

PLANTES BIOTECNOLÒGIQUES: DEL TAULELL DEL LABORATORI AL PRESTATGE DEL SUPERMERCAT¹

JACK Q. WILKINSON

Científic de recerca a Calgene Inc.,
1920 5th St., Davis, CA 95616.

A VUI dia, els agricultors dels EUA cultiven i venen els primers productes d'enginyeria genètica per aconseguir tolerància als herbicides, resistència als insectes i altres trets desitjables.

L'impacte de l'enginyeria genètica aplicada a les plantes, una tecnologia que va sorgir a començaments dels anys vuitanta, es comença a notar arreu del món a la dècada dels noranta. La primera onada de productes vegetals modificats arriben als consumidors a través dels supermercats (figura 1) i n'han de venir molts més.

Actualment, hi ha la possibilitat de transformar o d'inserir un DNA nou a les cèl·lules vegetals de molts cultius, inclòs el blat de moro, el blat, la soia, el cotó i l'arròs. Els productes inicials d'aquesta tecnologia comprenen plantes amb una resistència potenciada als insectes i una millor tolerància als herbicides. Els objectius futurs consisteixen a augmentar el rendiment de les collites, a millorar-ne la qualitat nutritiva i a produir especialitats d'olis, glúcids i proteïnes. La major part dels pro-

1. Traducció autoritzada de l'article «Biotech Plants: from Lab Bench to Supermarket Shelf» de la revista *Food Technology*.
Text traduït de l'anglès per Laura Paredes.

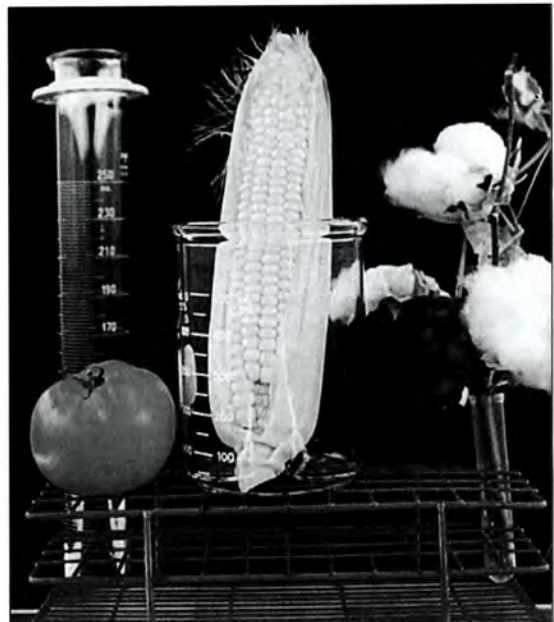


Figura 1. El tomàquet, el blat de moro i el cotó són algunes de les plantes que es milloren mitjançant l'ús de l'enginyeria genètica. Fotografia, cortesia de Calgene Inc.

ductes que els consumidors trobaran primer no seran elements amb un preu especial sinó aliments amb farina, oli o altres ingredients obtinguts en conreus modificats genèticament com a component bàsic.

DESENVOLUPAMENT DE LA BIOTECNOLOGIA APLICADA A LES PLANTES

L'enginyeria genètica de les plantes es va iniciar l'any 1983, quan els investigadors van informar que el plasmidi Ti d'*Agrobacterium tumefaciens*, un bacteri freqüent a la terra, podia modificar-se per permetre la transferència de DNA exterior al genoma de la planta (Fraley *et al.*, 1983; Zambryski *et al.*, 1983). A més, es va demostrar que el marcador de la resistència als antibiòtics podia utilitzar-se per a la selecció de cèl·lules transformades que s'acabarien regenerant en plantes normals i fèrtils (Fraley *et al.*, 1983; Herrera-Estrella *et al.*, 1983, i Bevan *et al.*, 1983).

La producció de plantes modificades genèticament va esdevenir de seguida una eina important per a la recerca científica i posteriorment es van desenvolupar mètodes de transformació d'una àmplia gamma de conreus (Klein *et al.*, 1987; Umbeck *et al.*, 1987; Hinchey *et al.*, 1988; Toriyama *et al.*, 1988; Gordon-Kamm *et al.*, 1990, i Vasil *et al.*, 1992). Després, es van produir moltes innovacions tecnològiques als laboratoris, entre les quals figuren la resistència per mitjà de l'enginyeria als virus de les plantes, la resistència als insectes basada en les proteïnes de *Bacillus thuringiensis* (*B. t.*), la tolerància a diversos herbicides, el control de la maduració del fruit del tomàquet, l'esterilitat i restauració masculina per mitjà de l'enginyeria, la modificació de la composició glucídica i l'alteració de la composició oliosa (Leemans, 1993). Avui dia, s'han desenvolupat varietats de plantes d'elit a partir de tots aquests descobriments al laboratori. Els organismes reguladors les han aprovades i es preparen o es cultiven per a la venda comercial.

