

# HOJAS ARTIFICIALES

*Es posible que el combustible definitivo  
no proceda ni de cereales ni de algas,  
sino directamente del sol*

**Antonio Regalado**

## CONCEPTOS BASICOS

- Los vegetales producen su propio combustible químico (azúcares) a partir de luz, aire y agua, sin originar emisiones nocivas.
- Se están ideando hojas artificiales que podrían convertir luz solar y agua en hidrógeno, un gas combustible apto para automóviles, calefacción o generación de electricidad; se terminaría entonces nuestra dependencia respecto a los combustibles fósiles.
- Para llevar a la práctica esa idea, el nuevo dispositivo debería fabricarse en láminas delgadas y flexibles de bajo coste, tal vez a partir de nanofilamentos de silicio, y utilizar catalizadores económicos que facilitasen la producción eficiente de hidrógeno.

**L**a conferencia que acaba de pronunciar Nathan S. Lewis sobre la crisis energética, cargada de resonancias apocalípticas, ha sido tan sobrecogedora como estimulante. Este químico del Instituto de Tecnología de California sostiene que, para evitar los efectos del calentamiento global, hacia 2050 nuestra civilización debería generar potencias de más de 10 teravatios ( $1 \text{ Tw} = 10^{12}$  vatios) mediante energías “limpias” que no conlleven emisiones carbónicas. Esta cifra triplica con holgura la demanda energética actual de Estados Unidos, cuyo promedio anual ronda los 3,2 Tw. La explotación hidroeléctrica de todos los ríos, lagos y cursos de agua del planeta, señala Lewis, sólo permitiría generar unos 5 Tw. Mediante la energía nuclear sí se podría alcanzar tal objetivo, aunque para ello el mundo debería construir un reactor nuevo cada dos días durante los próximos 50 años.

Antes de que los oyentes caigan en el desánimo, Lewis explica que hay una vía de salvación: cada hora, el sol derrama sobre la tierra más energía de la que toda la humanidad utiliza en un año. Mas, para salvarnos, serán necesarios enormes progresos en las técnicas de producción de combustibles: hojas artificiales que capturen los rayos solares y los conviertan allí mismo en combustibles químicos, como hacen los vegetales. En lugar del petróleo o el gas natural, ese combustible nos servirá para propulsar nuestros automóviles, crear calor o generar electricidad, y podremos almacenarlo para utilizarlo cuando se ponga el sol.

El laboratorio de Lewis figura entre los que intentan crear prototipos de hojas —no mucho mayores que los microcircuitos electrónicos—, concebidos para producir combustibles hidrogenados a partir de agua, en lugar de sintetizar glucosa como las plantas. El hidrógeno, a diferencia de los combustibles fósiles, arde sin generar residuos. Otros investigadores están trabajando en ideas concurrentes con la ambición de capturar la energía del sol, como la modificación genética de algas para que segreguen biocombustible o la creación de organismos nuevos que produzcan petróleo. Todas esas estrategias pretenden convertir la luz solar en energía química que luego se podrá almacenar, transportar y consumir fácilmente. Lewis sostiene, empero, que la hoja artificial es la opción con más posibilidades de producirse industrialmente y satisfacer las necesidades energéticas de nuestra civilización.

## Combustibles a partir de fotones

Aunque algunos laboratorios han logrado sintetizar pequeñas cantidades de “combustible solar” (también llamado electrocombustible), aún falta perfeccionar la técnica para producirlo a gran escala y bajo coste. Lewis estima que para abastecer de energía a EE.UU. sería necesario fabricar láminas delgadas y flexibles, en lugar de chips rígidos y separados, con métodos similares a la impresión de periódicos en las rotativas. Esas películas tendrían que ser tan económicas como la moqueta para suelos, y habrían de abarcar una superficie equivalente a la de Castilla-La Mancha.

