

institut

Debat sobre
d'estudis

PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
8 / 2002

les plantes
transgèniques

catalans

**PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
8 / 2002**



Debat sobre

PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
8 / 2002

les plantes
transgèniques

Debat sobre les plantes transgèniques. — (Publicacions de la Presidència ; 8)
ISBN 84-7283-638-X
1. Institut d'Estudis Catalans II. Col·lecció: Publicacions de la Presidència ; 8
1. Plantes transgèniques 2. Aliments — Biotecnologia
575.2.08:17

Disseny gràfic: Enric Satué

© dels autors

© Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: setembre de 2002

Tiratge: 450 exemplars

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Carrer d'Aristides Maillol, 3, 1r. 08028 Barcelona

Imprès a Limpergraf, SL

Polígon industrial Can Salvatella. Carrer de Mogoda, 29-31.
08210 Barberà del Vallès

ISBN: 84-7283-638-X

Dipòsit Legal: B. 37563-2002

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

ÍNDIX

Presentació,
per Manuel Castellet,
president de l'Institut d'Estudis Catalans
7

Mercè Durfort,
presidenta de la
Secció de Ciències Biològiques
9

Pere Puigdomènech,
director de l'Institut de Biologia Molecular de Barcelona
del Consell Superior d'Investigacions Científiques
i president de la Societat Catalana de Biologia
13

Debat
tingut pel Ple de l'Institut d'Estudis Catalans
el dia 15 de maig de 2000
35

5

This One



13XA-56G-3EX5



DEBAT SOBRE
LES PLANTES TRANSGÈNIQUES
PRESENTACIÓ
PER
MANUEL CASTELLET.
PRESIDENT
DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

•

Iniciem aquest Ple de l'Institut, que és un Ple ordinari, però que no segueix la tònica dels plens més ordinaris, que celebrem cada dos mesos, que són plens estrictament limitats als membres de l'Institut i on hi ha tot un procediment, diguem-ne de presentació d'activitats de les seccions, semblança de membres, d'informe del president, de temes de secretaria, etc. etc. Aquest és un Ple de l'estil dels que celebrem dos cops a l'any, un a la tardor i un a la primavera, sobre temes que són susceptibles d'un debat.

El tema d'avui són les plantes transgèniques. Ens en farà una exposició el senyor Pere Puigdomènech, que és el director de l'Institut de Biologia Molecular de Barcelona del Consell Superior d'Investigacions Científiques.

Abans de donar-li la paraula escoltarem la doctora Mercè Durfort, presidenta de la Secció de Ciències Biològiques, que ens ha de dir alguna cosa.

DEBAT SOBRE
LES PLANTES TRANSGÈNIQUES
PER
MERCÈ DURFORT.
PRESIDENTA DE LA SECCIÓ
DE CIÈNCIES BIOLÒGIQUES

D'entrada voldria agrair al senyor Pere Puigdomènech que acceptés l'encàrrec que se li va fer en el seu moment. Moltes gràcies. Haig de dir com a moderadora que hi ha membres de la meua Secció que per llurs temes de recerca estan molt més qualificats que jo per fer aquesta feina, però davant del dilema d'escollir-ne un i no escollir-ne un altre i evitar problemes «diplomàtics» vaig optar per fer-ho jo. Per altra banda, avui probablement sigui la darrera vegada que em dirigeixi al Ple de l'Institut com a presidenta de la Secció de Ciències Biològiques, per tant, és un bon moment per fer una cloenda amb un acte d'aquest tipus.

Tinc un gran interès que aquest acte susciti moltes preguntes, experiències en debats fets en aquesta casa i en altres indrets, però sé que acostumen a fluïxjar una miqueta les intervencions. A fi, doncs, de garantir-hi la participació dels assistents, amb el vistiplau del president de l'Institut, he gosat convidar unes persones altament qualificades per intervenir-hi, a part —òbviamment— dels membres de l'Institut. Si he regraciat el senyor Pere Puigdomènech per acceptar la invitació de fer-nos la ponència, també haig d'agrair molt sincerament l'assistència als senyors Fitó, Tarragó, Romagosa i Vilà-Hors, aquest darrer com a president de la Institució Catalana d'Estudis Agraris. El senyor Tarragó és el director general de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària, institut habitualment conegut amb la sigla IRTA; el senyor Fitó és biòleg i empresari —després us comentaré una qüestió de l'empresa Llavors Fitó, que és un orgull per al nostre país—, i el senyor Romagosa és el director de l'Escola d'Agrònoms de Lleida.

Us faré una presentació molt breu del senyor Pere Puigdomènech. Prèviament, però, vull dir que la casualitat ha fet que avui sigui el dia de sant Isidre Llaureador —crec que si haguéssim volgut trobar una data més adequada per fer un debat sobre plantes no ho hauríem aconseguit— i no sé si el

sant està gaire content que manipulem la natura, però esperem que no s'enfadi.

El senyor Pere Puigdomènech és doctor en física per la Universitat de Montpeller i doctor en ciències biològiques per la Universitat Autònoma de Barcelona. Des de sempre s'ha dedicat a la genètica, concretament a la genètica molecular, i el seu treball s'ha centrat fonamentalment en el blat de moro. Haig de dir que el senyor Pere Puigdomènech i el seu equip són un punt de referència sobre aquesta qüestió. A més de ser un enès en el tema té l'atribut de ser una persona molt ponderada, qualitat aquesta que ha pesat a l'hora de seleccionar-lo per fer la ponència perquè el tema que ens ocupa ha estat tractat molt mediàticament. La societat n'opina de manera molt diversificada, però és un tema sobre el qual els científics tampoc no tenen una unitat de criteri, és a dir, que cada cert temps hi ha tendències de grups de recercadors importants que van en una direcció o en una altra. Jo tinc la garantia gairebé absoluta que la versió que ens donarà el senyor Pere Puigdomènech serà tan objectiva com sigui possible dins de l'objectivitat que es pugui tenir en un tema com aquest.

Per acabar i abans de cedir-li la paraula, vull dir-vos que ara fa justament cinc dies que el senyor Pere Puigdomènech va ser escollit president de la Societat Catalana de Biologia: això és un valor afegit perquè quan se li va cursar la invitació no sospitàvem que arribés —no per manca de mèrits sinó perquè és una persona molt ocupada— a acceptar aquesta presidència. La meva enhorabona i la de la nostra Secció i de l'Institut una vegada més, i ara sí que et cedeixo la paraula.



**DEBAT SOBRE
LES PLANTES TRANSGÈNIQUES**

PER

PERE PUIGDOMÈNECH,

DIRECTOR DE L'INSTITUT

DE BIOLOGIA MOLECULAR DE BARCELONA

DEL CONSELL SUPERIOR

D'INVESTIGACIONS CIENTÍFIQUES

I PRESIDENT DE LA SOCIETAT CATALANA

DE BIOLOGIA

Efectivament, jo crec que aquest és un tema per si mateix interessant per moltes qüestions, però que al mateix temps ens obre un nou tipus de problemàtica a la qual les societats científiques han d'anar-se acostumant i que pot ser un exemple d'un nou tipus de relació que em sembla que s'està establint entre els avenços de la recerca i les seves aplicacions i la reacció que té la societat. En aquesta presentació intentaré, en primer lloc, explicar com em sembla que està el tema, posant-lo en el marc dels projectes Genoma que hi ha en aquests moments en marxa; després, m'agradaria explicar un petit exemple nostre, perquè em sembla que els pot ser interessant considerar un exemple una mica més personal de com analitzem un problema biològic amb les eines de la biologia molecular i per què es fan aquests tipus d'aplicacions, i acabaré fent una descripció del que hi ha avui en dia tant d'aplicacions concretes com del que es preveu en un futur proper. En la discussió suposo que sortiran aquests temes més polèmics de debats que sens dubte són vius i que ben probablement continuaran sent-ho en el futur proper.

