



1876

Al Canvi És Lívica Coga Immutable
(Schopenhauer)

PLANTAS PARA COMER, PLANTAS PARA QUEMAR...

¿UNA CUESTIÓN DE DISEÑO GENÉTICO?

José Pío Beltrán

PLANTS TO EAT, PLANTS TO BURN... A QUESTION OF GENETIC DESIGN?

THE SEARCH FOR ALTERNATIVE ENERGIES FOR TRANSPORT IS BEING BOOSTED BY THE INCREASED PRICE OF PETROL, THE DIMINISHING FOSSIL-FUEL RESERVES AND CLIMATE CHANGE, CAUSED BY AN INCREASE IN ATMOSPHERIC CO₂ LEVELS. SUCH ENERGIES CAN USE PLANT BIOMASS OR BIOFUELS LIKE BIO-ETHANOL AND BIODIESEL. WHAT CAN GENETICS CONTRIBUTE TO THIS FIELD? HERE WE ANALYZE THE GREAT POTENTIAL OF NEW GENETICS TO HELP US DIVERSIFY THE ENERGY SOURCES, AND THANKS TO WHICH PLANTS ARE OBTAINED THAT PRODUCE CELLULASES OR LIGNINASES, PLANTS WITH LOWER LIGNIN CONTENT OR WITH INCREASED BIOMASS, SUITABLE FOR PRODUCING BIOFUEL. THIS INVOLVES A SEARCH FOR THE TOOLS NECESSARY TO FACE A THREATENING FUTURE, BECAUSE THE LACK AND WASTE OF RESOURCES IS LEADING US TO AN UNSUSTAINABLE DEVELOPED WORLD.

Ya no hay dudas. Nos enfrentamos a un cambio climático asociado al calentamiento global, producido por el aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) y de metano derivado de actividades de origen antrópico. Este aumento es fundamentalmente debido al uso y abuso de los combustibles fósiles. Cabe añadir que el balance de CO₂ en la atmósfera depende de la diferencia entre el aporte, básicamente, el que se libera cuando consumimos carbón, gas o petróleo, y el que se elimina mediante la fotosíntesis de las plantas terrestres y de las algas de los océanos. En las próximas décadas, la concentración de CO₂ atmosférica alcanzará las 500 ppm, al tiempo que el calentamiento del agua marina hará que se reduzca el crecimiento de las algas, por lo que la Tierra perderá capacidad de eliminación de CO₂. La disminución de la biomasa de las algas provocará un efecto de retroalimentación del fenómeno del calentamiento global.

Mantener la civilización alcanzada en el Primer Mundo y que el resto de los países pueda alcanzar

**«MANTENER LA CIVILIZACIÓN
ALCANZADA EN EL PRIMER
MUNDO Y QUE EL RESTO
DE LOS PAÍSES PUEDA
ALCANZAR NIVELES
DE DESARROLLO PARECIDOS
ES INSOSTENIBLE DESDE EL
PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO
Y AMBIENTAL»**

niveles de desarrollo parecidos es insostenible desde el punto de vista energético y ambiental. Como alternativas al uso de combustibles fósiles se habla hoy de favorecer el uso de energías renovables como la de los biocombustibles, la energía eólica, el aprovechamiento de mareas, la energía solar, la energía geotérmica, el hidrógeno, las pilas de combustible y la energía nuclear, ésta última como única alternativa real de acuerdo con el análisis de James Lovelock, el creador del concepto de Gaia (Lovelock, 2006).

■ LOS BIOCOMBUSTIBLES

Si al tiempo que reducimos el uso de combustibles fósiles usamos la biomasa de las plantas para obtener energía o para transformarla en combustibles como el bioetanol o el biodiésel, nos encontraríamos, *a priori*, con la ventaja de que el CO₂ que se libera al quemar biocombustibles ha sido retirado recientemente por fotosíntesis de la atmósfera, frente al CO₂ que está secuestrado desde hace millones

A la izquierda, Manuel Baixauli. *El cambio es la única cosa inmutable (Schopenhauer)*, 2007. Acuarela y lápiz sobre papel, 24,7 x 34,5 cm.



