

PLANTES PER A MENJAR, PLANTES PER A CREMAR...

UNA QÜESTIÓ DE DISSENY GENÈTIC?

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.

Ja no hi ha dubtes. Ens enfrontem a un canvi climàtic associat a l'escalfament global, produït per l'augment de les concentracions atmosfèriques de diòxid de carboni (CO₂) i de metà derivat d'activitats d'origen antròpic. Aquest augment és fonamentalment degut a l'ús i abús dels combustibles fòssils. Cal afegir que el balanç de CO₂ a l'atmosfera depèn de la diferència entre l'aportació, bàsicament el que s'allibera quan consumim carbó, gas o petroli, i el que s'elimina mitjançant la fotosíntesi de les plantes terrestres i de les algues dels oceans. En les pròximes dècades, la concentració de CO₂ atmosfèrica arribarà a les 500 ppm, alhora que l'escalfament de l'aigua marina farà que es redueixi el creixement de les algues, de manera que la Terra perdreu capacitat d'eliminació de CO₂. La disminució de la biomassa de les algues provocarà un efecte de retroalimentació del fenomen de l'escalfament global.

Mantenir la civilització assolida en el primer món i que la resta dels països pugui arribar a nivells de desenvolupament sem-

blants és insostenible des del punt de vista energètic i ambiental. Com a alternatives a l'ús de combustibles fòssils es parla avui d'afavorir l'ús d'energies renovables com la dels biocombustibles, l'energia eòlica, l'aprofitament de marees, l'energia solar, l'energia geotèrmica, l'hidrogen, les piles de combustible i l'energia nuclear, aquesta última com a única alternativa real d'acord amb l'anàlisi de James Lovelock, el creador del concepte de Gaia (Lovelock, 2006).

■ ELS BIOCOMBUSTIBLES

Si alhora que reduïm l'ús de combustibles fòssils aprofitem la biomassa de les plantes per obtenir energia o per transformar-la en combustibles com el bioetanol o el biodièsel, ens trobaríem, a priori, amb l'avantatge que el CO₂ que s'allibera en cremar biocombustibles ha estat retirat recentment per fotosíntesi de l'atmosfera, enfront del CO₂ que està segregat des de fa milions

«MANTENIR LA CIVILITZACIÓ ASSOLIDADA EN EL PRIMER MÓN I QUE LA RESTA DELS PAÏSOS PUGA ARRIBAR A NIVELLS DE DESENVOLUPAMENT SEMBLANTS ÉS INSOSTENIBLE DES DEL PUNT DE VISTA ENERGÈTIC I AMBIENTAL»

A l'esquerra, Manuel Baixauli. *El canvi és l'única cosa immutable* (Schopenhauer), 2007. Aquarel·la i llapis sobre paper, 24,7 x 34,5 cm.



Espècies vegetals objecte d'estudi per a la producció de biocombustibles (d'esquerra a dreta i de dalt a sota): *Jatropha podagrica*, fruits de *Jatropha curcas*, *Jatropha curcas*, fruits de *Pongamia pinnata*, *Panicum virgatum* i *Miscanthus x giganteus*. Per continents, l'estudi per a la producció de biocombustibles se centra en *Jatropha* i *Pongamia* a Àsia, *Panicum virgatum* als EUA i *Miscanthus x giganteus* a la Unió Europea.

d'anys i que s'afegeix a l'atmosfera de manera neta quan cremem combustibles fòssils. No obstant això, perquè el càlcul del balanç del CO₂ siga correcte cal tenir en compte també el que s'allibera a l'ambient com a conseqüència de pràctiques agronòmiques –l'ús de fertilitzants de síntesi i el consum energètic, per exemple– necessàries perquè les plantes de conreu de les quals s'obtenen els biocombustibles cresquen.