PROCÉS REGULADOR ALS EUA

El ministeri d'Agricultura dels EUA (USDA), l'Administració d'Aliments i Fàrmacs

(FDA), l'Organisme de Protecció Mediambiental (EPA) i la majoria de governs estatals dels EUA controlen de molt a la vora el desenvolupament i la comprovació de les plantes i dels productes que se'n deriven modificats genèticament. Els objectius finals de tots aquests organismes són garantir la innocuïtat de qualsevol producte que s'utilitzi o consumeixi i controlar i protegir el medi ambient.

- **USDA.** S'ha d'obtenir l'aprovació específica del Servei d'Inspecció Sanitari d'Animals i Plantes (APHIS) de l'USDA per introduir qualsevol possible plaga de les plantes als Estats Units o per incorporar o fer una comprovació de camp de qualsevol conreu d'enginyeria al medi ambient i per introduir o per efectuar la comprovació de camp d'una planta d'enginyeria que ha estat catalogada com a no regulada per aquest organisme. A més, s'ha de presentar una sol·licitud per a la «Determinació d'estatus de no regulat» per al conreu modificat genèticament abans no es cultivi sense condicions especials ni es vengui comercialment.

A partir de les revisions científiques exhaustives i de la història sense danys dels assaigs de camp als EUA, el 1993 l'APHIS va introduir dos procediments alternatius per accelerar i simplificar els procediments reguladors. El Procés de notificació permet la introducció i la comprovació de camp de sis conreus (blat de moro, soia, cotó, patata, tomàquet i tabac) mitjançant un procediment general de notificació en lloc d'un permís concret de l'APHIS. El Procés de sol·licitud permet a qualsevol persona demanar una determinació escrita de l'APHIS perquè una planta regulada deixi de ser-ho.

Després de revisar la informació científica aportada, l'opinió d'un expert i l'opinió pública, l'APHIS pot aprovar o denegar aquesta petició. La comprovació de camp exhaustiva ha de demostrar que les plantes modificades genèticament no disposen de més qualitats «tipus plaga» que les no modificades de les quals es deriven, i moltes varietats d'enginyeria han estat catalogades com a no regulades (taula 1). A més, l'APHIS considera el possible impacte mediambiental de la incorporació general de les plantes.

- **FDA.** Aquest organisme té autoritat per regular la introducció d'aliments i additius nous i responsabilitza els productors de la innocuïtat i la salutabilitat dels aliments que aporten al mercat. Una comunicació de

l'FDA de l'any 1992 indica que els aliments obtinguts a partir de noves varietats de plantes produïdes mitjançant enginyeria genètica estaran regulats bàsicament de la mateixa manera que els aliments originats pels mitjans convencionals, si no és que hi intervenen circumstàncies especials. Els productors que desenvolupin aquestes varietats hauran de consultar l'FDA per tal de comentar-ne l'avaluació d'innocuitat i els resultats sense importància.

Els productes que necessitaran l'avaluació d'innocuitat de l'FDA comprenen els derivats d'elements genètics inestables o no caracteritzats, els que contenen concentracions d'agents tòxics coneguts molt més elevades que les que es troben de manera natural a les varietats comestibles d'aquestes espècies, els que disposen de concentracions de nutrients molt modificades, els que tenen una composició molt diferent de les substàncies que es solen trobar als aliments, els que

TAULA 1
Comercialització de conreus modificats genèticament als EUA: trets, productors i dates de la desregulació de l'USDA, de la conclusió de la consulta a l'FDA i del registre de plaguicida de plantes de l'EPA

