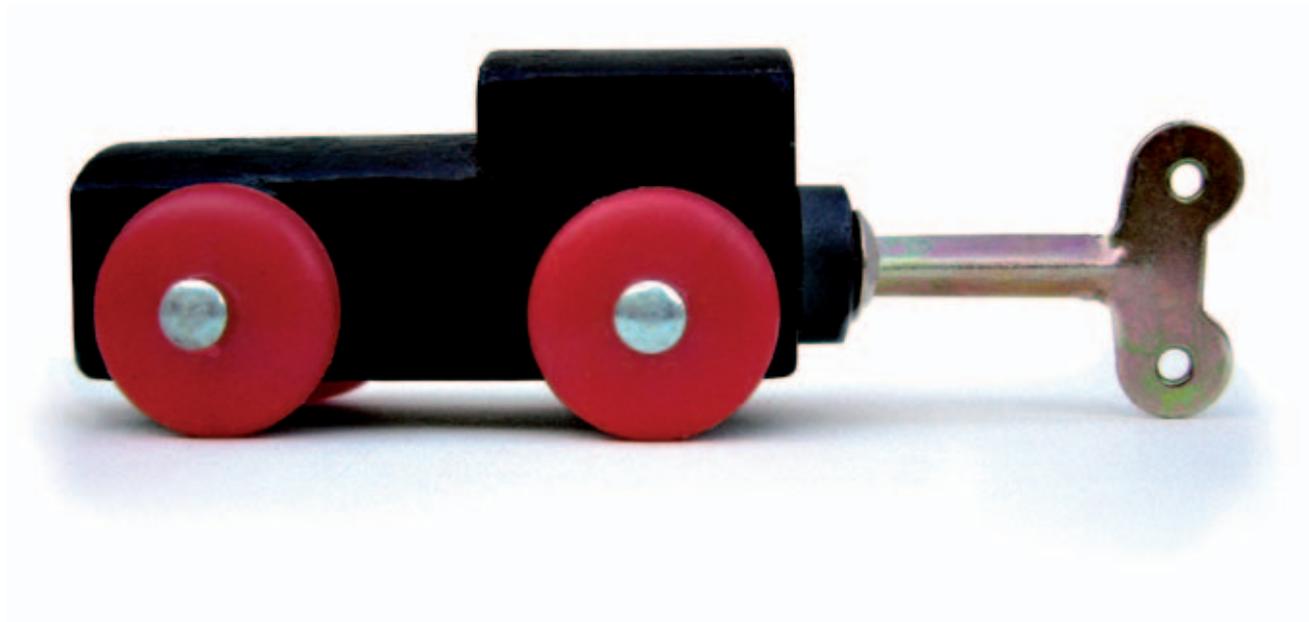


# LYCHNOS

Cuadernos de la Fundación General CSIC / N° 6 / Septiembre 2011 / Publicación trimestral / Precio: 9 euros |||



**4**

La I+D en energía  
y automoción

**14**

Impacto  
socioeconómico

**36**

Fuentes de energía  
para automoción

**62**

Hacia el transporte  
eléctrico

# Cultivos energéticos y biocombustibles

**En el año 2020, los estados miembros de la Unión Europea deberán reducir la emisión de gases de efecto invernadero en un 20%; aumentar el porcentaje de energía renovable, respecto al total de la energía consumida, hasta un 20% y conseguir un 20% de incremento en la eficiencia energética.**

Antonio Leyva (1)  
Gonzaga Ruiz de Gauna (2)

(1) Centro Nacional de Biotecnología (CSIC)

(2) Plataforma Tecnológica de Biotecnología Vegetal (BIOVEGEN)

Las amenazas del cambio climático, el incremento mundial de la demanda energética y la dificultad creciente de extraer petróleo a precios competitivos, al ser este un bien cada vez más escaso, ha llevado a los estados de los países industrializados a promover el desarrollo de tecnologías que permitan identificar nuevas fuentes de energía renovable. En este contexto, la Unión Europea adoptó en diciembre de 2008 una estrategia a largo plazo (la Hoja de Ruta para las Energías

Renovables, implementada a través del Plan Estratégico de Tecnologías Energéticas, SET-Plan) conocida como 20-20-20. Esta resolución compromete a los estados miembros para el año 2020 a reducir la emisión de gases de efecto invernadero en un 20%; aumentar el porcentaje de energía renovable, respecto al total de la energía consumida, hasta un 20% y conseguir un 20% de incremento en la eficiencia energética. Esta resolución también obliga a que el porcentaje de biocombus-

tibles consumidos por el total del transporte europeo represente un 10% del total de combustible consumido. Conseguir estos ambiciosos objetivos por parte de los estados que han suscrito esta iniciativa (incluyendo a España) requerirá triplicar el nivel actual de producción de energías renovables, y multiplicar por 10 la producción de biocombustibles. Por ello la obtención de biocarburantes a precios competitivos se ha convertido en una prioridad para los países industrializados.