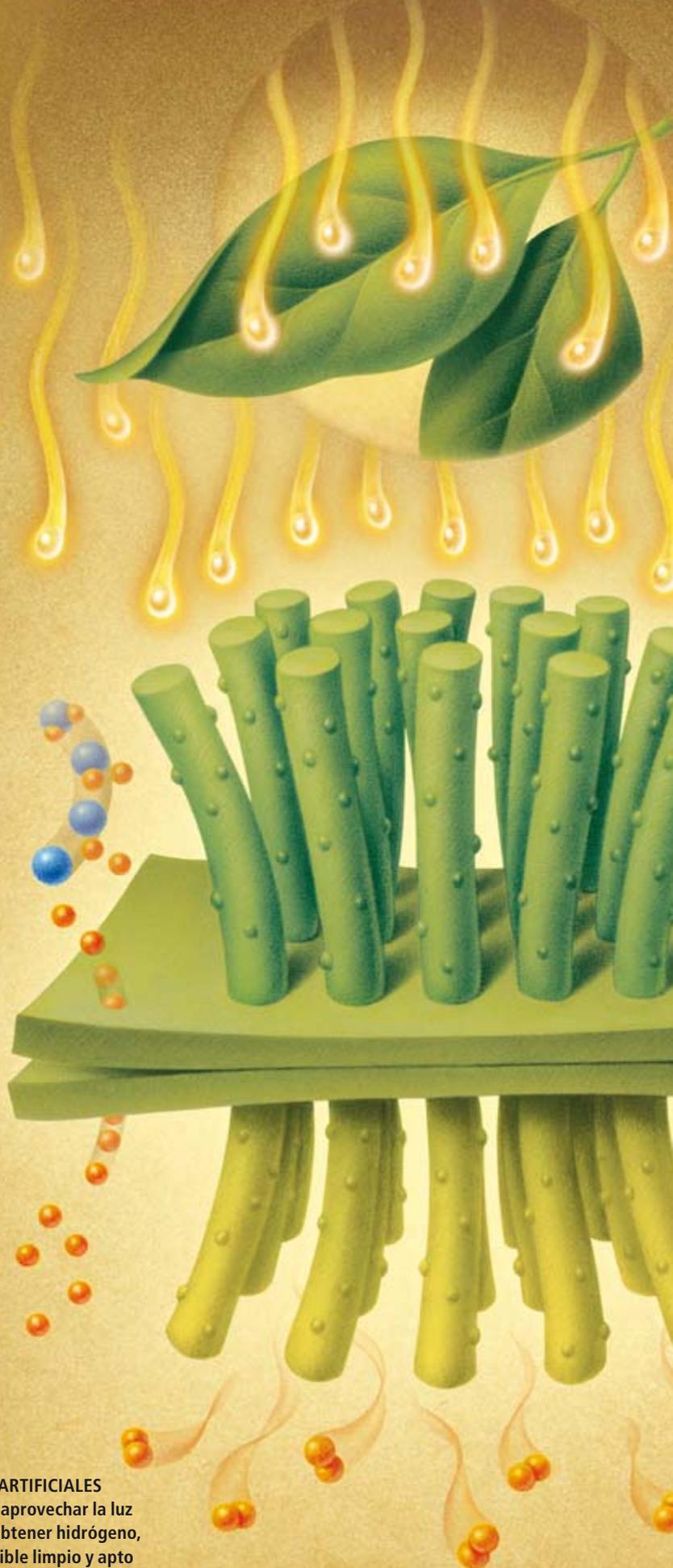
Las técnicas para capturar la energía solar, lejos de ser un sueño fantástico, han ido avanzando a trompicones desde que el presidente Carter alentó la búsqueda de nuevas fuentes de energía ante las crisis petrolíferas de los años setenta. En nuestros días, cuando a las previsiones de penuria energética se suman los problemas del cambio climático, los combustibles solares están mereciendo una renovada atención. Stenbjörn Styring, investigador de la Universidad de Upsala que está desarrollando sistemas artificiales que remedan la fotosíntesis, afirma que el número de consorcios que trabajan en el tema ha pasado de sólo 2 en 2001 a 29 en nuestros días.

El Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) asignó el pasado julio el equivalente a unos 100 millones de euros, distribuidos a lo largo de cinco años, para que un equipo de científicos de diversos laboratorios, encabezados por Lewis, estudiara técnicas que permitieran la obtención de combustibles solares, una de las tres prioridades en investigación energética del departamento. A juicio de Steven E. Koonin, director científico del DOE, los combustibles solares resolverían dos grandes problemas, el abastecimiento energético y las emisiones carbónicas. Koonin considera que los proyectos de conversión directa de energía solar en energía química han de vencer obstáculos prácticos formidables pero, aún así, el esfuerzo vale la pena, porque la recompensa sería enorme.