Tret	Conreu	Empresa/Institució	Desregulació USDA	Data Consulta FDA	Registre EPA	
Qualitat de la fruita	Tomàquet	Calgene (Flavr Savr™)	10/92	1994 ^a	n/a ^c	
	Tomàquet	DNAP (Endless Summer™)	1/95	1994	n/a	
	Tomàquet	Zeneca/Peto Seeds	6/95	1994	n/a	
	Tomàquet	Monsanto	9/95	1994	n/a	
	Tomàquet	Agritope	3/96	1996	n/a	
Olis especials	Colza ^d	Calgene (Laurical®)	10/94	1995	n/a	
	Soia ^d	Dupont (Optimum® High Oleic)	5/97	1997	n/a	
Tolerància als herbicides	Cotó ^d	Calgene (BXN®; Rhône Poulenc)	2/94	1994	n/a ^d	
	Soia ^d	Monsanto (Round-Up® Ready)	5/94	1994	n/a ^d	
	Blat de moro ^e	AgrEvo (Liberty Link™)	6/95	1995	n/a ^d	
	Cotó ^d	Monsanto (Round-Up Ready)	7/95	1995	n/a ^d	
	Blat de moro	DeKalb	12/95	1996	n/a ^d	
	(+ Mascle estèril)	Cotó	Dupont	1/96	1996	n/a ^d
	(+ Mascle estèril)	Blat de moro	Plant Genetic Systems	2/96	1996	n/a ^d
		Soia	AgrEvo	7/96	i/n ^e	n/a ^d
	(+ Resistència als insectes)	Cotó	Calgene	4/97	1997	1997
	(+ Resistència als insectes)	Blat de moro	Monsanto	5/97	1996	i/n ^e
Resistència als virus	Carbassa ^a	Asgrow (Freedom II™)	12/94	1994	1994 ^f	
	Carbassa	Asgrow	6/96	i/n ^e	i/n ^e	
	Papaia	Cornell U./U. de Hawaii	9/96	i/n ^e	1997 ^f	
Resistència als insectes	Patata ^a	Monsanto (NewLeaf®)	3/95	1994	1995	
	Blat de moro ^a	Ciba (Maximizer™)				
		Mycogen (NatureGard™)	5/95	1995	1995	
	Cotó ^a	Monsanto (Bollgard®)	6/95	1995	1995	
	Blat de moro ^a	Monsanto (YieldGard®)	8/95	1996	1996	
	Blat de moro ^a	Northrup King (YieldGard)	1/96	1996	1996	
	Patata ^a	Monsanto (NewLeaf)	5/96	1996	1996	
	Blat de moro	DeKalb	3/97	1997	i/n ^e	

^a Venut comercialment

^b Data de conclusió de la revisió de l'FDA i opinió assessora

^c n/a = no aplicable

^d El registre de l'herbicida per a l'ús en un conreu específic és un procés independent del registre del plaguicida de la planta

^e i/n = informació no disponible en el moment de redactar aquest escrit

^f Exempció de la tolerància; no cal registre

contenen proteïnes al·lergògenes o nous marcadors de resistència als antibiòtics, o els que disposen de canvis importants dels nutrients o dels agents tòxics en comparació amb els aliments d'animals no modificats.

Per als additius, només cal que aconseguixin l'aprovació de l'FDA els conreus d'enginyeria genètica que contenen substàncies molt diferents de les que ja són presents a la dieta dels consumidors. Avui dia, l'FDA no exigeix que els productes d'enginyeria genètica indiquin que ho són a l'etiqueta. Després de les revisions meticuloses i de les anàlisis de composició i de les dades d'innocuitat dutes a terme, l'FDA no ha trobat cap informació que permeti de distingir entre els aliments d'enginyeria genètica i els desenvolupats per altres mètodes de cultiu.

- **EPA.** Aquest organisme regula els plaguicides, indica toleràncies i estableix exempcions per als residus dels plaguicides als conreus d'aliments. Les exposicions del medi ambient a les substàncies plaguicides produïdes a les plantes modificades genèticament estan regulades per garantir que no tinguin efectes adversos sobre el medi ambient ni sobre organismes beneficiosos per als quals no estan destinades. Els plaguicides que necessiten la revisió de l'EPA comprenen els no derivats de cap font alimentària coneguda o els que disposen d'una estructura, funció o composició diferent de la ja present als aliments. L'organisme té en compte la innocuitat de l'ingredient actiu i emet una tolerància o una exempció de tolerància per a l'aliment, alhora que el registra. Les plantes d'enginyeria que contenen determinats tipus d'activitat plaguicida poden rebre exempcions dels requisits de registre de l'EPA.

- **Estats i particulars.** Cada estat pot controlar també el desenvolupament dels productes d'enginyeria genètica i participar en alguns processos d'avaluació de la innocuitat. El públic general, segons la Llei de Llibertat d'informació pot accedir a les sol·licituds d'autorització de l'APHIS, revisar els documents de decisió de l'organisme i participar en períodes d'opinió pública.

ASSAIGS DE CAMP I FENOTIPS

L'APHIS proporciona informació actualitzada al públic tant de les comprovacions de

camp com de la comercialització de les noves varietats de conreu agrícola. A les estadístiques, s'observa que als EUA el terreny destinat a comprovació de camp gairebé es dobla cada any. El mes de juny de 1997, l'APHIS va aprovar o acusar la recepció de 3.070 assaigs de camp en 13.139 emplaçaments. S'han comprovat 48 espècies diferents de plantes, amb un marge ampli de modificacions que es poden agrupar dins les set grans categories que es mostren a la figura 2.

La força amb més impuls darrere la biotecnologia aplicada a les plantes, com resulta evident a la figura 2 i a la taula 1, ha estat el sector agroquímic, motivat per l'interès de millorar el rendiment agronòmic dels conreus. L'enginyeria genètica proporciona eines importants a l'agricultor per controlar les plagues i millorar el rendiment.