Especies vegetales objeto de estudio para la producción de biocombustibles (de izquierda a derecha y de arriba a bajo): *Jatropa podagrica*, frutos de *Jatropa curcas*, *Jatropa curcas*, frutos de *Pongamia pinnata*, *Panicum virgatum* y *Miscanthus x giganteus*.

Por continentes, el estudio para la producción de biocombustibles se centra en *Jatropa* y *Posemeua* en Asia, *Panicum virgatum* en los EEUU y *Miscanthus x giganteus* en la Unión Europea.

de años y que se añade de forma neta cuando quemamos combustibles fósiles. No obstante, para que el balance del CO₂ sea correcto hay que tener en cuenta también el que se libera al ambiente como consecuencia de prácticas agronómicas, como el uso de fertilizantes de síntesis y el consumo energético, necesarias para que las plantas de cosecha de las que se obtienen los biocombustibles crezcan.

Con el estado actual del conocimiento, los biocombustibles no son una solución global. Para obtener la energía necesaria para el transporte de coches, autobuses, trenes, barcos y aviones en 2007, necesitaríamos quemar entre dos y tres mil millones de toneladas de carbono. Si tenemos en cuenta que las plantas que cultivamos para alimentación consisten sólo en quinientos millones de toneladas de carbono y sólo alimentan a unos 5.000 millones de personas mientras que otros 800 están malnutridos o padecen hambre, se deduce que mediante el uso de los biocombustibles, y sólo para cubrir el gasto energético del transporte, necesitaríamos la superficie de varios planetas Tierra. Dado que los países ricos son excedentarios en la producción de alimentos, podrían caer en la tentación de derivar parte de sus cultivos a la obtención de bioenergía; algo que ya está pasando en EEUU, el mayor consumidor e importador de combustibles fósiles, que necesita disminuir su dependencia del petróleo. Por

otra parte, la superficie utilizada hoy para la agricultura y el uso de otros recursos como el agua hace que sea imprudente intentar dedicar una mayor parte de estos recursos para la producción de cultivos. Por otro lado, también podría suceder que, sin aumentar la superficie total dedicada a cultivos, se cambie los usos de plantas destinadas en primer término a la alimentación a plantas para quemar. Esto podría disminuir la disponibilidad de alimentos y aumentar su precio, como ya se ha observado con el maíz en México.

■ LA GENÉTICA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES

La contribución de la genética a la producción de alimentos ha sido, y continúa siendo, un factor determinante para la aspiración de alimentar a toda la población mundial de manera sostenible. Sin embargo, todavía estamos lejos de alcanzar dicha aspiración que podemos denominar primaria a pesar de los grandes avances tecnológicos como el desarrollo de las técnicas de transformación genética, la generación de potentes herramientas de genética reversa como las de TILLING, RNA de interferencia, el uso de elementos transponibles o la mutagénesis con T-DNA, la irrupción de los abordajes ómicos –genómica encaminada al mapeo e identificación molecular de QTL (*Quan-*

Empresa	Objetivos
Agrivida (EEUU)	Modificación genética de maíz que exprese enzimas para producir etanol en postcosecha.
Calantia Biotech (España)	Obtención de plantas de sorgo y brásicas con pared celular modificada aptas para el cultivo en tierras marginales.
Celunol (EEUU)	Producción de etanol a partir de celulosa mediante <i>E. coli</i> modificado.
Ceres (EEUU)	Producción de <i>Panicum virgatum</i> como fuente de celulosa.
Direvo (Alemania)	Mejora de la producción de etanol a partir de lignocelulosa.
Diversa (EEUU)	Enzimas a partir de termitas para la fermentación de biomasa.
	Enzimas para producir biodiésel.
Edenspace Systems (EEUU)	Desarrollo de plantas de maíz, <i>P. virgatum</i> como fuente de celulosa para producir etanol.
GreenFuel Tech (EEUU)	Biorreactores para la conversión de algas.
logen (Canadá)	Conversión de biomasa en etanol derivado de celulosa.
Linnaeus Plant Sci. (Canadá)	Modificación genética de plantas para producir aceites para biodiésel.
Monsanto (EEUU)	Detección de germoplasma de maíz y soja para producir etanol y biodiésel.
Novozymes (Dinamarca)	Producción de enzimas para reducir la viscosidad de la pasta de biomasa.
Swe Tree (Suecia)	Programa de genómica funcional en chopo y diseño de hongos para producir etanol a partir de desechos agrícolas y forestales.
Syngenta (EU)	Obtención de maíz que expresa niveles altos de amilasa T.
TMO Biotech (Gran Bretaña)	Microorganismos no levadura capaces de producir etanol y usar azúcares C5 y C6.