Amb l'estat actual del coneixement, els biocombustibles no són una solució global. Per obtenir l'energia necessària per als vehicles (cotxes, autobusos, trens, vaixells, avions...) el 2007 necessitaríem cremar entre dos i tres mil milions de tones de carboni. Si tenim en compte que les plantes que conreem per a alimentació sumen només cinc-cents milions de tones de carboni i només alimenten uns 5.000 milions de persones mentre que uns altres 800 estan malnodrits o pateixen fam, es dedueix que mitjançant l'ús dels

biocombustibles i només per a cobrir la despesa energètica del transport necessitaríem la superfície d'uns quants planetes Terra. Com que els països rics són excedentaris en la producció d'aliments, podrien caure en

la temptació de derivar part dels seus conreus a l'obtenció de bioenergia, cosa que ja està passant als EUA, el major consumidor i importador de combustibles fòssils, que necessita disminuir la seua dependència del petroli. D'altra banda, la superfície destinada avui a l'agricultura i l'ús d'altres recursos com l'aigua fa que siga imprudent intentar dedicar una major part d'aquests recursos a la producció de conreus. A més, també podria

succeir que, sense augmentar la superfície total dedicada a conreus, aquests canvien d'ús: de plantes destinades en primer terme a l'alimentació a plantes per a cremar. Això podria disminuir la disponibilitat d'aliments i augmentar-ne el preu, com ja s'ha observat amb la dacsca a Mèxic.

**«USANT BIOCOMBUSTIBLES,
NECESSARIEM
LA SUPERFÍCIE D'UNS
QUANTS PLANETES TERRA
NOMÉS PER A COBRIR
LA DESPESA ENERGÈTICA
DEL TRANSPORT»**

Empresa	Objectius
Agrivida (EUA)	Modificació genètica de dacsa perquè expresse enzims per a produir etanol en postcollita.
Calantia Biotech (Espanya)	Obtenció de plantes de melca i bràssiques amb paret cel·lular modificada aptes per al cultiu en terres marginals.
Celunol (EUA)	Producció d'etanol a partir de cel·lulosa mitjançant <i>E. coli</i> modificat.
Ceres (EUA)	Producció de <i>Panicum virgatum</i> com a font de cel·lulosa.
Direvo (Alemanya)	Millora de la producció d'etanol a partir de lignocel·lulosa.
Diversa (EUA)	Enzims a partir de tèrmits per a la fermentació de biomassa.
	Enzims per a produir biodièsel.
Edenspace Systems (EUA)	Desenvolupament de plantes de dacsa, <i>P. virgatum</i> com a font de cel·lulosa per a produir etanol.
GreenFuel Tech (EUA)	Bioreactors per a la conversió d'algues.
logen (Canadà)	Conversió de biomassa en etanol derivat de cel·lulosa.
Linnaeus Plant Sci. (Canadà)	Modificació genètica de plantes per produir olis per a biodièsel.
Monsanto (EUA)	Detecció de germoplasma de dacsa i soja per produir etanol i biodièsel.
Novozymes (Dinamarca)	Producció d'enzims per reduir la viscositat de la pasta de biomassa.
Swe Tree (Suècia)	Programa de genòmica funcional en àlber i disseny de fongs per produir etanol a partir de deixalles agrícoles i forestals.
Syngenta (EU)	Obtenció de dacsa que expressa nivells alts d'amilasa T.
TMO Biotech (Gran Bretanya)	Microorganismes altres que els llevats capaços de produir etanol i usar sucres C5 i C6.

Empreses de biotecnologia amb programes en biocombustibles.

■ LA GENÈTICA I ELS BIOCOMBUSTIBLES

La contribució de la genètica a la producció d'aliments ha estat, i continua sent, un factor determinant per a l'aspiració d'alimentar tota la població mundial de manera sostenible. No obstant això, encara som lluny d'assolir aquesta aspiració que podem denominar primària a pesar dels grans avenços tecnològics com ara el desenvolupament de les tècniques de transformació genètica, la generació de potents eines de genètica reversa com les de TILLING, RNA d'interferència, l'ús d'elements transponibles o la mutagènesi amb T-DNA, la irrupció dels abordatges òmics –genòmica encaminada al mapatge i identificació molecular de QTL (*Quantitative Trait Loci*), proteòmica, metabolòmica– en la millora genètica (Morgante i Salamini, 2003), l'anàlisi de metagenomes i la producció de conreus transgènics mitjançant tècniques d'enginyeria genètica. Els conreus transgènics de primera generació van incorporar tolerància a herbicides i resistències a insectes, qualitats que permetien incrementar els rendiments de collites de plantes millorades per genètica clàssica; els de segona generació han aportat la modificació, mitjançant enginyeria metabòlica, de la capacitat de les plantes de produir substàncies importants per a la salut humana com la generació/riquesa de provitamina A en l'arròs daurat o, més recentment, l'àcid fòlic que biofortifica les tomaques (Díaz de Garza *et al.*, 2007). La tercera generació de transgènics consisteix en un conjunt de plantes de conreu capaç de produir fàrmacs com l'hormona del creixement o insulina humanes, les