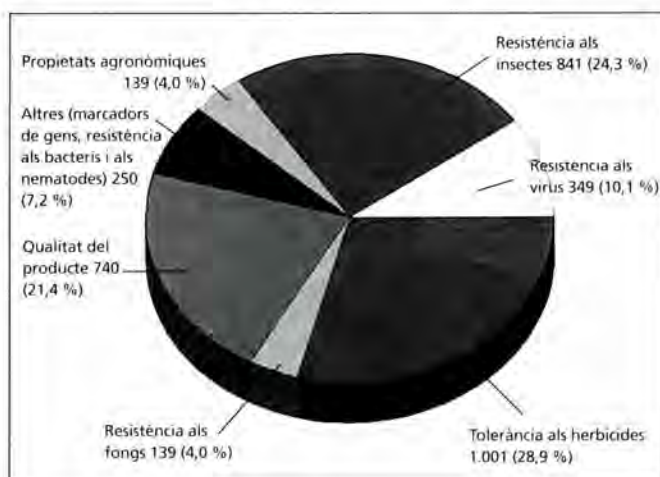


Figura 2. Categories més freqüents d'incorporació de plantes modificades genèticament des de 1987 fins al 30 de juny de 1997, segons les autoritzacions de l'USDA i l'acusament de recepció de la notificació.

Al voltant d'una tercera part dels productes que els organismes reguladors han aprovat o revisat per a la venda comercial està relacionada amb la tolerància als herbicides. La tolerància natural, o *in planta*, a un espectre ampli d'herbicides permet una major flexibilitat en l'aplicació d'aquests productes i pot reduir o eliminar la necessitat de tractaments del terreny.

L'altra tercera part està relacionada amb la resistència als insectes basada en *B. t.* La manifestació del gen de *B. t.* a les plantes els aporta protecció contra els insectes que normalment se n'alimenten (Vaeck *et al.*, 1987). El desenvolupament de la protecció *in planta* del blat de moro i del cotó és important, atès que el 90 % dels plaguicides estan destinats a les plagues d'aquests dos conreus.

Ambdues estratègies biotecnològiques impliquen avantatges per a l'agricultor i el consumidor en reduir la quantitat total de tractaments químics necessaris per controlar les males herbes i els insectes. L'augment del rendiment i la superior qualitat dels productes es pot obtenir també com a resultat d'una menor pressió de les males herbes i menys danys dels insectes i dels plaguicides.

PRODUCTES COMERCIALIZATS

A continuació s'indiquen alguns exemples de productes d'enginyeria genètica que s'han comercialitzat:

- **Tomàquet Flavr Savr™.** El desenvolupament del tomàquet Flavr Savr per part de Davis, de Calgene Inc., a Califòrnia, ha estat pioner en la introducció i l'aprovació d'un aliment obtingut a partir de plantes modificades genèticament. Amb la reducció de la manifestació de la poligalacturonasa (PG), un enzim que degrada la paret cel·lular, es demora l'estovament del tomàquet i s'aconsegueix que s'estigui més temps a la tomaquera per adquirir un sabor més intens. A les anàlisis nutritives, bioquímiques, genètiques i moleculars, i a les comprovacions de camp exhaustives per als trets horticultors i el risc de plagues, les plantes de Calgene modificades genèticament van equivaler força als tomàquets no modificats per mitjà de l'enginyeria. S'han publicat els detalls de la revisió exhaustiva de l'FDA i de l'USDA (Redenbaugh *et al.*, 1995).

La comercialització d'aquest producte ha estat difícil. Els trets moleculars que confereix la tecnologia (el fruit ferm i la resistència a determinats patògens) afecten algunes varietats de tomàquet més que altres (Kramer *et al.*, 1992). L'element clau de l'atractiu comercial (sabor més gran per mitjà de la maduració a la tomaquera) està determinat en gran part pel germoplasma o per les varietats on s'ha introduït el tret. S'han de desenvolupar diverses varietats per a les diferents regions de conreu del tomàquet. Els sistemes de producció existents (pensats per a un fruit dur i verd que es podia recollir mecànicament i aplicar-li gas etilè per fer-lo madurar) produeixen danys inacceptables al fruit madur.

Per controlar amb cura el creixement, la collita, l'envasat i la venda d'aquests tomà-

quets madurats a la tomaquera, Calgene va construir el seu propi negoci integrat verticalment. A més, aquests últims anys, la indústria del tomàquet s'ha vist afectada per la introducció de les varietats israelianes, d'elevat rendiment i llarga vida, i també per un gran canvi de la producció cap a Mèxic. Tots aquests factors han contribuït a la davallada econòmica d'aquesta iniciativa comercial i fan que el futur dels tomàquets Flavr Savr sigui incert.