Començaré posant el tema en la seva perspectiva científica. Jo diria que hi ha dues raons que hem de tenir en compte a l'hora d'analitzar per què avui en dia ens trobem que al mercat hi ha plantes modificades genèticament amb mètodes moleculars. Aquestes raons es basen en dues grans tradicions, o dos grans interessos científics i d'aplicació: un és l'enorme avenç que hi ha hagut en biologia molecular durant els darrers quaranta o cinquanta anys. Potser aquest avenç enorme i ràpid pot ser la base de les reaccions que s'han provocat. Des dels anys cinquanta sabem que els gens existeixen físicament i que estan escrits en aquesta molècula de la qual en diem ADN o DNA. Des dels anys cinquanta fins als setanta es va avançar moltíssim a saber com s'expressaven els gens, quin és el codi genètic, etc. Però l'any 1970 es va saber aïllar un gen, és a dir, agafar un tros de DNA, posar-lo en un bacteri, amplificar-lo i

gràcies a això, podem analitzar-lo i seqüenciar-lo. Però a més, si volem, podem modificar-lo al laboratori. Des de l'any 1983 un gen que nosaltres hàgim aïllat físicament, o químicament, o biològicament, que hàgim modificat si cal en el laboratori, sabem reintroduir-lo en plantes, i, per tant, la metodologia de la biologia molecular ens permet modificar genèticament una planta mitjançant un DNA que hem aïllat i modificat en el laboratori. Però al mateix temps això s'ajunta amb una enorme tradició de gran importància, que és la millora de plantes, la millora genètica en general, que en el segle XX ha tingut unes aplicacions espectaculars. De fet, nosaltres, des del Neolític, hem anat actuant sobre les espècies cultivades i la societat ha anat evolucionant de manera paral·lela, ha anat dialogant amb les plantes per a la seva evolució, és a dir, si la societat neolítica es forma és perquè neix l'agricultura. Des d'aleshores fins al segle XIX l'agricultura va anar progressant perquè es van anar aplicant millors tècniques agronòmiques, ha anat fent-se l'agronomia, i perquè han anat corrent espècies d'un lloc a l'altre del planeta. En el segle XX apareix la genètica aplicada a les plantes, que aquí anomenem *a millora genètica de plantes*. Aquesta esdevé una metodologia, una ciència d'unes aplicacions absolutament extraordinàries, i ens ha donat unes llavors de què després veurem algun exemple: també han fet que hi hagi un rendiment en l'agricultura que ens permet avui en dia, malgrat l'evolució de la població, com a mínim fins ara, estar millor alimentats, en quantitat i en qualitat. Hem d'anar recordant aquest punt i que aquest fet només és possible perquè hi hagut una millora genètica de plantes, amb unes llavors molt eficients que són el resultat d'una recerca intensíssima, llarga, complexa, que duen a terme laboratoris públics i empreses. Aquest és, per tant, un element essencial de la nostra agricultura eficient d'avui en dia. D'altra banda tenim unes tècniques agronòmiques que ens permeten saber utilitzar les plantes en el camp d'una manera adequada, amb

regadius o amb diferents metodologies agronòmiques que són també cada cop més eficients, i perquè tenim adobs, pesticides, insecticides, herbicides, diferents tipus de productes que utilitzem en el camp. Avui en dia ens plantejem si no n'estem fent un gra massa amb la pressió de tots tipus que posem sobre el medi ambient, però en tot cas hem de recordar que gràcies a aquestes metodologies ens alimentem correctament. Per tant, si nosaltres d'una banda sabem aïllar, analitzar gens, i sabem reintroduir-los i, de l'altra banda hi ha l'interès de la millora genètica, quan s'ajunten aquests dos interessos això ens dóna les plantes transgèniques, és a dir, unes plantes que les modifiquem genèticament amb tota la potència que tenen les tècniques moleculars per resoldre problemes d'interès per a la millora genètica.

Jo voldria començar amb el que preveiem que passarà a partir d'ara, i m'agradaria començar presentant-los una planta que no té cap interès agronòmic, que és l'*Arabidopsis thaliana*. És una petita planta, una crucífera, que és en aquests moments el millor model que tenim nosaltres per estudiar el funcionament de les plantes, i ho és per diverses raons. Essencialment, és una de les plantes que té el genoma més petit conegut. Nosaltres mesurem la longitud del DNA en parells de bases i els genomes, en megabases, és a dir, en milions de parells de bases: l'*Arabidopsis* té al voltant de cent quaranta megabases, per tant, és una planta que té poc DNA en el seu genoma. A més a més té un cicle de vida ràpid, s'hi pot fer genètica molt fàcilment, ja que es transforma, és a dir, podem introduir-li gens d'una manera molt fàcil. Per tot això s'ha convertit en un dels millors models que tenim en plantes, i d'aquí a un parell de mesos coneixerem el genoma complet d'*Arabidopsis*. O com diem sovint, s'acabarà el projecte Genoma d'*Arabidopsis*, amb el qual nosaltres hem estat treballant des que es va iniciar ara ja fa uns sis anys. De fet, curiosament, es preveia que el genoma d'*Arabidopsis* es coneixeria

l'any 2010, després es va avançar al 2003 i, finalment, acabarem el genoma l'any 2000. I és que les coses han anat accelerant-se de manera molt ràpida. Ja s'ha anunciat que s'ha acabat el genoma de l'arròs, malgrat que, de fet, no està complet del tot, però d'aquí a un o dos anys no solament tindrem el genoma d'*Arabidopsis* sinó també coneixerem el genoma de l'arròs. Per què és interessant tenir el genoma d'*Arabidopsis* en el context d'allò que discutim nosaltres avui?

Hi ha moltes raons. Per exemple, hi ha una pàgina web en la qual es pot entrar i es pot veure com en un termòmetre va avançant cada dia el coneixement del genoma d'*Arabidopsis*. Aquest any ja hem publicat el genoma del cromosoma 2 i el cromosoma 4, aquesta és una proporció molt significativa perquè l'*Arabidopsis* té cinc cromosomes només. I això ens dóna una visió de conjunt del genoma d'una planta. A principi de l'any 1998 ja es va publicar una seqüència de dues megabases, cosa que representa un 2 % més o menys del genoma de l'*Arabidopsis*, i ja ens va donar una visió de com els gens estan col·locats sobre el DNA. D'aquests gens, en alguns casos només en predim l'existència i en altres casos ja sabem de la seva existència. Si més no, el que apareix en l'*Arabidopsis* és que els seus gens estan molt atapeïts, i això ja ens dóna algunes sorpreses, cosa que passa bastant sovint amb aquests projectes. Per exemple, acabem de saber que la mosca *Drosophila* té menys gens dels que pensàvem. Havia estat predit que n'hi hauria dinou mil i resulta que n'hi ha catorze mil: a l'*Arabidopsis* ens pensàvem que n'hi hauria dinou mil, i sembla que segurament n'hi haurà vint-i-cinc mil. És possible que el genoma d'*Arabidopsis* a més sigui una duplicació que pot afectar fins a un 80 % del seu genoma. Aquesta és una observació que té interès des d'un punt de vista evolutiu, però el que sí que anem traient dels projectes Genoma és una visió del conjunt dels gens d'una espècie. Si, per exemple, considerem els resultats que sortien de l'anàlisi de les primeres dues me-

gabases en què hi havia uns quatre-cents gens, d'aquests podríem dir en aquell moment, més o menys alguna cosa respecte de la seva funció d'un 40 %. Si fem el mateix amb els dos cromosomes que han estat seqüenciats dos anys després ja podem saber alguna cosa sobre la seva funció d'un 60 %: amb un any ha augmentat en un 20 % el nombre de gens sobre la funció dels quals podem dir alguna cosa. Tot això va extraordinàriament de pressa.

Un altre dels resultats que ens donen els projectes Genoma és la possibilitat de classificar els gens per la seva funció, i això ens permet descobrir coses com, per exemple, que el 14 % dels gens d'*Arabidopsis* són per defensar-se, que és un percentatge bastant gran; i és que les plantes, pràcticament, per dir-ho d'alguna manera, no tenen altra cosa per defensar-se que els seus gens, no poden sortir corrent, ni poden contraatacar. L'únic que poden fer és fer servir els seus gens i, per tant, una gran proporció del seu genoma està dedicat a defensar-se. Poden, per exemple, produir toxines, perquè si algun insecte se les menja es mori, o perquè si algun mamífer se les menja, els faci mal la panxa. Un 22 % dels gens d'*Arabidopsis* estan relacionats amb el metabolisme general de la planta i es comprèn que una gran proporció dels gens, efectivament, serveixen perquè la planta faci les seves funcions metabòliques essencials. Altres coses interessants, per exemple, són que un 15 % dels gens de plantes serveixen per controlar els mateixos gens, és a dir, la maquinària del control de la transcripció dels gens. A més un 8 % també té a veure amb la transducció de senyals, és a dir, els sistemes que permeten que quan una planta s'adona d'algun senyal el faci arribar als seus gens. També es pot veure que una part molt important serveix per a la maquinària cel·lular, com el trànsit intracel·lular, el transport, l'estructura cel·lular, que és molt important en les plantes òbviament, perquè les plantes necessiten fer una estructura absolutament definitiva.

atès que les plantes no modifiquen l'estructura cel·lular durant la seva vida. Després, per produir energia fan servir un 6 %, que no està malament, però és només un 6 %, i per al creixement també només un 6 %. És a dir, d'alguna manera podem començar a tenir una certa visió de conjunt, de per a què serveixen els gens en una espècie. Si considerem els grans grups d'espècies, aquestes funcions van canviant de manera molt significativa. Per tant, comencem a tenir una visió de conjunt dels gens i de les seves funcions.