La bioenergía, obtenida a partir de biomasa sólida, biocombustibles líquidos o biogás, aun siendo una más de las fuentes existentes de energía renovable (eólica, geotérmica, solar, hidráulica), tiene un papel fundamental, ya que supone más de dos tercios (un 68%) de la energía renovable total producida en la Unión Europea. En este artículo trataremos de dar unas pinceladas del estado de desarrollo tecnológico de los cultivos energéticos, más concretamente de plantas (dejando a un lado

el cultivo de algas, que creemos merece un capítulo aparte). Así, nos centraremos en los biocarburantes obtenidos a partir de organismos fotosintéticos capaces de fijar CO<sub>2</sub> y por tanto de producirlos de manera renovable. Este artículo pretende dar una visión general de su potencial y de los retos a los que se enfrenta la tecnología para satisfacer las demandas energéticas de una sociedad cada vez más respetuosa con el medioambiente.

### Biocombustibles de 1ª generación

Los biocombustibles líquidos se usan como sustitutos de la gasolina y gasoil, empleados en el transporte y la industria, dado que en principio se pueden utilizar o mezclar con carburante casi cualquier sustancia orgánica líquida o gasificable si contamos con un motor de combustión interna con la apropiada mecánica. Estos sustitutos de los combustibles fósiles son el bioetanol y el biodiesel, que se obtienen a partir de cultivos agrícolas. El bioetanol (alcohol sustitutivo de la gasolina que ya utilizaban los primitivos motores de ciclo Otto) es un producto obtenido a partir de la fermentación de azúcares (que a su vez se obtienen desde cultivos con alto contenido en sacarosa como caña de azúcar, remolacha, melaza, sorgo dulce) o de almidones (granos de trigo, ce-

#### Antonio Leyva

Doctor en Biología e Investigador del CSIC, actualmente dirige un grupo de investigación en el *Centro Nacional de Biotecnología (CNB-CSIC)*. Durante su carrera científica, ha desarrollado varias líneas de investigación, todas ellas relacionadas con la señalización y la regulación de la expresión génica en plantas. Entre sus investigaciones actuales, destaca la línea relacionada con el efecto de la fertilización carbónica en cultivos energéticos. Ha participado en 28 proyectos de investigación y publicado más de 40 artículos científicos en revistas de alto impacto. Promotor de varias iniciativas empresariales relacionadas con la biotecnología, ha participado como secretario ejecutivo en la creación y consolidación de la Asociación para el Fomento de la I+D en Genómica Vegetal (INVEGEN) y de la Plataforma Tecnológica de Biotecnología Vegetal (BIOVEGEN).



Antonio Leyva.

#### Gonzaga Ruiz de Gauna

Ingeniero Agrónomo y Máster en Gestión de Empresas Biotecnológicas, trabaja actualmente como gerente de la Asociación para el Fomento de la I+D en Genómica Vegetal (INVEGEN) y como coordinador de la Plataforma Tecnológica de Biotecnología Vegetal (BIOVEGEN), entidades que agrupan a empresas y científicos del sector. Entre sus actividades destacan la creación y coordinación de proyectos de I+D, la asesoría en aspectos relacionados con la gestión de I+D (Propiedad Industrial y protección de resultados de investigación, mecanismos de financiación de I+D), la realización de informes y estudios y la organización de diversos foros de fomento de transferencia de tecnología. Anteriormente, trabajó como agente de Transferencia de Tecnología en la Fundación Genoma España.



Gonzaga Ruiz de Gauna.

bada, maíz, tubérculos como la patata o raíces como la yuca). Por su parte, el biodiesel es un sustitutivo del gasoil obtenido a través de la transesterificación de aceites y grasas de origen vegetal (soja, colza, girasol, palma, etc.).