- **Oli de colza Laurical®.** El primer oli vegetal modificat genèticament es va vendre comercialment als EUA l'any 1995. Laurical és el primer d'una sèrie de productes que Calgen desenvolupa i que impliquen la modificació de la llargària de la cadena d'àcids grassos, la insaturació o l'estructura triglicèrida per mitjà de l'enginyeria genètica. El laurat (àcid gras C 12:0) constitueix una matèria primera fonamental per a la producció de sabons, detergents i productes oleoquímics industrials, i també té diverses aplicacions al sector alimentari. Les llavors de colza solen contenir més d'un 40 % d'oli però no laurat. Les varietats de Calgene es van modificar mitjançant enginyeria genètica per manifestar a les llavors un nou enzim tioesterasa, pertanyent al llorer de Califòrnia (Voelker *et al.*, 1992). L'oli resultant d'aquestes llavors disposa d'un 38 % de laurat com a mínim, i per tant, constitueix una varietat de colza nova i de gran qualitat.

Falta veure l'èxit comercial del producte, que quedarà influït pels avenços futurs quant a la manipulació de l'oli, els costos de producció, l'àmbit de les aplicacions i el preu i la disponibilitat dels olis làurics obtinguts de les fonts existents. L'USDA ha concedit l'aprovació al producte i ja s'ha conclòs la consulta a l'FDA.

L'any 1995, l'empresa va vendre 450.000 kg d'aquest producte i, el 1996, 2.250.000 kg. El 1997 l'extensió de conreu ha augmentat fins a una producció comercial prevista de 18.000.000 kg.

L'oli processat, que compta amb una composició de triglicèrid estructurat, disposa de propietats interessants per a les aplicacions alimentàries i se n'estan explorant les possibilitats (Kridl i Shwemaker, 1996; Del Vecchio, 1996).

- **Carbassa Freedom II™.** Una de les primeres aparicions en l'àmbit dels aliments modificats genèticament va ser la varietat de carbassa resistent als virus. Asgrow Seed Co., de

Kalamazoo, a Michigan, va desenvolupar el producte, anomenat Freedom II. Aquest híbrid de carbassa, groga i recargolada, s'ha produït per resistir dues malalties víriques molt perjudicials provocades pel virus del mosaic del carbassó (ZYMV) i pel virus II del mosaic de la síndria (WMVII) (Meeusen, 1996).

Malgrat l'ús d'insecticides per controlar els vectors vírics, els cultivadors de carbassa dels EUA solen perdre entre un 20 % i un 80 % de la collita a causa de la malaltia originada per quatre virus principals: el ZYMV, el WMVII, el virus del mosaic del cogombre i el virus de la tinya de la papaia. Hi ha al·lells de resistència natural, però es fa difícil introduir-los en un sol híbrid per aconseguir una protecció total. A més, les varietats modificades genèticament semblen gaudir d'una millor protecció als virus que la que proporcionen els al·lells de resistència naturals.

Avui dia, Asgrow desenvolupa varietats futures que protegiran les plantes d'aquests quatre virus principals. És molt probable que els cultivadors d'aquestes noves varietats redueixin força l'ús d'insecticides i, per tant, produeixin un producte més innocu i més rendible. Les avaluacions de l'USDA, l'FDA i l'EPA van concloure l'any 1994 i les vendes comercials es van iniciar el 1995. L'estratègia de comercialització escollida per a la introducció de la carbassa Freedom II ha estat descrita com a «defensiva» (Meeusen, 1996). Atès que Asgrow ostenta actualment una posició dominant en el mercat, petit però inestable, de la carbassa groga recargolada, s'espera que les noves varietats de preu elevat mantinguin la quota de mercat i els ingressos de l'empresa amb un menor augment de l'extensió de cultiu.

- **Cotó Bollgard®.** La venda comercial del cotó Bollgard (figura 3) que efectua Monsanto Co., St. Louis, a Missouri, representa una de les primeres d'un nombre creixent de varietats de plantes modificades genèticament que es desenvolupen amb tecnologia de resistència als insectes a partir de *B. t.*

La manifestació d'un gen de *B. t.* a les plantes origina la producció d'una proteïna que resulta tòxica per a les plagues d'insectes. Existeix una enorme varietat de gens de *B. t.*, cadascuna amb un espectre diferent d'activitat inhibidora enfront de diversos insectes com ara el cuc rosat del cotó i altres erugues però sense efectes nocius sobre els humans, els animals, els ocells ni els insectes beneficiosos com les abelles.

Els agricultors que cultiven plantes protegides amb *B. t.* redueixen considerablement la quantitat de productes químics necessaris per controlar les plagues principals d'insectes i gaudeixen de rendiments superiors com a resultat de menors danys causats pels insectes i per l'aplicació de plaguicides. Segons l'empresa, l'any 1996 els agricultors dels EUA van tenir una millora mitja del rendiment d'un 7 % amb les noves varietats i es van estalviar uns 13 dòlars per hectàrea amb un augment del rendiment i una reducció dels costos de control d'insectes.



Figura 3. Cotó Bollgard protegit enfront dels insectes (esquerra) comparat amb el cotó tradicional no tractat. Fotografies de les fig. 3 i 4, cortesia de Monsanto Co.