Empresas de biotecnología con programas en biocombustibles.

titative Trait Loci), proteómica, metabolómica— en la mejora genética (Morgante y Salamini, 2003), el análisis de metagenomas y la producción de cultivos transgénicos mediante técnicas de ingeniería genética. Los cultivos transgénicos de primera generación incorporaron tolerancia a herbicidas y resistencias a insectos, permitiendo así incrementar los rendimientos de cosechas de plantas mejoradas por genética clásica; los de segunda generación, han supuesto la modificación mediante ingeniería metabólica de la capacidad de las plantas de producir sustancias importantes para la salud humana como la generación/riqueza de provitamina A en el arroz dorado o, más recientemente, el ácido fólico que biofortifica los tomates (Díaz de la Garza *et al.*, 2007). La tercera generación de transgénicos consiste en un conjunto de plantas de cultivo capaces de producir fármacos como la hormona del crecimiento o insulina humanas, las vacunas contra el virus de la hepatitis B o las inmunoglobulinas, entre otros muchos. Es en este tipo de estrategias donde se enmarca la mejora genética de plantas asistida por técnicas tradicionales o de ingeniería genética con el objeto de disponer de plantas más aptas para la producción de biocombustibles (Beltrán, 2005). Sin duda, se trata de un campo con gran repercusión social y que será objeto de grandes polémicas (Zika *et al.*, 2007).

**«USANDO
BIOCOMBUSTIBLES,
NECESITARÍAMOS LA
SUPERFICIE DE VARIOS
PLANETAS TIERRA SÓLO
PARA CUBRIR EL GASTO
ENERGÉTICO DEL
TRANSPORTE»**

■ LA BIOMASA VEGETAL COMO FUENTE DE ENERGÍA

El uso de biomasa de plantas de cosecha, sobre todo de las partes comestibles como el grano en el maíz, para producir biocombustibles puede competir con la alimentación animal y humana al igual que perjudicar las características de los suelos agrícolas al eliminar los residuos vegetales. Si queremos evitar esto, deberíamos desarrol-

lar cultivos específicos para biomasa energética capaces de crecer en tierras marginales.

La búsqueda de nuevas especies es muy activa en países donde las dificultades para alimentar a su población son patentes y donde no pueden permitirse el lujo de cambiar comida por combustible. Actualmente se está ensayando en países asiáticos la producción de aceites no comestibles a partir de *Jatropha*, *Pongamia*, *Neem*, *Kusum* y *Pilu*. La *Jatropha* y la *Pongamia* crecen en áreas con escasa pluvio-

metría así como en suelos de baja calidad o en terrenos baldíos. Se establecen con facilidad, son de crecimiento rápido y son compatibles con ganadería rumiante. Sus semillas contienen entre un 25% y un 40% de aceites que, una vez esterificados, se pueden mezclar hasta en una proporción del 20% con diesel. El resto de la semilla constituye un abono orgánico. Una especie norteamericana con gran potencial es *Panicum virgatum*, que es una



planta perenne de pradera, que se puede cultivar en suelos que no permiten crecer plantas de cosecha; evita la erosión y posee un sistema radicular profundo que aporta materia orgánica al suelo. La diana de mejora genética consiste en aumentar la productividad desde la actual de 10 toneladas por hectárea al doble.