Sin embargo, la utilización de almidón y aceites como fuentes de materia prima para la fabricación de biocombustibles (los llamados “biocombustibles de 1ª generación”) ha sido muy controvertida en los últimos años, ya que en algunos casos han llegado a desplazar la utilización de suelos explotados para la produc-

ción de alimentos; esto, junto con la demanda creciente de cereal de los países asiáticos, ha supuesto un aumento espectacular del precio del cereal, que ha llegado a comprometer el suministro de alimentos en algunos países. Para ilustrar este punto, basta con recordar la “Guerra de las tortillas” de México (2006), provocada por un elevado aumento (de más del 50%) del precio del maíz (materia prima para la fabricación de las tortillas, que constituyen la base alimentaria de aquel país). Esta subida de precio de los cereales se atribuyó en gran parte al uso del maíz para fabricar

etanol, lo que se tradujo en grandes manifestaciones populares en contra del Gobierno. Además, a estos biocombustibles se les ha achacado ser responsables de la deforestación de bosques tropicales para obtener más tierras de cultivos, utilizando cantidades masivas de fertilizantes y maquinaria y comprometiendo el medio ambiente, lo que ha provocado un cierto rechazo social al uso de estos cultivos para producir bioenergía. En este punto es importante recalcar que, aunque los biocombustibles de 1ª generación no son la solución, sí han permitido despertar el



La siguiente generación de cultivos para la producción de biocombustibles deberá estar capacitada para crecer en tierras marginales, pobres en nutrientes o contaminadas y con pocos recursos hídricos, inviables para la producción de alimentos.

interés de las grandes compañías, generando un tejido industrial que permitirá procesar los cultivos de 2ª generación. Gracias a este esfuerzo, se ha incrementado de forma espectacular la financiación de proyectos de investigación orientados a identificar y domesticar cultivos energéticos que no compitan con la producción de alimentos, y en los que el coste energético de su producción y procesado llegue a tener un balance de CO<sub>2</sub> neutro, siendo por tanto realmente renovables. Todas las nuevas tecnologías han sido siempre ineficientes en sus ini-

cios, pero no por ello debemos amedrentarnos; es preciso confiar en que la tecnología, base de nuestro desarrollo futuro, está en condiciones de aportar soluciones al problema energético que sean respetuosas con la sociedad y el medio ambiente.

**Biocombustibles de 2ª generación: un paso adelante**  
En cuanto a la siguiente generación de cultivos para la producción de biocombustibles, la tecnología pretende que la materia prima utilizada para la producción de energía no compita con la producción de

*La utilización de almidón y aceites como fuentes de materia prima para la fabricación de biocombustibles ha sido muy controvertida en los últimos años*

alimentos. Las vías para resolver este desafío implican, por un lado, la utilización de residuos de cultivos alimentarios, que actualmente no se utilizan para la alimentación, y, por otro, la identificación y domesticación de nuevos cultivos que reduzcan su balance neto de CO<sub>2</sub> y que sean fáciles de procesar a precios competitivos. Asimismo, la disponibilidad de suelo cultivable está cada vez más limitada, como demuestra el hecho de que algunos países, como China, estén cultivando en tierras de África y otros continentes. Por tanto, un requerimiento esencial de estos nuevos cultivos será su capacidad para crecer en tierras marginales, pobres en nutrientes o contaminadas y con pocos recursos hídricos, inviables para la producción de alimentos. Es decir, los llamados “biocombustibles de 2ª generación” deberán resolver todos estos retos así como todos los problemas de producción y tecnología de procesado asociados.

El bioetanol de 2ª generación se consigue a partir de la degradación de material lignocelulósico o lignocelulosa, obtenido a partir de los residuos agrícolas de las cosechas o a partir de plantas herbáceas o leñosas. La lignocelulosa es muy abundante en la naturaleza (se estima que cada año se sintetizan 200.000 millones

de toneladas en el mundo), ya que está presente en el material vegetal como principal componente de la pared celular de las plantas; de hecho, es la sustancia que otorga la rigidez a los tejidos vegetales. Este material está formado por una mezcla de lignina, hemicelulosa y celulosa; a su vez, la celulosa está compuesta por una larga cadena de azúcares, por lo que casi cualquier residuo vegetal sería susceptible de ser transformado en azúcar y posteriormente, gracias a la fermentación por levaduras, obtener el bioetanol deseado. Además, la celulosa tiene la ventaja de no ser de uso alimentario, permitien-

do el aprovechamiento de los residuos vegetales generados durante el cultivo de especies destinadas a la producción de alimentos, por lo que se erige como una fuente óptima de materia prima para la producción de combustibles de forma sostenible.