Durante la fotosíntesis, las hojas de las plantas aprovechan la energía de la luz solar para reorganizar los enlaces químicos del agua y del dióxido de carbono, y producen y almacenan combustible en forma de azúcares. “Deseamos inventar algo que se parezca al máximo a una hoja”, declara Lewis. Es decir, un dispositivo que funcione con la misma sencillez aparente pero dé lugar a productos químicos diferentes. La hoja artificial que Lewis está diseñando requiere dos elementos principales: un colector que convierta energía solar (fotones) en energía eléctrica y un electrolizador que se valga de la energía de los electrones para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno. A ello debe sumarse un catalizador (un metal o un compuesto químico) que ayude a lograr tal separación. Las fotocélulas existentes ya producen electricidad a partir de la luz solar, y los electrolizadores se utilizan en diversos procesos comerciales; se trata ahora de combinar unos y otros en películas fotoquímicas eficientes y económicas.

Ya se han creado prototipos, aunque demasiado voluminosos, con el único fin de com-

**LAS HOJAS ARTIFICIALES** permitirían aprovechar la luz solar para obtener hidrógeno, un combustible limpio y apto para automóviles y centrales eléctricas.



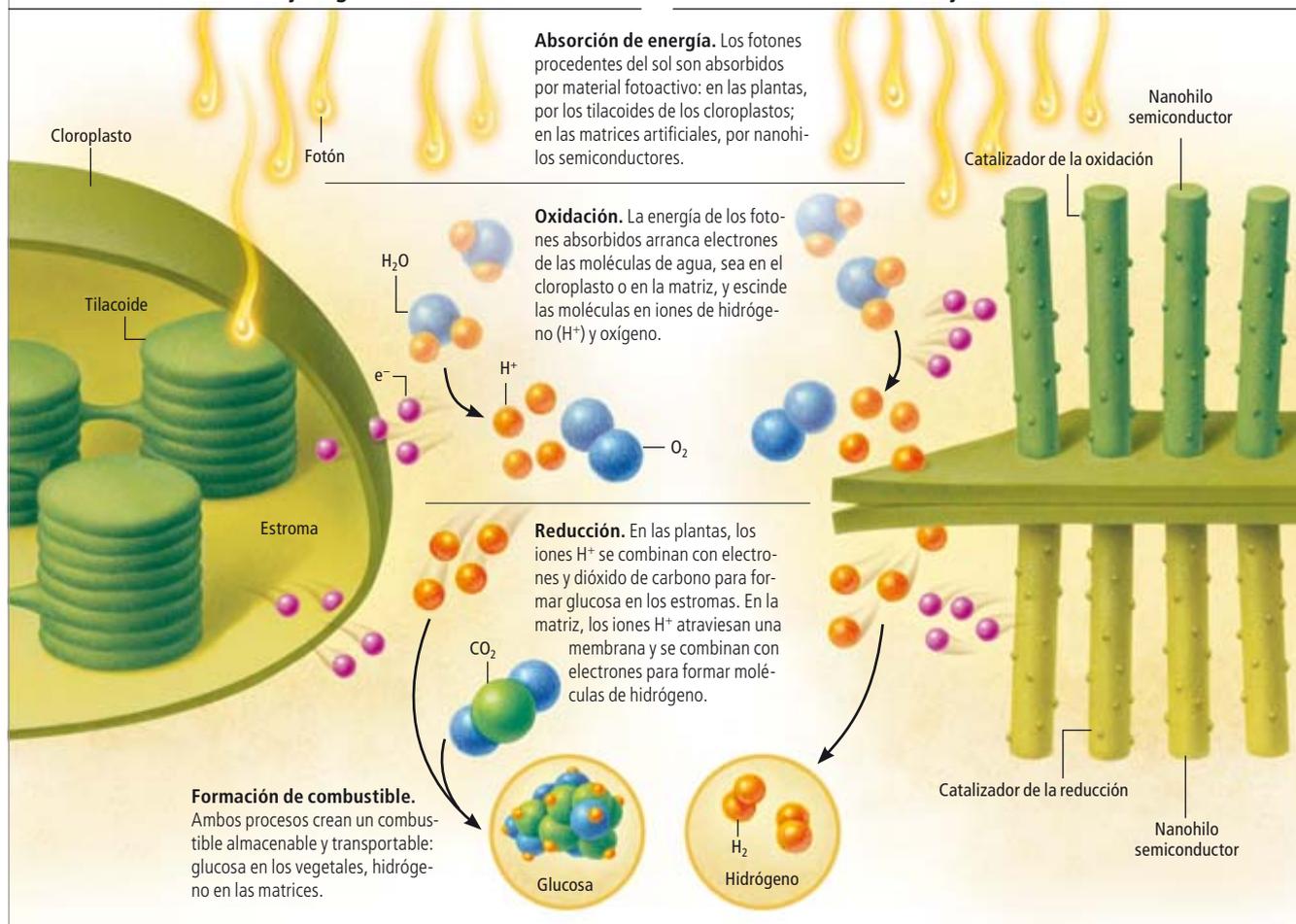
# Nanohilos que remedan la naturaleza

Los vegetales se valen de la energía del sol para convertir dióxido de carbono y agua en glucosa, un combustible químico que a continuación consumen o almacenan (*izquierda*). Se están diseñando hojas artificiales que emplean la luz solar para escindir moléculas de agua

y obtener hidrógeno combustible. El grupo de Nathan Lewis, en el Instituto de Tecnología de California, está diseñando una pequeña hoja a base de matrices de nanofilamentos de silicio que podría producir hidrógeno (*derecha*).

## Hoja vegetal

## Hoja artificial



probar el funcionamiento de tal combinación. Los ingenieros de la compañía automovilística Honda han construido una caja, algo más alta que un refrigerador, cubierta con células fotovoltaicas. En su interior, un electrolizador se vale de la energía solar para descomponer moléculas de agua. La caja libera al ambiente el oxígeno producido y comprime y almacena el hidrógeno restante, que Honda quisiera utilizar para la recarga de automóviles propulsados por células de combustible.

Esa estrategia podría contribuir a resolver el calentamiento global: para generar energía sólo se requiere luz solar y agua, el subproducto de la reacción es oxígeno y el producto de la posterior combustión del hidrógeno es agua. El problema reside en el elevado precio del silicio cristalino con el que están formadas las células fotovoltaicas. Y los electrolizadores requie-

ren el metal noble platino, el mejor material disponible para catalizar la descomposición del agua pero cuyo coste actual supera los 40 euros el gramo.