También en EEUU Isaac Berzin, responsable de GreenFuel Technologies Corp., está ensayando la obtención de bioetanol y biodiesel a partir de cultivos de algas —organismos unicelulares que se dividen cada pocas horas y crecen utilizando CO₂ atmosférico como fuente de carbono—. La eficacia de los ensayos piloto es tal que se obtienen hasta cuarenta veces la cantidad de bioetanol que se podría obtener a partir del grano de maíz cultivado en la misma superficie. En Europa se está trabajando con el género *Miscanthus* y, en especial con el gigante, *Miscanthus x giganteus*, que es un híbrido que alcanza los cuatro metros de altura, de crecimiento rápido, que produce tanta biomasa que se puede usar tanto para la quema directa a fin de producir calor y mover turbinas, como para mezclarlo 1:1 con carbón o para producir bioetanol.

En nuestro laboratorio estamos trabajando con el género *Paulownia*, del que existen varias especies leñosas de crecimiento rápido como *Paulownia fortunei* y *Paulownia elongata*, que tienen gran potencial para la producción de biomasa que ayuda a obtener *pellets* para combustión. Estos árboles son, hoy por hoy, objeto de explotación silvícola en Australia y China. Las *paulownias* crecen varios metros por año y llegan a alcanzar alturas de unos 30 metros con troncos de hasta un metro de diámetro. Estos árboles tienen, además, valor ornamental y producen flores muy melíferas con las que se hacen buenos cortavientos; son resistentes a patógenos y a condiciones moderadas de aridez y de sequía; sus hojas se pueden usar en alimentación animal; y pueden utilizar aguas depuradas o residuales. En el País Valenciano, en la comarca de la Serranía, se pueden observar plantaciones de dos años sobre suelos pobres con árboles de cinco metros de altura. Nuestros objetivos de mejora para la especie *Paulownia* consisten en obtener árboles tolerantes a herbicidas que eviten la competencia de las malas hierbas en los primeros años de cultivo y árboles modificados genéticamente en los que el desarrollo floral esté disminuido o impedido, con el fin de que toda la energía fotosintética se dirija al crecimiento vegetativo y, por tanto, a un incremento de la biomasa disponible. Las estrategias utilizadas son de ingeniería genética y están basadas en desarrollos biotecnológicos de nuestro laboratorio (Gómez *et al.*, 2000).

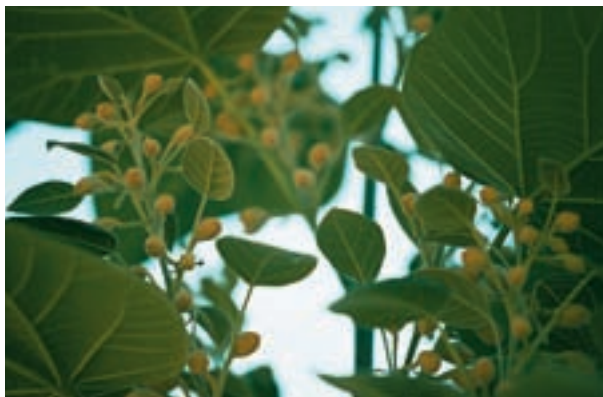


© Ana Ponce

■ BIOCOMBUSTIBLES: BIOETANOL Y BIODIESEL

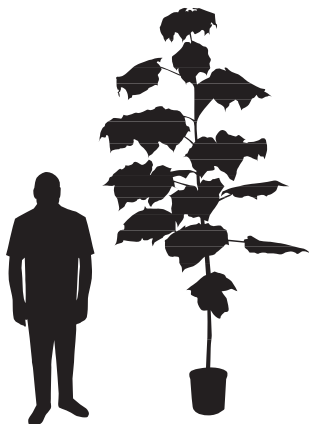
La primera generación de biocombustibles ya está disponible en el mercado (Ragauskas *et al.*, 2006). Actualmente, se producen en el mundo más de 30 millones de toneladas de bioetanol, siendo Brasil y Estados Unidos los principales productores. Se trata de etanol producido por la fermentación alcohólica de las levaduras a partir de azúcares de trigo, uva, remolacha (Unión Europea), grano de maíz (EEUU) o caña de azúcar (Brasil), así como de biodiesel producido a partir de aceite de soja y de grasas animales.