vacunes contra el virus de l'hepatitis B o les immunoglobulines, entre molts més. És en aquesta mena d'estratègies on s'emmarca la millora genètica de plantes assistida per tècniques tradicionals o d'enginyeria genètica amb l'objecte de disposar de plantes més aptes per a la producció de biocombustibles (Beltrán, 2005). Sens dubte, es tracta d'un camp amb gran repercussió social i que serà objecte de grans polèmiques (Zika *et al.*, 2007).

■ LA BIOMASSA VEGETAL COM A FONT D'ENERGIA

L'ús de biomassa de plantes de conreu, sobretot de les parts comestibles com el gra en la dacsa, per a produir biocombustibles pot competir amb l'alimentació animal i humana igual com perjudicar les característiques dels sòls agrícoles en eliminar els residus vegetals. Si volem evitar-ho, hauríem de desenvolupar conreus específics per a biomassa energètica, capaços de créixer en terres marginals.

La recerca de noves espècies és molt activa en països on les dificultats per a alimentar la població són patents i on no es poden permetre el luxe de canviar menjar per combustible. Actualment s'assaja en països asiàtics la producció d'olis no comestibles a partir de *Jatropha*, *Pongamia*, *Neem*, *Kusum* i *Pilu*. La *Jatropha* i la *Posemeua* creixen en àrees amb escassa pluviositat i també en sòls de baixa qualitat o en terrenys erms. S'estableixen amb facilitat, són de creixement ràpid i compatibles amb la ramaderia remugant. Les llavors contenen entre un 25% i un 40% d'olis que, una vegada esterificats, es po-

den mesclar fins en una proporció del 20% amb dièsel. La resta de la llavor constitueix un adob orgànic. Una espècie nord-americana amb gran potencial és *Panicum virgatum*, que és una planta perenne de praderia que es pot conrear en sòls que no deixen créixer plantes de conreu; evita l'erosió i posseeix un sistema radicular profund que aporta matèria orgànica al sòl. La diana de millora genètica consisteix a augmentar la productivitat des de l'actual de 10 tones per hectàrea al doble.

També als EUA, Isaac Berzin, responsable de GreenFuel Technologies Corp., assaja l'obtenció de bioetanol i biodièsel a partir de conreus d'algues –organismes unicel·lulars que es divideixen cada poques hores i creixen utilitzant CO₂ atmosfèric com a font de carboni–. L'eficàcia dels assajos pilot és tal que s'obté fins a quaranta vegades la quantitat de bioetanol que es podria obtenir a partir del gra de dacs conreada en la mateixa superfície. A Europa es treballa amb el gènere *Miscanthus* i en especial amb el gegant *Miscanthus x giganteus*, que és un híbrid que assoleix els quatre metres d'altura, de creixement ràpid i que produeix tanta biomassa que es pot usar tant per a la crema directa a fi de produir calor i moure turbines com per mesclar-lo 1:1 amb carbó o per produir bioetanol.