Por ello, se está trabajando en la mejora de cultivos energéticos que, al contrario de lo que tradicionalmente se ha tratado de conseguir a través de la agronomía (incremento de producción y calidad), buscan rápidos y eficientes rendimientos de biomasa y, por tanto, de celulosa: es decir, rápido crecimiento vascular

de la planta con muy poco o ningún aporte de insumos agrícolas (agua, fertilizantes, empleo de maquinarias, etc.). Se están estudiando prometedoras especies vegetales como el *Panicum virgatum* o “pasto varilla”, una herbácea nativa de las praderas americanas de rápido crecimiento y adaptable a variadas condiciones climatológicas. O como el *Miscanthus giganteus*, un pasto perenne emparentado con la caña de azúcar procedente de Asia del Este. Su rendimiento medio de producción de biomasa duplica al del *Panicum virgatum* y supera en un 50% al del maíz. Además, se puede cultivar en terrenos que

no se utilizan para la producción de alimentos. Otras especies leñosas también resultan interesantes: la *Pawlonia*, un árbol caducifolio nativo del este de Asia y muy usado para reforestación y para abastecimiento de madera, se está empezando a introducir en España por su rápido crecimiento y su versatilidad, ya que es utilizable también para recuperar suelos degradados.

En cuanto a la producción de biodiesel de 2º generación, que como hemos comentado anteriormente se obtiene mediante un proceso químico (transesterificación) a partir de aceites vegetales, se están tratando de identificar y mejorar otras especies oleaginosas de cuya semilla puedan extraerse aceites de mejor calidad y que puedan ser sustitutivas de las tradicionalmente empleadas como materia prima: soja, colza, girasol, palma..., que tienen una clara aplicación alimentaria. Uno de los cultivos energéticos que más esperanzas ha despertado en este sentido es la *Jatropha curcas*. Esta planta arbustiva, originaria de Centroamérica y África, es miembro de la familia de las *Euphorbias* y sus semillas se han utilizado desde hace mucho tiempo para extraer aceite con el que fabricar jabón y velas. Una de sus ventajas, aparte del alto contenido



La subida de precio del maíz en México (2006), que provocó la “Guerra de las tortillas”, se atribuyó en gran parte al uso de este cereal para fabricar etanol.

de aceite en su semilla (más del 40%), es su crecimiento en áreas no cultivables o erosionadas, por lo que no compite con cultivos alimentarios. Países como India (con entre 500.000 y 600.000 hectáreas) y China (unos 2 millones de hectáreas, según datos del año 2007) se han lanzado a la producción masiva de este cultivo, que puede vivir más de 50 años, 30 de ellos dando fruto incluso en condiciones de sequía. Otros países africanos, además de Filipinas, también han iniciado plantaciones a gran escala de este cultivo. Existen investigaciones (como la del Central Salt and Marine Chemicals Research Institute-CSMCRI) que demuestran que obtener biodiesel a partir de la *Jatropha* es más ventajoso, en cuanto a eficiencia, energía utilizada y emisiones de CO<sub>2</sub>, que a partir de otras materias primas como la colza, el girasol y la soja. Investigadores de la India (posiblemente el país más avanzado en el estudio de esta planta como fuente de aceite para biodiesel) coinciden en que el cultivo de *Jatropha* es conveniente en terrenos no productivos. Es un buen cultivo de barbecho, pues ha desarrollado un sistema radicular que frena la erosión del suelo e incrementa el almacenamiento de agua en el mismo. Todo ello provoca un mayor crecimiento de la biomasa y una mayor acumulación de carbono or-

gánico en el suelo. Sin embargo, este cultivo está presentando muchos inconvenientes derivados de que nunca ha sido domesticado y por tanto su agronomía no se ha desarrollado: no se conoce bien su rendimiento, la producción de semilla depende de las condiciones ambientales (requiere vernalización) y su cultivo no está mecanizado. Tampoco se conocen las mejores condiciones para su crecimiento, ni los posibles efectos adversos de su cultivo a gran escala sobre el medio ambiente. En lo que se refiere a rendimientos, hay gran variación en las estimaciones: de 700 a 1.300 litros de biodiesel por hectárea. Se está investigando sobre las condiciones óptimas de crecimiento de *Jatropha* para obtener biodiesel, pero su cultivo está aún por desarrollar. Además, en el caso español, se trata de un cultivo que no se adapta a las condiciones climatológicas del país.