Se deduce entonces que la estación de hidrógeno de Honda no servirá para abastecer de energía al mundo. Lewis calcula que para atender a la demanda mundial de energía, los dispositivos solares deberían costar menos de 10 euros por metro cuadrado de superficie colectora de luz solar y convertir al menos un 10 por ciento de esa energía en combustible químico. Se necesita por tanto una técnica nueva, de aplicación a gran escala, que produzca películas o alfombras de materiales baratos.

### Hallar un catalizador

El estudio de la técnica se halla aún en un estadio inicial, a pesar de los decenios dedica-

### El autor

**Antonio Regalado** es redactor de ciencia y tecnología, y corresponsal en América Latina de la revista *Science*. Escribe sobre temas relacionados con la energía, entre ellos, las energías renovables.

dos a la labor, con interrupciones y arranques. Uno de los primeros experimentos permite comprender las dificultades a las que se hace frente. En 1998, John Turner, del Laboratorio de Energía Renovable, en Golden (Colorado), construyó un dispositivo del tamaño de una caja de cerillas que, colocado en agua y expuesto a la luz solar, liberaba oxígeno e hidrógeno a una velocidad prodigiosa y era doce veces más eficiente que una hoja verde. Pero la creación de Turner se basaba en materiales raros y muy caros, entre ellos, un catalizador de platino. Según una estimación, la célula solar de Turner costaría unos 10.000 euros por centímetro cuadrado. Ese precio resultaría aceptable para ciertas aplicaciones militares o espaciales, pero no para suministrar energía a la población.

Los metales nobles, por lo general los mejores catalizadores, son muy escasos. “Ahí radica el problema”, explica Styring. “Si queremos salvar el planeta, deberemos prescindir de todos esos metales nobles y trabajar con materiales más baratos, como el hierro, el cobalto o el manganeso”. Otra dificultad estriba en la elevada corrosividad de la reacción de electrólisis del agua. Los vegetales resuelven el problema reconstruyendo sin cesar su maquinaria fotosintética. La célula solar de Turner duró tan sólo 20 horas.

En la actualidad, las investigaciones de Turner se centran en la preparación de sucesivas generaciones de catalizadores, cada vez más baratos, y en el diseño de colectores solares, cada vez más duraderos. “Me dedico a pasear por el bosque buscando un material que haga lo que necesito”, explica Turner, “pero los progresos han sido mínimos”.

Otros equipos están investigando también nuevos catalizadores, como el de Daniel G. Nocera, del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). En 2008 acertó con una combinación de cobalto y fosfato, de bajo coste, que cataliza la producción de oxígeno, una parte necesaria en la reacción de escisión del agua.

