del gran interés que está generando este campo de investigación es la celebración durante este mes de agosto de la primera conferencia orientada a construir un proyecto global en fotosíntesis artificial.

Esta conferencia, que tendrá lugar en la isla de Lord Howe, en Australia, bajo el título 'Towards Global Artificial Photosynthesis. Energy, Nanochemistry and Governance', cuenta con el apoyo del sector de ciencias naturales de la Unesco, y pretende debatir no sólo aspectos puramente científicos, sino también estrategias de financiación y colaboración entre entidades de distintos países a fin de impulsar el desarrollo de un proyecto global en fotosíntesis artificial. La iniciativa más ambiciosa en este campo, sin embargo, llegó desde Estados Unidos el año

pasado con el anuncio por parte del Departamento de Energía de los EE UU del 'Joint Center for Artificial Photosynthesis', un programa altamente multidisciplinar liderado por el California Institute of Technology y el Lawrence Berkeley National Laboratory, que recibirá una financiación de 122 millones de dólares en los próximos 5 años con el objetivo de impulsar el desarrollo de dispositivos capaces de generar combustibles directamente a partir de energía solar.

Aunque esta tecnología está aún en su infancia, y se cree que aún deberán pasar años antes de que sea posible integrar todos los pasos necesarios a fin de capturar la luz solar y producir el combustible final de forma económicamente viable, no hay duda que en los próximos años los avances en este campo de investigación prometen ser muy excitantes.

## Anexo S. Fotosíntesis artificial para la producción de combustibles químicos<sup>61</sup>

La fotosíntesis se compone de cinco unidades: la unidad de recolección de luz, la unidad de carga de separación, la unidad catalítica para la reducción de agua, la unidad catalítica para la oxidación del agua, y la unidad catalítica fijación de CO<sub>2</sub>. Esta conferencia presenta el desarrollo reciente de cada unidad de la fotosíntesis artificial y algunas combinaciones de recolección de luz y separación de cargas en unidades catalíticas para la reducción y oxidación del agua, así como la fijación de CO<sub>2</sub>.

La combinación de la unidad de recolección de luz y la unidad de carga de separación se ha alcanzado por el diseño racional supramolecular aceptor de electrones donantes conjuntos, lo cual tiene ventajas significativas con respecto a la viabilidad sintética, proporcionando una variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas eficientes fotocatalíticos para la conversión de energía solar y construcción de células solares orgánicas.

La eficiencia de separación de unidad de carga se ha combinado con éxito con el catalizador de reducción de agua para alcanzar el más eficiente sistema fotocatalítico, la evolución del hidrógeno mediante el desarrollo del primer modelo estructural y funcional de hidrogenasas, lo que permitirá reemplazar el catalizador de Platino por un catalizador de metal mucho más barato que el hidrógeno. El sistema de almacenamiento de hidrógeno también se presenta por la fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con catalizador de hidrógeno H<sub>2</sub> como una forma de ácido fórmico que se puede convertir de nuevo a H<sub>2</sub> en presencia de adecuados catalizadores. La oxidación fotocatalítica de agua para producir peróxido de hidrógeno como una sustancia química combustible también.

- **NUEVO PARADIGMA DE TRANSFERENCIA DE ELECTRONES QUÍMICA Y APLICACIONES<sup>62</sup>**

La transferencia del electrón es una de las reacciones químicas más fundamentales, jugando un papel fundamental no sólo en los procesos químicos, sino también en los procesos biológicos redox, que son esenciales para la vida, tales como la fotosíntesis y la respiración, ya que los electrones son la unidad mínima de los cambios en la industria química.

---

<sup>61</sup> <http://law.anu.edu.au/coast/tgap/prog.pdf>.

<sup>62</sup> <http://www.chemistry.or.jp/csj-en/membership/awards/achieve/2004-fukuzum>

También ha demostrado una variedad de reacciones biológicas, orgánicas y organo metálicas, formuladas con anterioridad por "los movimientos de los pares de electrones" se entienden ahora como procesos en los que una transferencia de electrones inicial de un nucleófilo (reductor) a un electrófilo (oxidante) produce un radical par iónico, lo que lleva a los productos finales a través de los pasos de seguimiento participación de división y formación de enlaces químicos. Los pasos de seguimiento son por lo general lo suficientemente rápido como para hacer la transferencia de electrones inicial el paso determinante de la velocidad en una transformación química irreversible en general.

Fukuzumi ha demostrado que el centro de la esfera de las reacciones de transferencia de electrones una fuerte interacción entre el donante y el receptor de las moléculas de proceder a través de la formación de complejos de transferencia de carga mediante la búsqueda de los efectos negativos de temperatura, siempre que la energía de activación de la transferencia de electrones en los complejos de transferencia de carga es menor que la carga de transferencia de energía de estabilización. También ha unificado la teoría de Marcus de transferencia de electrones con la teoría de transferencia de carga, de Mulliken permitiendo desde la parte externa hasta la parte interna reacciones de transferencia electrónica para desarrollar un único punto de vista.

Grandes esfuerzos se han dedicado al diseño de sistemas moleculares capaces de efectuar la separación de carga foto inducida bajo iluminación con luz visible para la conversión de energía solar. Fukuzumi ha desarrollado con éxito varios pasos de transferencia de electrones y sistemas que pueden imitar las funciones del centro de reacción fotosintética, por primera vez.

Aunque este es un gran logro, la síntesis de ese centro de reacción fotosintética artificial es extremadamente lento, y gran cantidad de energía se pierde durante el proceso de transferencia de electrones de varios pasos. Entonces, ha desarrollado un nuevo diseño racional para alcanzar un estado de larga duración y alta carga de energía separados sin pérdida significativa de energía de excitación por un control preciso de los potenciales redox y la geometría de la simple pareja de donador aceptor que tienen pequeñas energías de reorganización de transferencia de electrones. Se ha demostrado que el diseño racional de simples parejas moleculares capaz de separación de carga rápida, aunque la recombinación de carga muy lenta, tiene ventajas significativas con respecto a la viabilidad sintética, ofreciendo una variedad de aplicaciones, incluyendo la construcción de células solares orgánicas y el desarrollo de sistemas eficientes de fotocátalisis solar para la conversión de energía.

Entre los objetivos de la investigación Fukuzumi son también el de controlar los procesos de transferencia de electrones de la unión no covalente de aniones radicales (los productos de transferencia de electrones) con iones metálicos que pueden actuar como ácidos de Lewis para acelerar o desacelerar las reacciones de transferencia de electrones.

Se ha establecido medidas cuantitativas para determinar la acidez de Lewis de una variedad de iones metálicos en relación con los efectos de la promoción de los iones metálicos en las reacciones de transferencia de electrones. Se ha demostrado la viabilidad mecánica de la catálisis de iones metálicos en reacciones de transferencia electrónica mediante la búsqueda de una variedad de ejemplos de transformaciones químicas que involucran iones metálicos promoviendo los procesos de transferencia de electrones.

---

\*Estructuras tubulares con gran complejidad electrónica.