En el nostre laboratori treballem amb el gènere *Paulownia*, del qual hi ha diverses espècies llenyoses de creixement ràpid, com *Paulownia fortuneii* i *Paulownia elongata*, que tenen gran potencial per a la producció de la biomassa que ajuda a obtenir *pellets* per a combustió. Aquests arbres són, ara com ara, objecte d'explotació silvícola a Austràlia i Xina. Les *Paulownia* creixen uns quants metres per any, arriben a fer altures d'uns 30 metres i troncs d'un metre de diàmetre. Aquests arbres tenen, a més, valor ornamental i produeixen flors molt mel·líferes amb les quals es fan bons paravents; són resistent a patògens i a condicions moderades d'aridesa i de sequera; les fulles es poden usar en alimentació animal; i poden utilitzar aigües depurades o residuals. Al País Valencià, als Serrans, es poden observar plantacions de dos anys sobre sòls pobres amb arbres de cinc metres d'altura. Els nostres objectius de millora per a l'espècie *Paulownia* consisteixen a obtenir arbres tolerants a herbicides que eviten la competència de les males herbes en els primers anys de cultiu i arbres modificats genèticament en què el desenvolupament floral estiga disminuït o impedit, a fi que tota l'energia fotosintètica es dirigeixca al creixement vegetatiu i, per tant, a un increment de la biomassa disponible. Les estratègies utilitzades són d'enginyeria genètica i es basen en desenvolupaments biotecnològics del nostre laboratori (Gómez *et al.*, 2000).

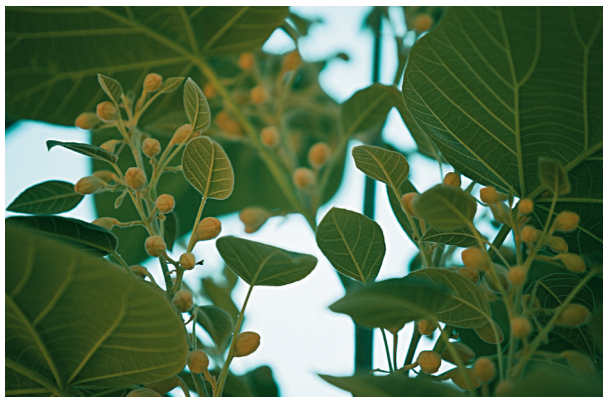


© Ana Ponce

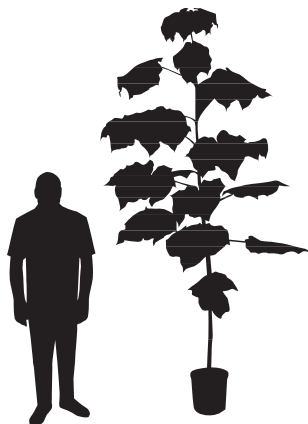
■ BIOCOMBUSTIBLES: BIOETANOL I BIODIÈSEL

La primera generació de biocombustibles ja està disponible en el mercat (Ragauskas *et al*, 2006). Actualment, cada any es produeixen al món més de 30 milions de tones de bioetanol, la major part de les quals a Brasil i els Estats Units. Es tracta d'etanol produït per la fermentació alcohòlica de llevats a partir de sucres de blat, raïm, remolatxa (Unió Europea), gra de dacs (EUA) o canya de sucre (Brasil), com també de biodièsel produït a partir d'oli de soja i greixos animals.

A hores d'ara s'investiga activament com augmentar el rang de matèries primeres a materials de partida en casos com la fusta dels arbres, les pastures, la palla i altres residus de les principals collites. El principal problema és optimitzar l'eficàcia de la conversió de la lignocel·lulosa, la matèria biològica més abundant a la Terra, en biocombustibles. Les deixalles de plantes de conreu importants, com la palla de blat, les pantes i parts vegetatives de la dacs, les plantes d'arròs, les gramínies de praderia o els arbres són molt rics en lig-



Planta de *Paulownia* crescuda en el nostre hivernacle. Altura assolida en dos mesos i mig (entre el 15 de maig al 31 de juliol): 3,2 metres. El creixement estacional anual abans de la floració s'estima en 5 metres. Al laboratori de l'Institut de Biologia Molecular i Cel·lular de Plantes treballem amb el gènere *Paulownia*, que té un gran potencial per a la producció de la biomassa.