L'avaluació i les proves científiques exhaustives del nou cotó n'han suposat l'aprovació de l'USDA, l'FDA i l'EPA. Ara, s'han establert estratègies per tal d'estudiar la possibilitat que els insectes desenvolupin resistència a la proteïna de *B. t.* específica que s'utilitza. El 1997, als EUA es plantarà cotó a dos de cada 3 milions d'acres i està en tràmit l'aprovació de la regulació per plantar i vendre a altres països.

- **Soia Round-Up Ready®.** El primer producte de soia modificat genèticament que va arribar al mercat va ser la soia Round-Up Ready de Monsanto (figura 4). La manifestació a les plantes de l'enzim bacterià insensible a l'ingredient actiu glifosat confereix tolerància a l'herbicida Round-Up®. El tret de tolerància permet als agricultors aplicar un ampli espectre d'herbicides al conreu de soia en un extens camp d'aplicació. El control de moltes males herbes difícils, juntament amb la biodegradabilitat ràpida del Round-Up fa que la combinació de la planta amb l'herbicida sigui atractiva per

als cultivadors de soia. Segons l'empresa, els costos actuals del control de les males herbes de la soia es reduiria a un terç com a mínim si es fa servir l'herbicide Round-Up i la soia Round-Up Ready.

El 1994 es va obtenir l'aprovació de l'USDA i l'FDA per a sis noves varietats de soia i el 1995 es va rebre el registre de l'EPA per a l'utilització del Round-Up amb aquesta planta. Es va demostrar «l'equivalència notable» entre la soia d'enginyeria genètica i les varietats no produïdes mitjançant enginyeria, i es va considerar que les concentracions de la proteïna introduïda a l'oli processat i al menjar eren insignificants. El 1996, als EUA es van plantar totes les llavors disponibles en mig milió d'hectàrees i es preveu que el 1997 es plantaran entre 3 i 4 milions d'hectàrees amb soia Round-Up Ready.



Figura 4. Soia Round-Up Ready, resistent als herbicides, a l'interior de la tavella.

A alguns països, la venda de productes derivats d'aquestes noves varietats s'ha vist obstaculitzada per les peticions dels grups de consumidors perquè s'etiquetin tots els aliments que contenen la soia modificada genèticament (Robinson, 1997). Els organismes governamentals d'aquests països hauran de desenvolupar polítiques acceptables per a la majoria dels consumidors sense obstaculitzar la producció i el comerç dels productes i aliments modificats genèticament. La logística i l'economia de preservar la identitat d'un ingredient alimentari, des dels camps fins a les plantes de procés i fins a totes les aplicacions alimentàries posteriors, presentarà el principal repte per a qualsevol sistema de producció alimentari.

• **Blat de moro Maximizer™ i NatureGard™.** La venda comercial de blat de moro modificat genèticament es va iniciar el 1996

amb la introducció de varietats resistents als insectes de Ciba-Geigy, Research Triangle Park, a Carolina del Nord, i de Mycogen, a San Diego, Califòrnia. Gràcies a les activitats molt eficaces i específiques de les proteïnes de *B. t.* contra diversos insectes, Ciba i Mycogen han desenvolupat un blat de moro (Maximizer i NatureGard, respectivament) resistent a l'arna del blat de moro, insecte molt destructiu (Koziel *et al.*, 1993). Si no es fa res, cada arna pot ocasionar per tal d'alimentar-se una pèrdua del rendiment d'entre el 3 % i el 7 % per planta. El control químic es fa difícil a causa del temps reduït que l'arna passa als teixits de la planta exposada i al fet que l'insecte té dues o més generacions cada any. La manifestació d'una proteïna insecticida dins els teixits de la planta protegeix el conreu de les dues generacions de l'arna, inclosa la inaccessible químicament, i els llocs preferits d'alimentació, situats a la part profunda de la tija.

L'ús d'aquestes noves varietats hauria de permetre als agricultors reduir la quantitat d'insecticides que apliquen al blat de moro, la qual cosa originaria uns rendiments més elevats per hectàrea com a conseqüència dels menors danys causats pels productes químics i pels insectes (Koziel *et al.*, 1996). Aquesta tecnologia proporciona un tret important: la resistència a l'arna del blat de moro, que no és possible per mitjà del cultiu convencional i que només es pot obtenir a través de moltes aplicacions d'insecticida.

Les avaluacions de l'USDA, l'FDA i l'EPA pel que fa a les noves varietats de blat de moro van finalitzar el 1995. En relació amb aquestes plantes modificades genèticament, alguns països han mostrat preocupació per la presència del marcador de resistència a l'ampicil·lina bacteriana i per la possibilitat de transferir al bacteri la resistència als antibiòtics (Robinson, 1997). L'USDA i el Consell Científic sobre Plaguicides, Aliments d'Animals i Alimentació de la Unió Europea han determinat que els riscos que aquest gen es transfereixi són tan baixos que no cal tenir-los en conta com a causa d'un augment de la resistència als antibiòtics en els humans ni en els animals de granja.