Més en detall podem veure el que ens diuen els resultats del cromosoma 1, que està format per 18 milions de parells de bases. En aquest cromosoma el 45 % del seu genoma té una informació que després es transcriurà i servirà per a algun tipus de funció. Les zones entre gens només són el 32 % del cromosoma, que és molt poc. Ja veuran de seguida que el que passa amb el blat de moro és totalment diferent, és un altre món. Això fa que, com hem dit, en l'*Arabidopsis*, el DNA que codifica per a proteïnes és del 45 %, que és una proporció enormement important. Pensem que en l'home és al voltant del 5 % o 10 %, vull dir que el genoma de l'*Arabidopsis* és un genoma molt compacte. En aquest cromosoma hi ha unes tres mil proteïnes. També tenim dades d'un altre cromosoma, el cromosoma 4, en el qual podem observar la densitat de gens i que hi ha un forat, el centròmer, que és una estructura que serveix durant la divisió cel·lular. Aquesta seria una visió de conjunt de tot un cromosoma i permet comparar un cromosoma amb un altre. Una altra cosa que també podem veure és un resultat bastant curiós. Ja se sabia que hi ha una gran proporció dels gens que són comuns a totes les espècies conegudes. Ara podem agafar tots els gens d'una planta i veure a quins gens s'assemblen més, comparant-los amb els gens dels genomes coneguts de bacteris de llevat, del cuc *C. elegans* o del genoma humà. És interessant d'observar que hi ha alguns gens, per exemple, els gens del metabolisme d'*Arabidopsis*.

que s'assemblen bastant als dels bacteris, i també als dels mamífers, però quan anem a tipus de gens amb funcions més específiques, ja més típiques d'organismes superiors, per exemple, transducció de senyals o divisió cel·lular, resulta que l'*Arabidopsis*, a aquella espècie a la qual s'assembla més és a l'home, més que al llevat, més que a un cuc, s'assembla sobretot a l'home, i per tant jo diria que hi ha unes grans convergències evolutives i funcionals entre espècies. Ens apareix que l'espècie humana té un percentatge molt important dels seus gens que s'assemblen a una planta, com a mínim el 30 %. I per tant comencem a tenir aquesta visió evolutiva que jo diria que ens obrirà moltes qüestions en el futur proper.

Ara bé, ja hem dit que l'*Arabidopsis* és una excepció en les plantes. L'*Arabidopsis* té un genoma molt petit, i un fenomen que passa en les plantes que no passa en altres sistemes és que hi ha una gran diversitat en els seus genomes, que tenen una complexitat molt variable. Si comparem el contingut de DNA posat en parells de bases, en megabases, des d'*Arabidopsis* fins a una espècie, a una liliàcia, que és la *Fritilaria asiriaca*, veiem que entre *Arabidopsis* i *Fritilaria* hi ha gairebé un factor de 1.000. *Fritilaria* té unes mil vegades més DNA que *Arabidopsis* i no sembla pas que això tingui cap efecte funcional, ni que a la planta li serveixi per a res, ni que li molesti, és a dir, semblaria que la grandària no té cap efecte sobre la funció del genoma. Entre les cent quaranta megabases del genoma d'*Arabidopsis* i les cent deu mil de *Fritilaria* hi ha la majoria de les espècies conegudes. Per exemple, trobem el blat de moro, que té una mica més de dues megabases, mentre que l'espècie humana està entre el blat de moro i el pèsol almenys quant a grandària del seu genoma. Ara, el que sembla —i això hem de confirmar-ho els anys que vénen— és que les espècies vegetals no es diferencien gaire en el nombre de gens, que ara per ara segurament oscil·len al voltant de dinou mil, vint mil i vint-i-cinc mil

gens en totes aquestes espècies. Les diferències entre espècies consisteixen en la separació més gran dels gens entre si. Però podem que no hi ha tampoc una regla que ens relacioni cap característica dels gens amb la grandària dels seus genomes. Per exemple, mes de les espècies que més s'acosten a l'*Arabidopsis* són les que formen el gènere *Prunus* (l'albercoquer, l'ametller o el cirerer). Tots aquests tenen genomes molt petits i són arbres, i fan la fruita i tenen un cicle complex: no és que tenir més genoma vulgui dir que sigui més complicat. No, *Prunus* és un arbre. *Arabidopsis* és una planteta petita i les liliàcies són també unes plantes relativament petites, no hi ha una raó, i s'ha discutit molt des del punt de vista evolutiu. Un altre exemple ens el donen els cítrics, que tenen també genomes relativament petits: el meló, per exemple, que és una espècie amb la qual nosaltres hem començat un projecte conjuntament amb l'IRTA i Llavors Fitó, té també un genoma relativament petit. En canvi, per exemple, agafem els cereals. Hi ha un cereal, que és l'arròs, que s'està convertint en el model d'estudi d'aquestes espècies, que si fa no fa té una mica menys de tres vegades el genoma d'*Arabidopsis* i, en canvi, tenim l'ordi, que té, comparat amb l'arròs, més de deu vegades el seu genoma, i també és un diploide, i segurament, no té massa més gens. Entremig, per exemple, hi ha el sorgo, hi ha el blat de moro, que sembla que sigui com un tetraploide antic. Per tant, les plantes tenen una enorme variabilitat i pel que sembla és que simplement la grandària dels seus gens és producte d'un equilibri al qual ha arribat l'espècie i que li serveix per funcionar correctament amb el genoma que li ha tocat. No sembla que hi hagi unes raons especials per les quals certes espècies tinguin genomes més grans o més petits: simplement, podem comparar els genomes amb una setya en la qual els seus elements, incloent-hi els gens, fan el que poden per sobreviure.

Passem a una espècie, el blat de moro, de la qual justa-

ment la doctora Durfort ens ha dit que nosaltres hi treballem des de fa temps. Considerem unes dades que ens permeten de comparar aquesta espècie amb l'*Arabidopsis*. Hem de tenir en compte que el blat de moro és una de les espècies que l'home ha manipulat més, i això ha fet que en aquests moments en tinguem una variabilitat extraordinària, que en part ha produït o ha conservat l'home. A més és una de les espècies de les quals traiem més rendiment agrícola i que també —després en parlarem— és potser l'espècie essencial per a les grans empreses de llavors (aquesta, però, és una altra qüestió). Si l'*Arabidopsis* té un genoma de l'ordre de cent quaranta megabases, el blat de moro el té més gran de dues mil megabases. Aquest és un gran genoma semblant al de l'espècie humana. Per la importància dels cereals segurament el proper genoma que serà conegut és el de l'arròs: els americans han començat també a ficar-se en el genoma del blat de moro, i jo diria que d'aquí a pocs anys acabarem concixent tots els genomes de les plantes importants. El blat de moro va ser la primera planta de la qual es va fer un mapa: un mapa vol dir relacionar una sèrie de marcadors o una sèrie de gens, que poden ser marcadors fenotípics, com per exemple el gen que dóna un gust ensucrat al gra o que fa que tingui el midó d'un cert tipus, o poden ser marcadors moleculars, que poden ser fragments de DNA que podem utilitzar com a sonda i que podem posar al llarg d'aquest mapa. Construir un mapa així té molt d'interès per a la millora. El que s'ha fet en aquests moments és comparar els mapes genètics molt detallats que s'han obtingut de la major part dels cereals, i s'ha pogut veure que podem posar els cromosomes dels diferents cereals d'una manera ordenada. Quan comparem, per exemple, els diferents mapes: el de l'arròs —ja que és el més petit sempre es pren com a referència—, el del mill, el de la canya de sucre, el del sorgo, el del blat de moro o del blat, queden alineats. És interessant de veure que el blat de moro apareix dos cops. Aquesta dada la

podem relacionar amb el fet que molt sovint en aquesta espècie diferents gens apareixen duplicats. Ha aparegut la teoria que el blat de moro és en realitat el producte de dues espècies antigues que es van ajuntar fa uns onze milions d'anys, una d'elles seria molt semblant al sorgo i una altra espècie que no sabem encara quina és exactament, podria ser la llàgrima de Job. Per tant, podem anar enrere fins a aquest punt del naixement de l'espècie que pensem que va néixer per unió, espontània sens dubte, d'espècies fa uns onze milions d'anys. Després, fa uns deu mil anys, el blat de moro era una planta de la qual en diem el *teosinte*, que és una espècie salvatge que es troba a Mèxic. Per tant, des del Neolític, l'actuació dels maies o, en general, de les tribus d'Amèrica central va aconseguir fer passar del *teosinte* a una planta que ja s'assembla bastant al blat de moro que tenim avui en dia. Però en particular el que hem pogut fer ara, i això em sembla a mi que és interessant de veure-ho, és conèixer què és el que van fer els maies, és a dir, hem pogut comparar, per creuaments entre el blat de moro i el *teosinte*, què diferencia aquesta espècie ancestral de l'actual, i s'ha arribat a la conclusió que entre el *teosinte* i el blat de moro hi ha pocs gens de diferència, uns cinc o sis. Per exemple, un canvia la cobertura de la llavor del blat de moro i permet que comenci a formar-se la panotxa. Una planta de *teosinte* té moltes branques. Es va trobar un altre gen la mutació del qual el que fa és que el blat de moro no tingui branques. Aquests dos gens s'han aïllat, s'han clonat com diem, sabem que són factors de transcripció, és a dir, gens que controlen altres gens. En resum, fent servir les eines de la genètica molecular podem fer la història del blat de moro, primer la història de fa onze milions d'anys, i la història de fa deu mil anys, i podem veure, doncs, com es van unir diferents genomes al principi, i com des del Neolític, els maies van anar mutant quatre o cinc gens per donar el blat de moro actual. I també, per exemple, fa poc temps, l'any passat, es va clonar el gen que

controla l'alçada de la planta en el blat, que és el que va donar lloc a la revolució verda, que va ser tan important a partir dels anys cinquanta.