Aunque aquel invento representaba tan sólo una de las piezas del rompecabezas —los investigadores no lograron crear un catalizador mejor para la síntesis de hidrógeno, el combustible de interés—, el MIT lo proclamó como un gran paso hacia la fotosíntesis artificial. Nocera predijo que los estadounidenses no tardarían en fabricar hidrógeno para sus automóviles utilizando equipos de bajo coste instalados en el patio trasero de sus casas. Esas osadas proclamas no han sentado bien a ciertos expertos en fotocombustibles, que mantienen que aún faltan decenios de investigaciones. Otros son más decididos: el DOE y empen-

dedores de capital-riesgo de Polaris Venture Partners están financiando los actuales trabajos de Nocera en Sun Catalytix, compañía que ha creado en Cambridge, Massachusetts.

En el ínterin, Lewis ha intentado descubrir una forma de recolectar fotones del sol y convertirlos en energía eléctrica —el primer paso de todo dispositivo de producción de combustible solar— que sea más económica que las células fotovoltaicas estándar, de silicio cristalino. Ha diseñado y fabricado un colector formado por nanofilamentos de silicio incrustados en una película de plástico transparente que, en caso de adoptar mayor superficie, se pudiera enrollar y desenrollar como una manta. Los nanofilamentos convierten energía lumínica en eléctrica con un rendimiento del 7 por ciento. Ese valor es muy inferior al de las células fotovoltaicas comerciales, que puede alcanzar un 20 por ciento. Pero si el material se fabricara a un bajo coste y las láminas se obtuvieran de modo parecido a la impresión de periódicos en las rotativas, su menor eficiencia podría resultar aceptable.

Se debate también si el hidrógeno constituye la mejor opción como fotocombustible. Los equipos que trabajan con organismos vivos que sintetizan biocombustibles líquidos afirman que éstos son más fáciles de almacenar y de transportar que el hidrógeno. Pero el hidrógeno también ofrece versatilidad: puede utilizarse en coches propulsados por células de combustible, emplearse para generar electricidad en centrales termoeléctricas e incluso servir como materia prima para la producción de gasóleo sintético. No obstante, “la clave consiste en fabricar un combustible químico de gran densidad energética y mínimas emisiones de carbono”, insiste Lewis. “No nos empecinemos en cuál haya de ser”.

Las hojas de los vegetales demuestran la posibilidad de convertir luz solar en combustible a partir de compuestos corrientes. ¿Podrá la humanidad imitar este proceso para rescatar al planeta del calentamiento global? No existe un pronóstico claro al respecto. “El hecho mismo de que no podamos resolver el problema con los compuestos disponibles es lo que hace tan apasionante el trabajo en este campo”, señala Lewis. Pero le preocupa que la sociedad —en la que incluye a los gobernantes, las agencias de financiación científica y los propios científicos— no se haya percatado todavía de la gravedad del problema energético ni de la necesidad de soluciones revolucionarias. Por ese motivo dedica tiempo a dar charlas y conferencias y a predicar las posibilidades que nos ofrece el sol: “En este problema no podemos permitirnos fracasar, aunque no parecemos muy conscientes de ello”.

**Para salvar el planeta habrá que prescindir de metales nobles y usar catalizadores baratos, como el hierro**

► Versión multimedia del artículo original en: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=interactive-reinventing-the-leaf>

## PARA SABER MAS

POWERING THE PLANET: CHEMICAL CHALLENGES IN SOLAR ENERGY UTILIZATION. Nathan S. Lewis y Daniel G. Nocera en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 103, n.º 43; págs. 15.729–15.735; 24 de octubre de 2006.

IN SITU FORMATION OF AN OXYGEN-EVOLVING CATALYST IN NEUTRAL WATER CONTAINING PHOSPHATE AND CO<sup>2+</sup>. Matthew W. Kanan y Daniel G. Nocera en *Science*, vol. 321, págs. 1072–1075; 22 de agosto de 2008.

POWERING THE PLANET WITH SOLAR FUEL. Harry B. Gray en *Nature Chemistry*, vol. 1, n.º 7; abril de 2009.

ENERGY-CONVERSION PROPERTIES OF VAPOR-LIQUID-SOLID-GROWN SILICON WIRE-ARRAY PHOTOCATHODES. Shannon W. Boettcher et al. en *Science*, vol. 327, págs. 185-187; 8 de enero de 2010.