Se está investigando activamente cómo aumentar el rango de materias primas a materiales de partida como la madera de los árboles, los pastos, la paja y otros residuos de las principales cosechas. El principal problema es optimizar la eficacia de la conversión de la lignocelulosa, la materia biológica más abundante en la Tierra en biocombustibles. Los desechos de plantas de cosecha importantes, como la paja de trigo, las mazorcas y partes vegetativas del maíz, las plantas de arroz, las gra-



© Ana Ponce

Planta de *Paulownia* crecida en nuestro invernadero. Altura alcanzada en dos meses y medio (entre el 15 de mayo y el 31 de julio): 3,2 metros. El crecimiento estacional anual antes de la floración se estima en 5 metros. En el laboratorio del Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas se trabaja con el género *Paulownia*, que tiene un gran potencial para la producción de biomasa.



«DEBERÍAMOS DESARROLLAR CULTIVOS ESPECÍFICOS PARA BIOMASA ENERGÉTICA, CAPACES DE CRECER EN TIERRAS MARGINALES»

míneas de pradera o los árboles, son muy ricos en lignocelulosa. Necesitamos disponer de enzimas y/o microbios que mejoren el procesamiento de la lignocelulosa al igual que acelerar los programas de mejora basados en las tecnologías ómicas que nos permitan disponer de materias primas más adecuadas. En 2007, el coste de producción de lignocelulosa en etanol se distribuye en un 70% en el caso del propio proceso y en un 30%, en el de la materia prima. Éstas son cifras inversas a los costes de refinado de petróleo de hoy en día.

En la tabla de la página 205 se muestran algunas empresas de biotecnología con programas de investigación activos en este campo. Se puede observar un predominio estadounidense y la presencia de una actividad incipiente en España.

■ EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ETANOL

Si utilizamos el maíz como materia prima, el proceso de producción es sencillo: se añaden enzimas para convertir el almidón en azúcares; posteriormente, se utilizan levaduras que llevan a cabo la fermentación alcohólica a partir de los azúcares. Si partimos de la lignocelulosa, el proceso se complica, ya que está compuesta de hemicelulosa y de celulosa, polímeros cristalinos de glucosa que dificultan el acceso a su interior de las moléculas del agua y de las enzimas degradantes. La lignina es una macromolécula muy difícil de descomponer y, si partimos de madera, el proceso es aún más complejo, ya que está formada por un 40-50% de celulosa, un 25% de hemicelulosa, otro 25-30% de lignina y el resto son proteínas de pared celular y pectinas. Básicamente, el material se pretrata con ácido o álcali a temperatura alta, lo que destruye la estructura de la lignocelulosa y hace accesible la celulosa al tratamiento enzimático que producirá azúcares fermentables por las levaduras. Queda intacto el residuo de lignina rica en energía, ya que no se puede fermentar. Para hacer el proceso más eficaz es necesario disminuir el coste de las celulasas, conseguir aquellas que trabajen más rápido y/o aislar/diseñar microorganismos capaces de fermentar mejor los productos.

■ DISEÑANDO LA SUPERLEVADURA

La hemicelulosa puede constituir hasta un 50% de la lignocelulosa, dependiendo del tipo de planta. Cuando se degrada la hemicelulosa se liberan pentosas, que son azúca-