Però podem també anar dintre del genoma en una espècie com el blat de moro per tractar de saber com és en detall. Ens trobem aleshores amb una visió molt diferent de la que ens dona l'*Arabidopsis*. En el blat de moro, en un tros de quatre quaranta kilobases que han estat analitzats, tenim només dos gens, per tant, segurament el mateix nombre de gens que a l'*Arabidopsis* però molt més separats, i a més a més, en seqüenciar un tros així, ens adonem que entre els gens el que trobem són totes unes seqüències que són elements mòbils, és a dir, elements del genoma que són capaços de reproduir-se a si mateixos, de saltar d'un lloc a l'altre del genoma: per tant, els gens ens apareixen com a petites illes entremig d'aquesta selva, perquè aquests elements sovint estan fideats els uns dintre dels altres, es reproduïxen d'una manera complexa. Podem avaluar quan s'han format aquests elements i sembla per les dades que tenim en aquests moments que tot aquest genoma caòtic s'ha format els últims tres milions d'anys, és a dir, el genoma es va formar, es va duplicar fa onze milions d'anys, ha estat renovat en els últims tres milions d'anys, i en els últims deu mil anys l'home ha anat tocant gen a gen per arribar a l'espècie tal com la tenim avui dia. Podem refer, doncs, tota aquesta història i veiem que el genoma d'una espècie com el blat de moro és un conjunt de gens entremig d'una sèrie d'elements que, a més a més, com ara veurem de seguida, poden fer mutacions, és a dir, poden anul·lar l'expressió de gens. No sabem si també intervenen en l'activació de gens: això és un tema que està obert, és una discussió important perquè hi ha diferents maneres de veure l'evolució dels genomes. Per a altres gens és un món purament caòtic, i els elements mòbils són com virus interns del genoma que sobreviuen en equilibri amb els gens: per a altres, aquests elements tenen funcions evoluti-

ves o funcions de control però això encara no s'ha demostrat, i és un tema en aquests moments en discussió. Però la visió que tenim és aquesta: genomes petits, genomes grans, entremig genomes que s'inflen amb elements que tenen una evolució pròpia dintre dels genomes. Això té importància pel que veurem després i també perquè quan fem una planta transgènica el gen el posem a l'atzar i, per tant, posar-lo a l'atzar vol dir que el ficarem en algun lloc d'aquí, el seu efecte sobre altres gens probablement serà molt petit. El que sí pot ser és que caigui en llocs en els quals el genoma hi tingui efecte, i d'això parlarem després.

Deixin-me ara, molt ràpidament, explicar-los un resultat del nostre laboratori, perquè em sembla que té interès discutir com ho fem per entrar a fons en la comprensió d'aquests fenòmens genètics en una espècie com el blat de moro. És pot començar la història cap a 1921, en què es va descobrir que certes fulles de blat de moro tenen la seva nervadura central de color marró. Aquest és un dels primers caràcters que es van analitzar genèticament, de fet va ser un dels primers gens que mai es van posar en un mapa en tota la història de les plantes. Aquests gens es van batejar com a *brown midrib* (bm) perquè en anglès aquest terme descriu la nervadura de color marró. Quan es va analitzar genèticament aquest fenomen es va trobar que en el blat de moro hi ha quatre gens que donen aquest fenotip i que són en diferents cromosomes. Això podria ser una curiositat genètica si no fos que als anys seixanta es va descobrir que aquesta característica del blat de moro estava associada amb una altra característica de l'espècie que té un interès per a la millora, i és que les varietats que tenen el gen bm són digerides millor pels animals. El blat de moro es fa servir molt en alguns països com a espècie farratgera, i un caràcter important del blat de moro farratger és la digestibilitat. Per dir-ho resumidament, les varietats *brown midrib* tenen una digestibilitat més fàcil.

Aquest fenomen es va analitzar i es va veure que això era així perquè aquestes varietats tenen un dels components principals de la planta, que és la lignina, en una proporció més baixa. La lignina és un polímer essencial de les plantes —per dir-ho d'alguna manera és la fusta— i un dels més importants que hi ha a la naturalesa. El que sabem, doncs, és que aquest gen fa que les plantes tinguin una menor proporció de lignina. El nostre laboratori està interessat en la biosíntesi d'aquest compost per moltes raons. És una ruta biosintètica molt interessant des de molts punts de vista, i nosaltres vam clonar un d'aquests gens que participa en la biosíntesi de la lignina. Perdonin que els presenti una miqueta de biologia molecular, però un és biòleg molecular i no pot resistir presentar resultats de la feina. I unes coses que podem fer nosaltres un cop tenim un gen aïllat, és veure com s'expressa, és a dir, en quina quantitat el seu gen funciona, i ho fem, per exemple, fent servir una tècnica que anomenem *la transferència de RNA*, que ens permet de veure quina quantitat d'un cert RNA missatger hi ha d'un gen determinat. El gen que vam clonar nosaltres és el de la metiltransferasa, que és un enzim de la ruta biosintètica de la lignina. Vam comparar com s'expressava aquest gen en una varietat normal i en tres varietats que tenen tres dels gens que donen fenotip *brown midrib*, i vam veure que dos d'aquests no els fa cap efecte, tenen el mateix nivell d'expressió que la varietat normal; però n'hi ha un, el gen *bm3*, que té un efecte molt notable sobre el gen de la metiltransferasa. D'una banda el seu mRNA és més petit i d'altra banda hi és en unes quantitats molt més baixes. Per tant, vam decidir veure què passava amb aquest gen en aquestes varietats, i en aquests casos el que fem és clonar-lo, és a dir, aïllar el cDNA, que és la còpia del mRNA. Ja hem dit que des dels anys setanta sabem clonar qualsevol fragment de DNA. Quan vam aconseguir seqüenciar el cDNA de la metiltransferasa en una varietat

bm3, vam veure que hi ha havia un canvi molt important. La seqüència de nucleòtids del gen era idèntica a les varietats normals fins a un cert punt. En un punt la seqüència d'aquest gen canvia radicalment, no té res a veure amb el gen normal, és una seqüència nova, el gen és interromput en un moment determinat, canvia completament i apareix un senyal de parada de la proteïna, de manera que es perd una zona important de la proteïna, el seu centre actiu; per tant és una proteïna completament inactiva. Si nosaltres agafem aquest tros del gen d'aquesta varietat bm3 i la comparem amb les seqüències d'un banc de dades, trobem que aquest fragment ja havia estat aïllat i correspon a un retrotransposó, és a dir, a un element d'aquests mòbils que en un moment determinat, cap als anys vint, en el camp de Minnesota, on es va trobar, havia caigut sobre aquest gen, l'havia mutat i havia donat una proteïna no funcional. Per tant, aquest resultat ens permet entendre que un gen que és essencial en la ruta de la lignina va ser mutat amb un element mòbil d'una manera espontània i a partir d'aquest moment la quantitat de lignina d'aquesta varietat és més baixa, i per això és més digerible. També sabem que la mutació d'aquest gen de la biosíntesi de lignina dona color marró perquè la ruta biosintètica de la lignina queda desviada cap a aldehids que produeixen un color marronós allà on aquest gen s'expressa més, per exemple en la nervadura.

Quan sabem o suposem que un gen com el de la metiltransferasa actua en un lloc molt precís com són les cèl·lules que sintetitzen lignina, podem aïllar seqüències que es troben davant del gen i que serveixen per controlar l'expressió del gen. Això ho podem veure, per exemple, fent una planta transgènica. Podem agafar el tros del DNA que està davant del gen, unir-lo, per exemple, a un gen bacterià, que fem servir com a marcador, i malgrat que el gen procedeix del blat de moro, posar-ho al tabac, que és un planta molt fàcil de

transformar. Si fem una planta transgènica amb un gen quimèric construït d'aquesta manera resulta que les cèl·lules que estan produint lignina, les cèl·lules dels vasos que estan lignificant-se en el tabac, mostren una nova activitat que podem veure de color blau, que ens diu que el fragment de DNA del gen del blat de moro dirigeix l'expressió del gen marcador just en les cèl·lules que estan fent lignina. Com que hem agafat aquesta seqüència del blat de moro i hem vist com funciona en el tabac, podem concloure que aquest promotor, és a dir, la seqüència que ens dirigeix el gen de lignina, funciona en espècies bastant allunyades. I ens diu també que podem agafar gens i controlar la seva expressió en els tipus cel·lulars que a nosaltres ens interessa. Aquest és un requeriment important quan fem una planta transgènica.