PERSPECTIVES DE FUTUR

Ha arribat l'era dels conreus comercials modificats genèticament. Després d'una

dècada de desenvolupament, els agricultors dels EUA cultiven i venen ara els primers productes originats pels investigadors als laboratoris acadèmics i industrials. Les principals empreses agroquímiques competeixen per ser les primeres a desenvolupar, patentar i vendre els productes fruit de les recerques que duen a terme. Avui dia, els objectius clau són la tolerància als herbicides i la resistència als insectes de diversos conreus, com ara el blat de moro, la soia i el cotó. En un futur pròxim, s'investigarà i desenvoluparà una varietat enorme de productes.

Es considera que les plantes modificades genèticament poden ser bioreactors de baix cost per a la producció de diversos olis, glúcids, proteïnes farmacèutiques i fàrmacs, enzims industrials, plàstics biodegradables i complementos nutritius (Goddijn i Pen, 1995). Es preveu que tant els països industrialitzats com els països en vies de desenvolupament es beneficiaran dels rendiments superiors i del menor ús de plaguicides associat amb les plantes d'enginyeria preparades per resistir les plagues d'insectes, de fongs, de bacteris i de virus. L'abundància, la innocuïtat i el valor nutritiu dels productes alimentaris i dels aliments d'animals milloraran gràcies a les plantes biotecnològiques. Les plantes d'enginyeria serviran també com a vacunes orals per a diversos agents de malalties i com a subministrament per a la síntesi industrial (Mason i Arntzen, 1995; Flavell, 1995).

Es té l'esperança comuna que les solucions ofertes per les plantes biotecnològiques originaran sistemes d'agricultura més sostenibles i una menor dependència als productes petroquímics. Les oportunitats que ofereix aquesta tecnologia tan recent són enormes i les perspectives per a l'agricultura i la salut de les persones, molt interessants. Per aconseguir-ne el màxim profit, caldrà una recerca meticulosa i innovadora, la unificació i la sinergia entre els organismes reguladors arreu del món i avantatges palpables per a l'agricultor i el consumidor. Els productes actuals representen l'inici d'un conducte productiu des del laboratori fins a la comercialització de les plantes biotecnològiques.

OBRES DE REFERÈNCIA

- BEVAN, M. W.; FLAVELL, R. B.; CHILTON, M. D. «A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation». *Natura*, 304 (1993), p. 184-187.
- COLLINS, G. B.; SHEPARD, R. J. «Engineering Plants for Commercial Products and Applications». *Annals New York Acad. of Sciences [Nova York]* 792 (1996).
- DEL VECCHIO, A. J. «High-laureate canola: How Calgene's program began, where it's headed». *Inform* 7, 3 (1996), p. 230-242.
- FLAVELL, R. B. «Plant biotechnology R&D: The next ten years». *Tibtech* 13 (1995), p. 313-319.
- FRALEY, R. T.; ROGERS, S. G.; HORSCH, R. B.; SANDERS, P. R.; FLICK, J. S.; ADAMS, S. P.; BITTNER, M. L.; BRAND, L. A.; FINK, C. L.; FRY, J. S.; GALLUPPI, G. R.; GOLDBERG, S. B.; HOFFMAN, N. L.; WOO, S. C. «Expression of bacterial genes in plant cells». *Proc. Natl. Acda. Sci. USA* 80 (1983), p. 4803-4807.
- GODDIJN, O. J. M.; PEN, J. «Plants as bioreactors». *Biotech* 13 (1995), p. 379-387.
- GORDON-KAMM, W. J.; SPENCER, T. M.; MANGANO, M. L.; ADMAS, R.; DAINES, R. J.; START, G.; O'BRIEN, J. V.; CHAMBERS, S. A.; ADAMS, W. R.; WILLETTS, N. G.; RICE, T. B.; MACKAY, C. J.; FRUEGER, R. W.; KAUSCH, A. P.; LEMAUX, P. G. «Transformation of maize cells and regeneration of fertile transgenic plants». *Plant Cell* 2 (1990), p. 603-618.
- HERRERA-ESTRELLA, L.; DEPICKER, A.; VAN MONTAGU, M.; SCHELL, J. «Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector». *Nature* 303 (1983), p. 209-213.
- HINCHEE, M. A. W.; CONNOR-WARD, D. V.; NEWELL, C. A.; MCDONNELL, R. E.; SATO, S. J.; GASSER, C. S.; FISCHHOFF, D. A.; RE, D. B.; FRALEY, R. T.; HORSCH, R. B. «Production of transgenic soybean plants using *Agrobacterium*-mediated DNA transfer». *BioTechnology* 6 (1988), p. 915-921.
- KLEIN, T. M.; WOLF, E. D.; WU, R.; SANFORD, J. C. «High-velocity microprojectiles for delivering nucleic acids into living cells». *Nature* 327 (1987), p. 70-73.