res de cinco átomos de carbono. Las levaduras carecen de transportadores específicos para las pentosas, por lo que no las pueden captar y por tanto no son capaces de fermentarlas para producir etanol. Pues bien, se ha modificado genéticamente una levadura para que sea capaz de fermentar glucosa y la pentosa xilosa o *wood sugar*, el principal componente de la hemicelulosa. En la actualidad se está intentando crear un único microorganismo —una levadura—, capaz al mismo tiempo de descomponer la celulosa, fermentar hexosas y pentosas así como producir etanol. Por otra parte, también se han obtenido cepas de *E. coli*, modificadas por ingeniería genética, capaces de convertir hexosas y pentosas en etanol, y otra cepa que es capaz de convertir dichos azúcares en los ácidos orgánicos constituyentes de los plásticos. Otro campo de investigación muy activo es el estudio del metagenoma, o conjunto de genomas, de los microorganismos presentes en el tracto digestivo de las termitas. Estos insectos son capaces de transformar la madera en acetato para nutrirse. A partir de acetato es fácil obtener etanol. Es de esperar que la caracterización de dichos genes y actividades pueda incorporarse al diseño de nuevos microorganismos capaces de descomponer los polímeros complejos de la madera en moléculas sencillas y fermentables, lo que permitiría hacer más eficaz la producción de bioetanol.

■ PRODUCIENDO CELULASAS «IN SITU»

Las celulasas son enzimas clave para la descomposición de la biomasa ya que son capaces de degradar la celulosa. Una forma de optimizar la acción de las celulasas sería producirlas en la propia biomasa de la planta seleccionada como material de partida. Se ha conseguido ya expresar el dominio catalítico, esto es, la parte activa de la 1,4-β-endoglucanasa termoestable de *Acidothermus cellulolyticus* en *Arabidopsis*, tabaco, patata, arroz y maíz, de forma que el enzima se expresa en el apoplasto. El enzima producido en hojas de maíz y arroz supone el 5% de la proteína soluble total y su acumulación junto a las paredes celulares no tiene efectos negativos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sticklen, 2006). Los extractos solubles de estas plantas transgénicas son capaces de convertir en glucosa hasta el 30% de la celulosa de la paja de arroz pretratada con amoníaco para expandir las fibras.

■ REGULANDO LA SÍNTESIS DE LIGNINA

Se ha conseguido reducir el contenido en lignina mediante ingeniería metabólica de los genes que participan en su biosíntesis o en la de los precursores necesarios para su síntesis. La represión del enzima 4-cumarato:coenzima A ligasa en álamos (*Populus tremuloides*) transgénicos

En los estudios con *Paulownia*, el objetivo es obtener árboles totalmente tolerantes a herbicidas y árboles modificados genéticamente en los que el desarrollo floral esté disminuido para que se produzca un incremento de la biomasa disponible.



permite disminuir un 45% el contenido en lignina, disminución que se compensa con un aumento del 15% en celulosa sin cambiar la composición de la lignina que queda. Estos árboles transgénicos no presentan alteraciones de su patrón de crecimiento ni de su fortaleza estructural. Sin embargo, dado el papel protector de la lignina en las interacciones planta patógeno, habría que comprobar, caso por caso, si la modificación del contenido en lignina tiene algún efecto sobre los mecanismos de defensa de las plantas frente a patógenos e insectos. También se ha conseguido disminuir el contenido en lignina de una planta forrajera como la alfalfa mediante la represión del gen que codifica la 4-cumarato 3 hidroxilasa. El resultado es una alfalfa más degradable con la que se está ensayando también la obtención de bioenergía (Sticklen, 2006).

■ ¿SE PODRÁ AUMENTAR LA BIOMASA MEDIANTE INGENIERÍA GENÉTICA?

En la actualidad, se está evaluando la posibilidad de aumentar la biomasa mediante la regulación de los niveles de brasinoesteroides, que son potentes reguladores del desarrollo vegetal. Uno de los objetivos podría ser aumentar los niveles de celulosa en las plantas. Para ello sería necesario conocer en detalle los genes que participan y regulan la actividad de las rutas metabólicas de biosíntesis y de catabolismo de la celulosa. Se están tratando de identificar a nivel molecular dichos genes a partir del análisis



© Ana Ponce

sis transcriptómico mediante micromatrices genéticas. Por otra parte, se ha conseguido aumentar la biomasa en tabaco mediante la expresión del gen *FLC* de *Arabidopsis thaliana*. *FLC* es un represor de la transición floral, por lo que toda la energía que la planta utilizaría para desarrollar flores y frutos se utiliza para el desarrollo vegetativo en dichas plantas transgénicas. También se está evaluando la posibilidad de modificar la expresión de genes clave en el metabolismo del C y del N como la fructosa-1,6-bisfosfatasa. Ensayos en *Arabidopsis thaliana* muestran que la disminución de dicha enzima se refleja en un aumento de los niveles de sacarosa y por tanto en azúcares fermentables.

■ BIOCOMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE

Se han puesto en marcha investigaciones encaminadas a optimizar nuestras capacidades a fin de obtener energía para el transporte a partir de las plantas con el objeto de tratar de paliar, al menos en parte, el cambio climático. Desde este punto de vista, sería absurdo iniciar respuestas tecnológicas basadas en el desarrollo de la genética que supusieran nuevas agresiones al medio o fomentaran

«SERÍA ABSURDO INICIAR RESPUESTAS TECNOLÓGICAS BASADAS EN EL DESARROLLO DE LA GENÉTICA QUE SUPUSIERAN NUEVAS AGRESIONES AL MEDIO»

nuevos desequilibrios como los derivados de una posible disminución de la disponibilidad de alimentos o de la destrucción de selvas tropicales, en el caso en el que se produjera, por ejemplo, un aumento importante de la demanda de materias primas bioenergéticas, como el aceite de palma o de colza. Para calcular los beneficios de los biocombustibles para el medio ambiente habría que tener en cuenta de qué plantas se obtienen, cómo y dónde se cultivan esas plantas y cómo se cosechan, además de evaluar los métodos de extracción del biocombustible y su forma de uso. Por ejemplo, según estimaciones del Worldwatch Institute and Argonne National Laboratory, en el caso del etanol producido a partir de grano de maíz se calcula que los efectos de su uso sobre la disminución de gases de invernadero son sólo de un 12% mientras que si el etanol se obtiene de celulosa o de caña de azúcar las disminuciones son entre el 85-90%, como sucede también con la obtención de biodiesel a partir de aceites de cocina desechados. La disminución de gases con efecto invernadero, cuando se utiliza biodiesel producido a partir de soja y colza, es superior al 50%. Quedan por delante muchos desarrollos científicos y técnicos para que podamos afirmar que dispondremos de una herramienta adicional que

nos permita alcanzar un mundo más sostenible desde el punto de vista de la obtención y del uso de energía. Mientras tanto, teniendo en cuenta los intereses económicos de países como EEUU que podrían ejercer un efecto dominó sobre otras economías desarrolladas y la experiencia anterior con los cultivos transgénicos para la alimentación, podemos afirmar que la polémica está servida. ☺

BIBLIOGRAFÍA

- BELTRÁN, J. P., 2005. «La ingeniería genética de las plantas cultivadas, clave para mejorar la nutrición y la salud humanas». *Anal. Real. Acad. Nac. Farm.*, 71: 587-608.
- DÍAZ DE LA GARZA, R. *et al.*, 2007. «Folate biofortification of tomato fruit». *PNAS (USA)*, 104: 4218-4222.
- GÓMEZ, M. D., CAÑAS, L. A., MADUEÑO, F. y J. P. BELTRÁN, 2000. *Patent: Sequence regulating the another-specific expression of a gene and its use in the production of androsterile plants and hybrid seeds*. PCT/ESO1/00127
- LOVELOCK, J., 2006. *The Revenge of Gaia*. Penguin Books Ltd. Londres.
- MORGANTE, M. y F. SALAMINI, 2003. «From plant genomics to breeding practice». *Curr. Op. Biotechnol.*, 14: 214-219.
- RAGAUSKAS, A. J. *et al.*, (2006). «The path forward for biofuels and biomaterials». *Science*, 311: 484-489.
- STICKLEN, M., 2006. «Plant genetic engineering to improve biomass characteristics for biofuels». *Curr. Op. Biotechnol.*, 17: 315-319.
- ZIKA, E. *et al.*, 2007. *Consequences, opportunities and challenges of modern Biotechnology for Europe*. Joint Research Centre. EUR 22728 EN.

José Pío Beltrán. Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas. Universidad Politécnica de Valencia - CSIC.