Com fem una planta transgènica? Si nosaltres podem transformar les plantes amb facilitat és perquè les plantes es poden regenerar a partir de molts tipus de cèl·lules. Aquesta és una experiència molt antiga. Sabem, per exemple, fer esqueixos, o fer cultius cel·lulars que permeten propagar-les d'una manera molt eficient. Això és un dels requeriments essencials de la transformació de les plantes, perquè podem introduir gens en cèl·lules i després, amb tractaments adequats, amb tractaments hormonals, podem regenerar plantes. Com ho fem això? Tenim dues tècniques molt senzilles: una es diu *canó de gens*. El canó de gens és una tècnica que posa el DNA que nosaltres volem introduir en la planta i que hem reconstruït de manera que estigui controlat per les seqüències adequades, sobre petites partícules d'un metall inert, sobretot or en general, que posem en una pantalla que està davant d'un petit cilindre que aguanta la pressió d'un gas inert, en general, heli. La pantalla es trenca en un moment determinat fent que les esferetes surtin a tota velocitat i es converteixen en projectils que travessen les cèl·lules, deixin anar el DNA al seu pas i aquest DNA se'n vagi al nucli, amb la qual cosa s'incor-

pora al genoma d'algunes cèl·lules. Després el que hem de fer és seleccionar aquelles cèl·lules que han estat transformades i d'aquí regenerar plantes. El canó de gens és una tècnica molt senzilla, molt eficient, que té algunes dificultats, per exemple, que és bastant difícil de controlar el nombre de còpies dels gens que s'introdueixen, però és una tècnica molt eficient i que, a més a més, funciona *a priori* en qualsevol espècie. Només cal que sapiguem regenerar la planta, cosa que sabem fer en gairebé totes, però és una tècnica molt senzilla. L'altra tècnica, la preferida en general per fer plantes transgèniques, es basa en les propietats d'un bacteri, l'*Agrobacterium*, que el podríem anomenar un productor natural de transgènics. Es tracta d'un bacteri que infecta les plantes que han estat ferides, amb la qual cosa produeix un creixement indiferenciat de les cèl·lules i en modifica el metabolisme. Això ho fa transferrint en les cèl·lules de la planta un petit DNA que es troba en un cromosoma propi i que funciona dintre de la planta: d'aquest DNA en diem un DNA *plasmídic*. Es tracta d'un DNA que des del punt de vista evolutiu és molt interessant, perquè la major part té gens que funcionen en el bacteri, mentre que un petit tros hi té gens que funcionen en les plantes. Els gens de bacteris mai no funcionen en les plantes i viceversa: per tant, resulta que és un híbrid entre gens de bacteris i gens de plantes. Aleshores aquest bacteri té la propietat de transferir gens a les plantes. El que es va descobrir és que per fer aquesta funció els bacteris només necessiten que hi hagi aquests dos petits trossos de DNA, dits l'extrem dret i l'extrem esquerre: entremig podem posar-li el DNA que vulguem. De fet, òbviament, el que es va fer va ser treure aquests gens que produeixen creixements indiferenciats de les cèl·lules, com si fossin tumors en la planta, els que modifiquen el metabolisme. Avui dia hi ha petits vectors en els quals fàcilment podem incorporar qualsevol gen. Per tant, el que fem nosaltres és treballar en el laboratori incorporant els gens que volem en els DNA

d'*Agrobacterium* i fem que el bacteri transfereixi els seus gens a la planta fent servir els mecanismes ancestrals que estan evolutivament desenvolupats. Quan és possible, es fa servir gairebé sempre l'*Agrobacterium*, perquè en principi el nombre de còpies del gen que s'incorpora efectivament a la planta és baix i, per tant, la transferència es fa de manera molt adequada. Fins no fa gaire no es podien, per exemple, transformar cereals, ara ja podem, amb el bacteri, transformar cereals també, per exemple, arròs o blat de moro i, per tant, sempre que es pot es fa servir l'*Agrobacterium*. Un cop una planta té el gen incorporat es porta a l'hivernacle per escollir aquelles que siguin interessants i eventualment aquella que és interessant s'incorpora en el programa de millora que calgui, perquè cal tenir en compte que la transferència de gens no és res més que una manera de donar una nova variabilitat als programes de millora. Un cop transferit aquest gen en una planta es comporta com un altre gen i segueix les lleis de Mendel com qualsevol altre gen que nosaltres tinguéssim en aquella planta. Si, per exemple, tenim unes plantes amb una resistència a un antibiòtic, podem observar fàcilment que es comporta com un gen dominant: el 75 % de les llavors tenen aquest gen i un 25 % no el tenen. Per què té interès tota aquesta feina? En les aplicacions agronòmiques té interès perquè en un moment determinat es pot posar, per exemple, en una planta de tomàquet, un gen que li permeti resistir un herbicida. Sabem que els herbicides tenen en les plantes una diana, que és una proteïna codificada per un gen que és essencial per al metabolisme general, o del cloroplast. Per tant, si apliquem un herbicida, aquest interfereix en el metabolisme i la planta es mor. Si nosaltres substituïm aquest gen per un gen que no és sensible a aquest herbicida, procedent d'una altra espècie, o bé si nosaltres posem un gen que és capaç de metabolitzar aquest herbicida, la planta esdevé resistent i pot resultar que això sigui interessant per al pagès. Pot passar també que transfor-

mem plantes d'arròs amb un gen de blat de moro que produeix una proteïna que és tòxica per a un dels paràsits de l'arròs. El resultat és que gràcies a aquesta proteïna que ve del blat de moro, d'una espècie molt propera, però que l'arròs no té normalment i que no podem passar per les tècniques normals de la genètica de creuaments, però sí per les tècniques moleculars, podem fer que aquesta planta resisteixi a l'atac d'un insecte, mentre que l'insecte ataca normalment les plantes normals. Per tant, també en una espècie com el blat de moro, per a la qual existeix un insecte, com és el taladre o barriador, que és una plaga important, si hi posem una toxina que fa que aquest insecte no l'ataqui, haurem introduït un caràcter que pot ser interessant des del punt de vista agronòmic. Cal tenir en compte que la millora genètica és una metodologia que ens ha permès fins ara que, malgrat que la població hagi augmentat en els darrers cinquanta anys, la producció d'aliments per habitant hagi augmentat encara més. Això és com a conseqüència de l'augment dels rendiments en molts conreus. L'interès econòmic i social de la millora de plantes és, per tant, molt gran. Simplement, per recordar una dada econòmica, el mercat mundial de llavors és d'uns vint mil milions de dòlars, però a més a més, no és que sigui important com a mercat de llavors, sinó que està sota d'una piràmide essencial, en la qual es basa la producció agrícola i sobre aquesta es basen els productes transformats. Per tant, la indústria de llavors és el punt de partida d'un mercat de gran importància econòmica i social, i per tant, això ha tingut interès per a moltes empreses.

Voldria també presentar-los la dada que demostra el fet que aquestes plantes hagin estat, des del punt de vista de les empreses que les han posat al mercat, un èxit obvi en els últims anys. L'any 1994 la primera planta transgènica que es va posar al mercat va ser un tomàquet la maduració del qual s'ha retardat. Aquesta planta es va conrear sobretot als Es-

tats Units. Però l'any 1998 es van plantar ja més de trenta milions d'hectàrees en el món. L'any 1999 se n'han plantat uns quaranta milions d'hectàrees i l'any 2000 sembla que s'ha mantingut, ja veurem les dades exactes aviat. En tot cas, tant el 1998 com el 1999, que ha pujat fins a quaranta milions d'hectàrees, el que s'ha plantat és soja, essencialment resistent a herbicides: després hi ha el cotó, que ha tingut sobretot una gran aplicació perquè és una de les espècies que necessiten més aplicacions d'insecticides, i, per tant, el que ha tingut més èxit sobretot és el cotó resistent a insectes, o també a insectes i herbicides. S'ha plantat una mica de colza, sobretot al Canadà, i després blat de moro, sobretot les varietats tolerants a insectes. Als Estats Units, aproximadament, entre el 15 % i 20 % del blat de moro cultivat és transgènic, resistent a insectes i una mica també a herbicides. Finalment, a la Xina hi ha hagut una gran aplicació, sobretot ha començat pel tabac: ara s'han posat amb molt d'interès amb l'arròs i han decidit invertir-li de manera molt forta. Alguns preveuen que la Xina serà el primer país del món en l'aplicació d'aquestes metodologies ben aviat. En tot cas, jo diria que una de les dades que cal tenir en compte és aquest element explosiu del conreu, que ha passat de pràcticament no res l'any 1995 a quaranta milions d'hectàrees l'any 1999, i aquesta potser és una de les bases del problema que hi ha hagut.

Deixin-me, simplement, per acabar discutir les coses que estan en marxa en el camp de les plantes modificades genèticament. Es tracta, per exemple, de productes que tenen el seu metabolisme modificat, com poden ser els lípids. Un bon exemple ens el dóna la colza, en la qual ha estat demostrat que es poden obtenir varietats amb una composició molt modificada en els seus lípids. Als Estats Units han estat aprovades varietats de blat de moro, tomàquet, minipebrots dolços, soja, cotó, etc. També hi ha una patata, resistent a

l'escarabat de la patata, o una espècie com el gira-sol, que fins ara ha estat difícil de transformar, però ja s'han aprovat algunes varietats com una que té un alt contingut d'àcid oleic, és a dir, un gira-sol que produeix un oli que s'assembla molt a l'oli d'oliva. Hi ha hagut prediccions que ens diuen que les aplicacions de les plantes modificades genèticament ho seran per a usos no alimentaris com és la producció de fibres o de materials com els combustibles o fins i tot plàstics. Les plantes han estat durant la major part de la història i la prehistòria una font de fibres de vestir o de combustibles com la llenya o el carbó. Ha estat predit que recuperaran aquest lloc gràcies a la seva eficiència en la transformació de l'energia solar i esdevindran la font sostenible d'aquestes matèries primeres. I no hem d'oblidar que molt productes medicinals han estat o estan extrets de plantes. Produir aquestes substàncies de manera més econòmica o fer que les plantes produïxin proteïnes d'interès terapèutic o fins i tot vacunes és una de les direccions en les quals es treballa més intensament.