Es evidente que los cultivos de segunda generación requieren aún un gran esfuerzo de desarrollo tecnológico. De hecho, todavía no se dispone de una tecnología de producción de etanol basado en celulosa a escala industrial. El principal problema no es el proceso fermentativo en sí, sino obtener azúcar más eficientemente a partir de celulosa. En este punto desempeñan un papel crucial las celulasas, enzimas



La biotecnología se convertirá en una herramienta imprescindible para el desarrollo de una producción sostenible y eficiente de biocombustibles.

que cortan los polímeros de celulosa, liberando azúcar. La obtención de estas enzimas es muy cara; han de ser 10 veces más eficaces para la degradación de la biomasa lignocelulósica que para el almidón. Esto se debe a que la celulosa se encuentra rodeada de lignina, lo que dificulta el acceso de las celulasas. Desde el punto de vista de los cultivos, la mejora y la biotecnología ve-

getal puede contribuir a solucionar el problema mediante la identificación de especies y herramientas moleculares que permitan generar cultivos en los que la celulosa esté más accesible para las enzimas y por tanto con una lignocelulosa más sacarificable (que permita obtener azúcar de una forma mucho más eficaz). Este esfuerzo tecnológico es clave para la consolidación de los

biocombustibles, ya que permitirá la utilización de los residuos agrícolas de una forma sostenible sin competir con la producción de alimentos.

### Los grandes desafíos de los cultivos energéticos

Como hemos comentado anteriormente, la producción de biocombustibles en ambos casos (bioetanol, biodiesel) se enfrenta a cuatro desafíos: su cultivo no debe competir con la producción de alimentos (1) y debe dar un balance neutro de CO<sub>2</sub> (2); su producción debe ser homogénea asegurando el abastecimiento de las instalaciones industriales (plantas extractoras, biorrefinerías, fermentadores) (3); y los métodos de extracción deben ser competitivos desde el punto de vista energético y económico para competir a largo plazo con el precio de otras fuentes de energía no renovables.

Entre los temas donde se han identificado las principales barreras a resolver destacan:

- Desarrollo y mejora de cultivos lignocelulósicos (cultivos de 2ª generación que no compitan con cultivos alimentarios) dedicados a la generación de energía por combustión y como fuente de azúcares para producir bioetanol. A este fin, es importante profundizar en el conoci-

*En cuanto a la siguiente generación de cultivos para la producción de biocombustibles, la tecnología pretende que la materia prima utilizada para la producción de energía no compita con la producción de alimentos*

to y regulación de las rutas bioquímicas de síntesis y degradación del material lignocelulósico, así como la identificación de nuevas especies y su mejora, con el objetivo de que sean fácilmente procesables para obtener combustibles.

- Desarrollo y mejora de nuevos cultivos oleaginosos (que no compitan con otros cultivos oleaginosos alimentarios), cuyo perfil de lípidos sea idóneo para producción de biodiesel e incluso de biolubricantes.
- Desarrollo y mejora de nuevos cultivos-biofactoría como fuente directa de hidrocarburos (“biocombustibles de 3ª generación”) obtenidos a partir de metabolitos secundarios acumulados en nuevas especies aun sin explotar.
- Desarrollo de nuevas aproximaciones al cultivo de biomasa en confinamiento (microorganismos, cultivos celulares, microalgas, residuos urbanos o industriales), produciendo biomoléculas ricas en energía y polímeros con potencial para generar biocombustibles.

La I+D en biotecnología vegetal ha experimentado un desarrollo espectacular en los últimos años; es por tanto el

momento en el que esta tecnología puede aportar sus herramientas para abordar con éxito todos los retos que el sector tiene planteados.

La genómica y la biología molecular en general permitirán determinar de forma eficaz el potencial aplicado de nuevas especies nunca explotadas hasta ahora y mejorar la utilización de las variedades ya existentes para la producción de biocombustibles de forma más eficiente, respetuosa con el medioambiente y sin comprometer la producción de alimentos.

La biología vegetal de última generación permitirá aumentar el conocimiento de aspectos básicos del crecimiento y metabolismo de las plantas, generando cultivos que incrementen su biomasa, que fijen más eficazmente el CO<sub>2</sub>, cuya extracción de azúcar a partir de celulosa sea más eficiente e, incluso, que acumulen directamente biocarburantes para la generación de biocombustibles.

Sin duda, la biotecnología se convertirá en una herramienta imprescindible para el desarrollo de una producción sostenible y eficiente de biocombustibles, lo que nos permitirá afrontar los desafíos energéticos y medioambientales de las próximas décadas. ■