«HAURIEM DE DESENVOLUPAR CONREUS ESPECÍFICS PER A BIOMASSA ENERGÈTICA, CAPAÇOS DE CRÉIXER EN TERRES MARGINALS»

nocel·lulosa. Necessitem disposar d'enzims i/o microbis que milloren el processament de la lignocel·lulosa i també accelerar els programes de millora basats en les tecnologies òmiques (ionòmica, genòmica, proteòmica,...) que ens permeten disposar de matèries primeres més adequades. El 2007, el cost de producció de lignocel·lulosa en etanol

es distribueix en un 70% en el cas del mateix procés i en un 30% en el de la matèria primera. Aquestes són xifres inverses als costos de refinació de petroli d'avui dia.

A la taula de la pàgina anterior es mostren algunes empreses de biotecnologia amb programes d'investigació actius en aquest camp. S'hi pot observar un predomini nord-americà i la presència d'una activitat incipient a Espanya.

■ EL PROCÉS DE CONVERSIÓ DE BIOMASSA A ETANOL

Si utilitzem la dacs com a matèria primera, el procés de producció és senzill: s'hi afegeixen enzims per convertir el midó en sucres; posteriorment, s'utilitzen llevats que duen a terme la fermentació alcohòlica a partir dels sucres. Si partim de la lignocel·lulosa, el procés es complica, ja que es compon d'hemicel·lulosa i de cel·lulosa, polímers cristal·lins de glucosa que dificulten l'accés al seu interior de les molècules de l'aigua i dels enzims degradants. La lignina és una macromolècula molt difícil de descompondre i, si partim de la fusta, el procés és encara més complex, ja que està formada per un 40-50% de cel·lulosa, un 25% d'hemicel·lulosa, un altre 25-30% de lignina i la resta són proteïnes de paret cel·lular i pectines. Bàsicament, el material es pretracta amb àcid o àlcali a temperatura alta, procediment que destrueix l'estructura de la lignocel·lulosa i fa accessible la cel·lulosa al tractament enzimàtic que produirà sucres fermentables pels llevats. Queda intacte el residu de lignina rica en energia, ja que no es pot fermentar. Per a fer el procés més eficaç és necessari disminuir el cost de les cel·lulases, aconseguir aquelles que treballen més ràpidament i/o aïllar/dissenyar microorganismes capaços de fermentar millor els productes.

■ DISSENYANT EL SUPERLLEVAT

L'hemicel·lulosa pot constituir fins a un 50% de la lignocel·lulosa, depenent del tipus de planta. Quan es degrada l'hemicel·lulosa s'alliberen pentoses, que són sucres de cinc àtoms de carboni. Els llevats no tenen transportadors

específics per a les pentoses, per la qual cosa no les poden captar i per tant no són capaços de fermentar-les per produir etanol. Doncs bé, s'ha modificat genèticament un llevat perquè siga capaç de fermentar glucosa i la pentosa xilosa o *wood sugar*, el principal component de l'hemicel·lulosa. En l'actualitat s'intenta crear un únic microorganisme —un llevat—, capaç al mateix temps de descompondre la cel·lulosa, fermentar hexoses i pentoses i produir etanol. D'altra banda, també s'han obtingut soques d'*E. coli*, modificades per enginyeria genètica, capaces de convertir hexoses i pentoses en etanol, i una altra soca que és capaç de convertir els dits sucres en els àcids orgànics constituents dels plàstics. Un altre camp d'investigació molt actiu és l'estudi del metagenoma, o conjunt de genomes, dels microorganismes presents en el tracte digestiu dels tèrmits. Aquests insectes són capaços de transformar la fusta en l'acetat del qual es nodreixen. A partir d'acetat és fàcil obtenir etanol. Es pot esperar que la caracterització d'aquests gens i activitats pugui incorporar-se al disseny de nous microorganismes capaços de descompondre els polímers complexos de la fusta en molècules senzilles i fermentables, la qual cosa permetria fer més eficaç la producció de bioetanol.