Es pot parlar de molts exemples més que han sortit a la literatura. Però és clar que, actualment, el fet que s'apliqui un avanç tecnològic no depèn únicament de l'interès d'aquestes aplicacions, sinó que també depèn de la percepció que en tingui la societat. Curiosament, les varietats modificades genèticament segueixen uns passos abans de ser aprovades, que són incomparablement més estrictes que els que es demanen a qualsevol altre producte o flavor. A Europa es va dictar una directiva l'any 1990 i es van començar a fer decisions, per exemple, per posar al mercat alguns organismes modificats genèticament en espècies com el blat de moro, la soja, o el tomàquet, encara que només es planta una certa superfície de blat de moro a Espanya. En tot cas, hi ha hagut un seguit sistemàtic de decisions, que necessiten com a mínim dos tipus de criteris: per assegurar que les plantes que arriben al mercat no tenen efectes sobre la salut i que no tenen

efectes sobre el medi ambient. A més a més aquestes plantes han de passar uns filtres de les llavors que assegurin que tenen algun avantatge per al pagès. La modificació genètica de les plantes és una metodologia que és molt poderosa, i potser per aquesta mateixa raó s'han creat unes regulacions molt estrictes, que a Europa s'estan fent encara més detallades. També a Europa ha estat decidit que qualsevol producte que arriba a l'alimentació estigui etiquetat. Tot això no ha aconseguit, en tot cas, que la percepció de la modificació genètica hagi millorat gaire. Però en aquest punt ja ens allunyem de les qüestions científiques.

**DEBAT SOBRE
LES PLANTES TRANSGÈNIQUES
DEBAT
TINGUT PEL PLE
DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS
EL DIA 15 DE MAIG DE 2000**

FRANCESC GONZÁLEZ-SASTRE: Hi ha dos camps de defensa davant d'una cosa tan poderosa i que s'estén tan ràpidament: per una part el que deïtes de verificar el fet que no són tòxiques per a l'espècie humana, i em resulta més fàcil imaginar els procediments pels quals es pot verificar. L'altra qüestió, però, és saber si altera el medi ambient —no sé com expressar-ho d'una manera significativa— d'una manera similar a com ho fa un cultiu, un camp de blat tradicional. El que passa és que no sé imaginar-me quins són els criteris que s'utilitzen per a aquesta verificació.

PERE PUIGDOMÈNECH: Jo diria que el que s'ha tractat sempre amb les regulacions que hi ha hagut és poder dir: «aquella varietat no introdueix res diferent de les que ja hi ha en aquests moments». Sabem que les varietats que hi ha ara tenen efecte sobre el medi i sobre la salut. És obvi que en general són bones, però també sabem que hi ha espècies que cal tractar molt bé perquè són tòxiques segons com les tractis: el que interessa és que no s'introdueixi res diferent del que hi ha ara, ni pel que fa a toxicitat ni pel que fa a la al·lèrgicitat, que són els dos grans criteris que es fan servir des del punt de vista de la salut. Des del punt de vista del medi ambient, això depèn molt de l'espècie, del lloc i del caràcter, i també el que s'ha dit sempre des de la comunitat científica és que s'ha de tractar cas per cas, espècie per espècie, gen per gen, perquè hi ha espècies, com el blat de moro, que a Europa no pot passar cap gen a una varietat salvatge, sense introduir algun efecte en l'equilibri de les espècies que existeixen. A Europa, per exemple, essencialment es tracta de controlar espècies, com per exemple la colza, que sí que té parents dels quals en diem *males herbes*, o la remolatxa, que també té espècies parents que poden ser males herbes i, per tant, hem d'anar delimitant. El que ha estat proposat és plantejar-se què pot passar en cada cas i cada gen. Per exemple, hi ha

gens que serveixen per a fer híbrids perquè produeixen esterilitat masculina, òbviament aquest caràcter no produeix cap avantatge en un individu, al contrari produeix un gran desavantatge. Ens hem de plantejar d'altra banda, en el cas dels gens de resistència a insectes, o de resistència a herbicides, què és el que pot passar. Cal analitzar el que passa en una espècie, amb uns gens i un lloc donat. Aquest tipus d'anàlisi és el que es fa. A Europa per exemple, si un vol aconseguir diners fàcils només s'ha de plantejar un projecte dels que en diuen *risc assessment* (i els diners són bastant fàcils d'aconseguir). S'han invertit molts diners per intentar de saber, per exemple, amb quina freqüència pot passar un gen d'una varietat cultivada a una varietat salvatge. També, per exemple, hi ha gens que tenen efecte sobre insectes. A Europa hi ha molts països que protegeixen alguns insectes. Les abelles, per exemple, estan protegides a molts països, per tant, un requeriment és que un gen no ha de tenir cap efecte sobre les abelles. I així una sèrie de normes. També ha estat introduït el concepte de biovigilància segons el qual la Unió Europea anirà controlant mitjançant uns programes de seguiment de què passarà, per tractar de saber si realment hi ha algun efecte. Això pot no ser fàcil però pot ajudar a detectar problemes si realment es produeixen.

37

JOAN PERE VILÀ-HORS: La meva intervenció té per finalitat introduir diferents aspectes en el que vostè ha explicat. Hi ha un fet per nosaltres, des del punt de vista agrícola, i és que la nostra tendència, i una tendència lògica, és anar a l'agricultura sostenible. Pel fet d'anar a l'agricultura sostenible nosaltres necessitem moltíssim poder obtenir plantes transgèniques, transgèniques no sols per a l'alimentació: per exemple, hi ha una sèrie d'aspectes, com són aquelles funcions que tenen les plantes que poden afectar el medi ambient, és a dir, anar a defensar el medi ambient. Ens trobem, concretament,

amb el tema del nitrogen al sòl: llavors hi ha un camí que seria molt important o molt interessant i és el de poder anar a l'obtenció de plantes capaces d'absorbir el nitrogen que hi ha a l'aire. S'ha vist que és una cosa una mica difícil perquè el problema és que ens trobem amb un cas de poligènics, i sembla ser que el moviment de poligènics encara no està gaire clar. És a dir, ara es treballa gen per gen, però no en l'agrupació de poligènics. Aquest tema com està?

PERE PUIGDOMÈNECH: El cas potser més complet d'introducció de caràcters poligènics és no fa gaire la introducció en l'arròs de la ruta biosintètica de la vitamina A. En aquest cas no és un gen sinó cinc gens de diferents procedències. Ha estat un treball molt complet que s'ha fet a Suïssa, amb diners de la Fundació Rockefeller. La idea darrera d'aquest treball és que la vitamina A és una deficiència molt important en els països que mengen arròs i seria interessant de tenir un arròs ric en vitamina A. Per tant, aquest cas demostra que és possible plantejar-se de modificar més d'un gen. D'altra banda també hi ha la possibilitat de modificar molts gens al mateix temps mitjançant gens que controlen bateries d'altres gens. Fa uns minuts hem parlat dels gens que han permès de passar del *teosinte* al blat de moro, que són un exemple d'aquest. Jo diria que el sistema de fixació de nitrogen tal com es fa a les lleguminoses és molt complicat de traspasar a un altre grup d'espècies perquè no és únicament que sigui un caràcter poligènic, sinó que, a més a més, implica canvis en la biologia cel·lular de les arrels, que són molt complexes. Es treballa molt l'intent d'introduir gens que atreguin els bacteris fixadors del nitrogen a la proximitat d'altres espècies, perquè d'alguna manera col·laborin a enriquir de nitrogen l'ambient al voltant de la planta, i es treballa amb bastant d'èxit. Per tant, jo diria que la fixació del nitrogen tal com estan les lleguminoses es preveu complicat, per raons de metabolisme i de

biologia cel·lular, encara que mai no se sap. Però jo diria que sí que es treballa bastant, com a mínim per incrementar l'aportació de nitrogen d'alguns bacteris en espècies que fins ara no podien fer-ho.

JOAN PERE VILÀ-HORS: Perquè, l'entrada directa de polígens en la planta sense passar pels, podríem dir, bacteris nitrogenats, no és possible?

PERE PUIGDOMÈNECH: El que coneixem nosaltres és que això es dona dintre del compartiment del nòdul. Es tracta d'una separació molt ben definida que distingeix uns espais amb tota una bioquímica bastant diferent, que segurament és difícil que convisqui en una cèl·lula vegetal. Sembla difícil en un cas d'espècies amb bioquímiques molt antagoniques i per això estan separades. De totes maneres deixi'm repetir que mai no se sap.