- KOZIEL, M. G.; BELAND, G. L.; BOWMAN, C.; CAROZZI, N. B.; CRENSHAW, R.; CROSSLAND, L.; DAWSON, J.; DESAI, N.; HILL, M.; KADWELL, S.; LAUNIS, K.; LEWIS, K.; MADDOX, D.; MCPHERSON, K.; MEGHJI, M. R.; MERLIN, E.; RHODES, R.; WARREN, G. W.; WRIGHT, M.; EVOLA, S. V. «Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*». *Bio/Technology* 11 (1993), p. 194-200.
- KOZIEL, M. G.; CAROZZI, N. B.; DESAI, N.; WARREN, G. W.; DWASON, J.; DUNDER, E.; LAUNIS, K.; EVOLA, S. V. «Transgenic maize for the control of European corn borer and other maize insect pests». Collins and Shepherd, cap. 19 (1996), p. 164-171.
- KRAMER, M.; SANDERS, R.; BOLKAN, H.; WATERS, C.; SHEEHY, R. E.; HIATT, W. R. «Postharvest evaluation of transgenic tomatoes with reduced levels of polygalacturonase: Processing, firmness, and disease resistance». *Postharvest Biol. Technol.* 1 (1992), p. 241-255.
- KRIDL, J. C.; SHEWMAKER, C. K. «Food for thought: Improvement of food quality and composition through genetic engineering». Collins and Sheper, cap. 1 (1996), p. 1-12.
- LEEMANS, J. «Ti to tomato, tomato to market». *Bio/Technology* 11 (1993), p.522-26.
- MASON, H. S.; ARNTZEN, C. J. «Transgenic plants as vaccine production systems». *Tibtech* 13 (1995), p. 388-392.
- MEEUSEN, R. L. «Commercialization of transgenic seed products: Two case studies». Collins and Sheperd, cap. 20 (1996), p. 172-176.
- REDENBAUGH, K.; HIATT, W.; MARTINEAU, B.; EMLAY, D. «Determination of the safety of genetically engineered crops». A: *Genetically Modified Foods: Safety Aspects*. Whashington. K. H. Engel, G. R. Takeoka and R. Teranishi, 1995. Cap. 7, p. 72-87 (605).
- ROBINSON, C. «Genetically modified foods and consumer choice». *Trends Food Sci. Technol* 8 (1997), p. 84-88.
- TORIYAMA, K.; ARIMOTO, Y. UCHIMIYA, H.; HINATA, K. «Transgeic rice plants after direct gene transfer into protoplasts». *Bio/Technology* 6 (1988), p. 1072-1074.
- UMBECK, P.; JOHNSON, G.; BARTON, K.; SWAIN, W. «Genetically transformed cotton (*Gossypium hirstum* L.) plants». *Bio/Technology* 5 (1987), p. 263-266.
- VAECK, M.; REYNAERTS, A.; HOFTE, H.; JANSENS, S.; DE BEUCKELEER, M.; DEAN, C.; ZABEAU, M.; VAN MONTAGU, M.; LEEMANS, J. «Transgenic plants protected form insect atack». *Nature* 328 (1987), p. 33-37.
- VASIL, V.; CASTILLO, A. M.; FROMM, M. E.; VASIL, I. K. «Herbicide resistant fertile transgenic wheat plants obtained by microprojectile bombardement of regenerable embryogenic callus». *Bio/Technology* 10 (1992), p. 667-674.
- VOELKER, T. A.; WORRELL, A. C.; ANDERSON, L.; BLEIBAUM, J.; FAN, C.; HAWKINS, D. J.; RADKE, S. E.; DAVIES, H. M. «Fatty acid biosynthesis redirected to medium chains in transgenic oilseed plants». *Science* 257 (1992), p. 72-74.
- ZAMBRISKY, P.; JOOS, H.; GENETELLO, C.; LEEMANS, J.; VAN MONTAGU, M.; SCHELL, J. «Ti plasmid vector for the introduction of DNA into plant cells without alteration of their normal regeneration capacity». *Embo J.* 2 (1983), p. 2143-2150.

Basat en el treball presentat al simposi internacional *From Bench to Commercialization in Plant Biotechnology*, celebrat a la Universitat Nacional Chungbuk, Corea del Sud, el 30 de maig de 1997. Gran part de la informació d'aquest article s'ha extret de les pàgines Web d'Internet de l'USDA, l'FDA i l'EPA (vegeu:

<http://aphisweb.aphis.usda.gov/bbep/>

per aconseguir-ne detalls i enllaços). L'autor vol agrair a Bill Hiatt, Lori Malyj, Anthony Del Vecchio, Vic Knauf, Jean Kridl, Carl Schwedler, Donna Scherer, Deanna Johnson i Molly Cline la col·laboració prestada en la preparació d'aquest text i a Kirsten Kingsland de Monsanto per aportar-ne les fotografies.