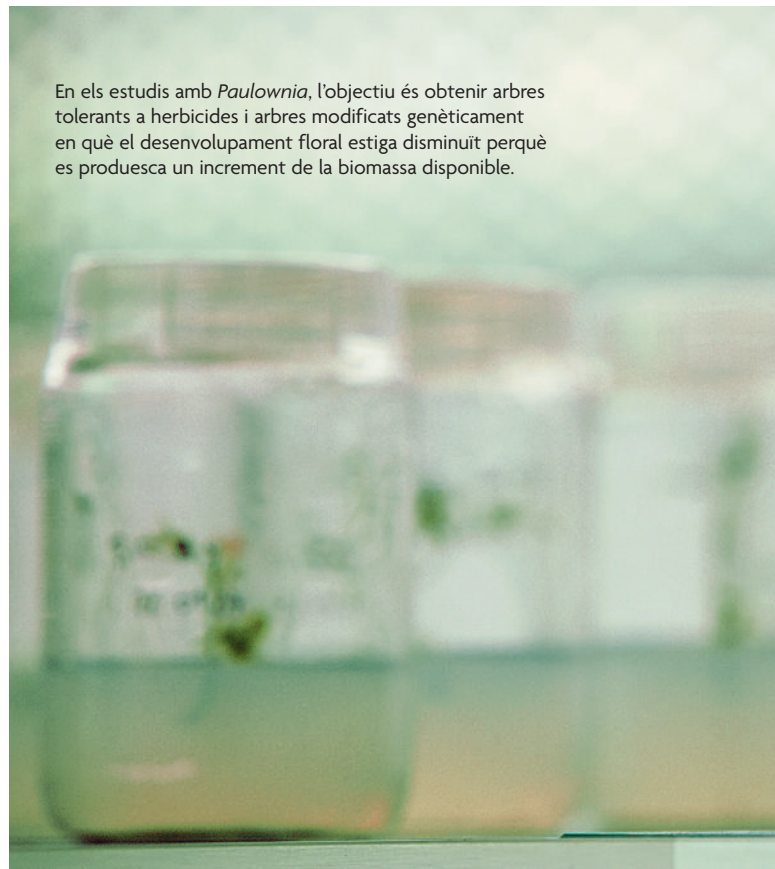
■ PRODUINT CEL·LULASES «IN SITU»

Les cel·lulases són enzims clau per descompondre la biomassa, ja que són capaces de degradar la cel·lulosa. Una forma d'optimitzar l'acció de les cel·lulases seria produir-les en la mateixa biomassa de la planta seleccionada com a material de partida. S'ha aconseguit ja expressar el domini catalític, és a dir, la part activa de l'1,4-β-endoglucanasa termoestable d'*Acidothermus cellulolyticus* en *Arabidopsis*, tabac, patata, arròs i dacsa, de manera que l'enzim s'expressa en l'apoplast. L'enzim produït en fulles de dacsa i arròs representa el 5% de la proteïna soluble total i la seua acumulació en les parets cel·lulars no té efectes negatius sobre el creixement i desenvolupament de les plantes (Sticklen, 2006). Els extractes solubles d'aquestes plantes transgèniques són capaços de convertir en glucosa fins al 30% de la cel·lulosa de la palla d'arròs pretractada amb amoníac per expandir les fibres.

■ REGULANT LA SÍNTESE DE LIGNINA

S'ha aconseguit reduir el contingut en lignina mitjançant enginyeria metabòlica dels gens que participen en la biosíntesi d'aquest polímer o en la dels precursors necessaris per a sintetitzar-lo. La repressió de l'enzim 4-cumara: coenzima A ligasa en àlbers (*Populus tremuloides*) transgènics permet disminuir un 45% el contingut en lignina, disminució que es compensa amb un augment del

En els estudis amb *Paulownia*, l'objectiu és obtenir arbres tolerants a herbicides i arbres modificats genèticament en què el desenvolupament floral estiga disminuït perquè es produeisca un increment de la biomassa disponible.



15% en cel·lulosa sense canviar la composició de la lignina que queda. Aquests arbres transgènics no presenten alteracions del patró de creixement ni de fortaleza estructural. No obstant això, donat el paper protector de la lignina en les interaccions planta-patogen, caldria comprovar, cas per cas, si la modificació del contingut en lignina té algun efecte sobre els mecanismes de defensa de les plantes enfront de patògens i insectes. També s'ha aconseguit disminuir el contingut en lignina d'una planta farraçera com l'alfals mitjançant la repressió del gen que codifica la 4-cumarat 3 hidroxilasa. El resultat és un alfals més degradable amb el qual s'està assajant també l'obtenció de bioenergia (Sticklen, 2006).