JOAN PERE VILÀ-HORS: Un altre aspecte que també ens interessa molt perquè puguem fer una agricultura sostenible, és la resistència a l'estrès abiòtic que sofreixen les plantes. Aquest és un tema també importantíssim sobretot en països que estan situats en àrees que són més o menys àrides o semiàrides, que solen tenir problemes amb molts conreus. Seria molt interessant buscar plantes transgèniques que tinguin la capacitat de poder evitar l'estrès de sequedat, o l'estrès de salinitat, o un altre estrès també molt corrent, que és el dels vents secs.

PERE PUIGDOMÈNECH: Es tracta de caràcters que integren bateries complexes de gens però és un tema que cal investigar. En plantes hem analitzat aquests caràcters i això ha donat lloc al que coneixem per *genètica quantitativa*. El que hem de fer és analitzar aquests casos que acabaran donant lloc a conjunts discrets de gens.

JOAN PERE VILA-HORS: Bé, un altre tema també que a nosaltres ens preocupa molt és el de l'aigua. És a dir, trobar plantes que siguin capaces de poder millorar l'absorció d'aigua i, per tant, aprofitar més l'aigua que existeix i no haver-hi de donar tanta, és a dir, un sistema per estalviar l'aigua.

PERE PUJDOMÈNECH: A mi em sembla que el que vostè està dient en general és una cosa que, quan ho veiem des de la recerca bàsica, ens sorprèn molt. Jo recordo que hi va haver una reunió d'agricultura biològica en el meu centre on jo vaig dir a la gent: «escoltin. L'agricultura biològica idealment l'haurien de fer amb llavors transgèniques; què més volen vostès que no haver-hi de posar insecticides, de posar-hi menys adobs?», però la resposta va ser: «no, nosaltres no volem contaminació genètica». Perdonin, però jo no sé què vol dir «contaminació genètica». En part em sembla que el tema que planteja vostè és aquest. Fins ara un dels elements que hem anat utilitzant per tenir una agricultura més eficient (i una agricultura sostenible sense eficiència és mal assumpte) és la millora genètica. Per mi aquest és un concepte que no hem d'oblidar, i hem d'anar repetint contínuament. Em sembla que la gent ha oblidat que com més la planta faci la seva pròpia defensa, com més la planta utilitzi millor els seus recursos, com més la planta resisteixi millor els estressos, menys *inputs* hem de posar-hi nosaltres. Per tant, en moltes aplicacions per a una agricultura sostenible poder modificar genèticament les plantes és, possiblement, una oportunitat que no hauríem de menysprear ni molt menys, i em sembla que és el que està passant.

XAVIER BELLES: Dues preguntes. Una de plantes modificades. Les plantes modificades perquè expressin insecticides, el més emprat és la toxina del *Bacillus Thuringiensis*. És a dir, un dels problemes dels insecticides és que induïxen resistència

en els insectes, aleshores una planta que expressi aquest insecticida representa una mena d'exposició crònica a l'insecte: això pot induir una resistència més ràpida en aquest insecte i que la toxina aquesta esdevingui obsoleta perquè l'insecte ja s'ha tornat resistent: això és una pregunta sobre com s'enfronta la transformació de plantes amb aquest problema.

I l'altra és més general. És molt bonica aquesta diferència de mides de genomes entre l'*Arabidopsis* i la liliàcia, aquesta obesitat dels genomes de la liliàcia, per exemple, i és curiós que no s'hagi trobat cap correlació amb res. Sembla com si el fet que una planta tingués un genoma més inflat, més obert, es degués a elements mòbils, fonamentalment, i els elements mòbils serien un factor, probablement de variabilitat, d'evolució, perquè si es van inserint en gens que d'alguna manera els silencien, etc., és un factor d'evolució, i no hi ha cap correlació entre la mida del genoma i l'aptitud reproductora, o l'èxit evolutiu d'aquesta planta, és a dir, que l'*Arabidopsis*, que el té molt petit, no pot evolucionar tant, en una àrea més petita es pot enfrontar més malament a canvis climàtics que fritti l'àrea, per exemple.

41

PERE PUIGDOMÈNECH: L'*Arabidopsis thaliana* és una espècie en expansió! Efectivament, si l'insecte diana desenvolupés una resistència a la proteïna insecticida seria una llàstima perquè es tracta d'un caràcter valuós. En aquests moments en diferents parts del món es fan experiments per tractar de definir com s'han d'utilitzar aquestes llavors per minimitzar aquesta possibilitat. Un d'aquests llocs és Lleida, on un grup de la Universitat treballa en aquesta direcció. Es planteja que pot ser interessant tenir, per exemple, el que se'n diuen *santuaris*, és a dir, no plantar al 100 % una varietat que té el gen insecticida sinó deixar un percentatge, de manera que es pugui reproduir l'espècie sense desenvolupar aquesta resistència. A llarg termini és possible que la resistència sem-

pre s'acabi desenvolupant. El que es pot fer és, d'una banda, desenvolupar altres gens de resistència o, de l'altra banda, es pot estudiar quines recomanacions poden fer-se al pagès per intentar minimitzar aquestes resistències, per exemple, la presència de santuaris, l'alternança de conreus, que són pràctiques agronòmiques usuals.

El segon tema que planteja és una especulació molt interessant i en aquests moments hi treballa molta gent. Es tracta de saber quin és l'origen de la variabilitat genètica en les plantes. Entre les fonts de variabilitat hi ha el moviment dels elements mòbils que estan presents en tots els genomes. Entre els pocs transposons els quals se sap com s'activen, s'ha trobat que s'activen en situacions d'estrès i, per tant, efectivament sí que s'ha dit que la presència d'aquests elements mòbils és com una gran reserva de variabilitat que en situacions de gran estrès li permet a la planta de produir noves organitzacions genòmiques que li puguin permetre d'alguna manera sortir-se'n d'aquestes situacions. La meua opinió és que cada espècie està en cada moment en equilibri amb el seu propi genoma. A aquest equilibri hi ha arribat cada espècie per una interacció entre els mecanismes d'evolució, entre els quals hi ha els elements mòbils, els propis mecanismes de replicació, de recombinació, perquè aquests elements també sabem que s'eliminen i, finalment, la pressió selectiva que li arriba a l'espècie des del sistema ecològic en què viu.

JOSEP CARRERAS: Jo voldria introduir un altre element en el debat perquè penso que és important que se n'acabi dient quelcom, i fa referència al que podríem dir el ressò popular que tenen aquest tipus d'actuacions científiques, ressò popular, campanyes dirigides no sé ben bé per quins mecanismes, molts de cops presentant com a arguments científics, arguments que de científics no tenen res. Això pot fer pensar que

és com si tinguéssim una mena de por col·lectiva, un subconscient col·lectiu, en aquella mena de maledicció bíblica de voler ser com déus: és a dir, és curiós com la humanitat s'ha passat segles intentant coses amb molta ineficiència, i quan de sobte, com a resultat de la pròpia activitat humana, adquirim eines que ens permetrien aconseguir allò que intencem aconseguir, de manera eficient, llavors tenim por, tenim por d'aplicar-ho, cosa que hem vist en els processos educatius, en els processos curatius, a medicina, a biologia. Molta feina per intentar aconseguir coses, tenim un instrument que ens permet aconseguir-ho amb eficiència i llavors tenim por d'utilitzar-lo. No sé per què, a què es deu això, però es repeteix constantment, i és clar, seria —i em penso que és— molt interessant que d'institucions com aquesta se senti la veu que s'ha de sentir, perquè per desgràcia en els mitjans molts de cops tenen més ressò opinions amb molt poca base científica, i això no passa només a Espanya. Ara jo llegia fa poc, en els números d'abril de *Nature of the Science*, que l'Acadèmia Nacional de Ciències dels Estats Units va presentar un report del National Research Council que, precisament, havia intentat avaluar els perills que tenien tant per als individus com per als ecosistemes les plantes modificades, sobretot amb resistència a les malalties, i és curiós —ho diuen tots els comentaris— que el document va intentar ser desacreditat abans que aparegués pel mecanisme amb què s'intenten desacreditar tots aquests informes, i és desacreditant les persones que l'han elaborat. Expliquen que hi va haver comentaris, en aquestes revistes i apareguts en pancartes, abans que es publicués el report, que deien que no mereixien cap crèdit i que encara faltava un altre estudi. S'hi varen afegir congressistes, un dels quals d'Ohio, que es veu que estava molt furios i en contra de tot aquest tipus de tecnologia, i deia que no es pot fer cas del que digués aquest report perquè els que l'havien fet estaven desviats, i estan desviats perquè