■ ES PODRÀ AUGMENTAR LA BIOMASSA MITJANÇANT ENGINYERIA GENÈTICA?

En l'actualitat, s'avalua la possibilitat d'augmentar la biomassa mitjançant la regulació dels nivells de brassinosteroides, que són potents reguladors del desenvolupament vegetal. Un dels objectius podria ser augmentar els nivells de cel·lulosa a les plantes. Per a això seria necessari conèixer en detall els gens que participen i regulen l'activitat de les rutes metabòliques de biosíntesi i de catabolisme de la cel·lulosa. S'estan tractant d'identificar a nivell molecular aquests gens a partir de l'anàlisi trans-



© Ana Ponce

criptòmica mitjançant micromatrius genètiques. D'altra banda, s'ha aconseguit augmentar la biomassa en tabac mitjançant l'expressió del gen *FLC* d'*Arabidopsis thaliana*. *FLC* és un repressor de la transició floral, per la qual cosa tota l'energia que la planta utilitzaria per desenvolupar flors i fruits s'utilitza per al desenvolupament vegetatiu en les esmentades plantes transgèniques. També s'avalua la possibilitat de modificar l'expressió de gens clau en el metabolisme del C i del N com la fructosa-1,6-bisfosfatasa. Assajos en *Arabidopsis thaliana* mostren que la disminució d'aquest enzim es reflecteix en un augment dels nivells de sacarosa i per tant en sucres fermentables.

■ BIOCOMBUSTIBLES I MEDI AMBIENT

S'han posat en marxa investigacions encaminades a optimitzar les nostres capacitats a fi d'obtenir energia per al transport a partir de les plantes amb l'objecte de tractar de pal·liar, almenys en part, el canvi climàtic. Des d'aquest punt de vista, seria absurd iniciar respostes tecnològiques basades en el desenvolupament de la genètica

que suposaren noves agressions al medi o fomentaren nous desequilibris com els derivats d'una possible disminució de la disponibilitat d'aliments o de la destrucció de selves tropicals, en el cas en què es produïra, per exemple, un augment important de la demanda de matèries primeres bioenergètiques, com l'oli de palma o de colza. Per calcular els beneficis dels biocombustibles per al medi ambient caldria tenir en compte de quines plantes s'obtenen, com i on es conreen aquestes plantes i com es cullen, a més d'avaluar els mètodes d'extracció del biocombustible i la forma d'ús. Per exemple, segons estimacions del Worldwatch Institute and Argonne National Laboratory, en el cas de l'etanol produït a partir de gra de dacsca es calcula que usar-lo només disminueix els gasos d'hivernacle un 12%, mentre que si l'etanol s'obté de cel·lulosa o de canya de sucre les disminucions assoleixen entre el 85-90%, com succeeix també amb l'obtenció de biodièsel a partir d'olis de cuina usats. La disminució de gasos amb efecte hivernacle, quan s'utilitza biodièsel produït a partir de soja i colza, és superior al 50%. Queden per davant molts desenvolupaments científics i tècnics perquè puguem afirmar que disposarem d'una eina addicional que ens permeta aconseguir un món més sostenible des del punt de vista de l'obtenció i de l'ús d'energia. Mentrestant, tenint en compte els interessos

econòmics de països com ara els EUA que podrien exercir un efecte dòmino sobre altres economies desenvolupades i l'experiència anterior amb els conreus transgènics per a l'alimentació, podem afirmar que la polèmica està servida. ☺

«SERIA ABSURD INICIAR RESPOSTES TECNOLÒGIQUES BASEDES EN EL DESENVOLUPAMENT DE LA GENÈTICA QUE REPRESENTAREN NOVES AGRESSIONS AL MEDI»

BIBLIOGRAFIA

- 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. i 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. i 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. Institut de Biologia Molecular i Cel·lular de Plantes. Universitat Politècnica de València - CSIC.