reben fons de totes aquestes indústries i de tota aquesta recerca tecnològica. És clar, els de l'Acadèmia Nacional de Ciències els van contestar que, si volien tenir un equip d'experts o recollien gent que estigués treballant al camp —i era impossible als Estats Units estar treballant al camp sense rebre els ajuts que els proporcionen— o si no l'equip seria d'inexperts en comptes de ser un equip d'experts. A part que no és el meu camp i tampoc no he vist el report completament, ni resums, només notícies, sembla que s'entrava en una certa contradicció, perquè després de dir que es podia estar segur que no hi havia perills, recomanaven que se seguís fent estudis sobretot per veure les conseqüències que podia haver-hi pensant en els ecosistemes, amb la qual cosa els que estaven en contra van dir: «veieu com hi ha contradiccions!, no dirien que fa falta fer més estudis si s'estigués segur que no hi ha conseqüències dolentes, no?» I aleshores sembla ser que una de les coses que va dir el president d'aquesta Comissió és: «Ens hem de guanyar la credibilitat de la gent: mentre la gent no tingui una confiança en el que fem els científics, no tenim res a fer.» I deia una frase, aquesta que jo recordava: «convé que la veu de la ciència es faci sentir forta i clara en aquests camps». Jo no sé el que hauríem de fer aquí a casa nostra, perquè en aquests camps i en d'altres similars la veu de la ciència es fes sentir forta i clara, i no barrejada ni confusa. Per cert, una de les coses que no hauríem d'acceptar és que en determinats mitjans, coberts pels diners de tots, es barregin astròlegs amb astrofísics, bioquímics, metges i biòlegs als quals no sé exactament quin qualificatiu hauríem de donar, i que els presentadors els tractin de professor i de doctor, quan no són ni professors ni doctors. Amb això es crea una confusió que no hauríem d'acceptar, és a dir, les coses s'han de dir pel nom que tenen, i penso que ja en tenim prou de programes alienants per tenir audiència, a totes les televisions i a totes les hores en què normalment la gent l'està

veient més. Dic això perquè en aquests moments la televisió és un dels mitjans que té més influència, i aquests tipus de debats de tant en tant s'hi porten, però penso que s'hi porten d'una manera que els fa més aviat contraproductes, perquè es barregen les coses i no es diu cada cosa pel seu nom, i es donen atributs que no tenen a la gent.

Per tant, penso que seria important que d'aquest debat, si és que acaba havent-hi un document de l'Institut, no només hi haguessin els aspectes més tècnics i més científics que han sortit i que convé que surtin, perquè no llegirà ningú aquest tipus de documents, si no són especialistes en el camp. Un dels objectius d'aquest tipus de debat per part de l'Institut seria arribar també a altres sectors de la població, i aleshores penso que seria molt important dir clar aquestes coses, d'una manera que tothom us pugui entendre.

PERE PUIGDOMÈNECH: Em sembla que has tocat una sèrie de temes que ens portarien a parlar-ne unes quantes hores. És un debat que sí que l'hauríem de fer i en què em sembla que hi ha molts aspectes diferents. Jo crec que d'una banda hi ha el conflicte i que hi ha hagut en aquests moments una barreja de moltes coses. Trobem persones que legítimament es plantegen on porten aquestes tècniques: hi ha aspectes de manipulació del genoma que preocupen la gent. Hi ha països, per exemple, els països nòrdics, o encara més Alemanya, on el naixement de la genètica va anar lligat a conceptes de neteja de l'espècie o de millora de la raça i, per tant, qualsevol cosa d'aquestes preocupa moltíssim la gent. Per tant, en el debat es barregen qüestions basades en la sensibilitat profunda d'alguns col·lectius, que jo crec que els científics hem d'escoltar. Moltes d'aquestes coses han anat molt de pressa: a moltes de les persones que estem aquí no ens van ensenyar el que són els gens a l'escola i, per tant, no ens hem d'estranyar que preocupi la gent que es modifiquin els gens dels

aliments que ha de menjar. Són coses molt noves que normalment abans tardaven vint anys a arribar i hi havia temps per assumir-les, ara van tan de pressa que no tenim temps ni per assumir els telèfons mòbils. L'altre dia em preguntava un periodista si estem preparats per al genoma. Li vaig respondre que no estem preparats ni per a l'electricitat. Sincerament, no estic segur que estiguem preparats per a l'electricitat, si encara no estem d'acord ni en com produir-la: no sabem si volem energia eòlica, si volem centrals nuclears, etc. Però jo diria que en la prevenció cap a la modificació genètica hi ha una base profunda que hem d'escoltar: després s'hi han barrejat interessos de molts tipus: comercials, industrials, polítics. Després hi ha persones a qui preocupa el control de grans empreses multinacionals sobre l'alimentació o la salut. Cal dir que les empreses que han posat les llavors transgèniques en el mercat han fet errors de comunicació, potser han pecat d'arrogància i potser s'havien pensat que això era com Internet. Cal dir que les llavors transgèniques han estat un èxit comercial però han tingut un cost que ha donat lloc a una reestructuració d'empreses com la Monsanto o Novartis, que ha segregat el seu negoci de llavors. Aquestes empreses havien pres un risc, potser havien anat massa de pressa i ho han acabat pagant. Des d'un punt de vista de la comunitat científica s'ha pagat en termes de credibilitat i això pot ser greu a llarg termini per a la societat en el seu conjunt. És possible que una institució com aquesta s'hagi de preocupar d'aquest fet, pensar-hi, debatre'l, i intentar treballar en aquest sentit. Un aspecte que ha estat mencionat és la relació amb els mitjans de comunicació, que no és senzilla, perquè la seva dinàmica és molt diferent. És normal que en un debat es vulguin presentar els qui defensen posicions diferents, però en aquest o en la majoria dels temes de base científica que són polèmics, els científics sempre estem en desavantatge. Nosaltres hem de tenir sempre en compte que les

coses poden canviar, hem d'expressar els nostres dubtes. Si davant nostre tenim persones que parteixen de certes ideològiques, polítiques o religioses, el debat està perdut d'entrada.

MERCÈ DURFORT: Pel que fa a un tema que ha suggerit el doctor Carreras, i que no és la primera vegada que suggereix seguir en aquesta línia, jo només puc prometre el següent: considerin la sessió d'avui com un aperitiu: vull dir que la Secció més endavant pot fer una sessió més específica a la qual invitarem membres de les altres seccions. Jo tinc donades unes quantes paraules, em comprometo més o menys a tallar el debat a tres quarts de nou, ho dic perquè es fa una composició de lloc: si algú té pressa, lamentant-ho molt, prescindirem de la seva presència, però, repeteixo, ho dic més o menys perquè us aneu situant.

JOSEP EGOZCUE: El meu comentari, una mica en la línia de Carreras és sobre una especialitat que també ha estat criminalitzada, i estic una mica acostumat a aquest tipus de crítica i que hi hagi moltes afirmacions falses, algunes de bona fe, que vénen de legisladors poc informats generalment, i d'altres de mala fe. El que he pogut constatar en els darrers anys i en el nostre camp és que moltes vegades, plantejant la transgressió, es pot arribar a un debat que és més assequible al públic, és a dir, en lloc, senzillament de defensar-se dels atacs, plantejar tot tipus de transgressió com a punt de partida, en lloc de plantejar-ho al contrari. Hem de procurar no fer això, i això com a punt de debat a nosaltres ens ha resultat molt útil i penso que a vosaltres us podria resultar útil també: és un suggeriment. Per altra banda, suposo que teniu més dificultats de predicció, no quan es tracta tant d'un caràcter monogènic, que és bastant sabut què pot passar i de quina manera això pot desenvolupar-se i afectar, sinó quan entrem ja en temes

més complicats. Fins a quin punt poden fer prediccions respecte del que pot passar? Es poden fer prediccions teòriques?, etc. Aquesta és la pregunta que m'agradaria fer.

PERE PUIGDOMÈNECH: Pel que fa a la primera part de la pregunta, es pot considerar el funcionament de la comissió francesa de bioseguritat que es diu Commission du Génie Biomoléculaire. Aquesta comissió, que és una de les que tenen més experiència d'aquests temes a Europa, es planteja sistemàticament el que en francès en diuen *le scénario catastrophe*. Això vol dir que es plantegen sempre el que passaria en la més absoluta i catastròfica de les situacions, i treballen amb aquesta filosofia. I en aquest sentit és cert que, com en qual-sevol altra cosa, es pot posar en una planta el gen que es vulgui; per tant, és important que hi hagi regulacions que han d'estar ben dissenyades i acceptades. La meua opinió és que aquestes regulacions han d'estar basades en dades al màxim d'objectives possible. Per exemple, entre altres coses, ara a la Unió Europea no s'admet cap dossier d'una planta modificada de la qual no es disposi la seqüència completa, no únicament del vector sinó de la inserció, és a dir, tot el gen ha d'estar completament seqüenciat, amb el gen i les seqüències blanquejants. Es tracta d'assegurar, per tant, en aquest àmbit que no s'afecti cap altra funció que estigui en el genoma. I en tot cas abans d'entrar al mercat la planta ha d'incorporar-se en el programa de millora genètica de l'espècie, on s'analitza el comportament agronòmic de la planta. En el camp els milloradors saben molt bé, des de fa molts anys, analitzar fenotips i veure quins efectes tenen sobre una multitud de caràcters bastant grans. Això ens ha de portar també a anar seguint durant el temps que sigui el comportament d'aquestes plantes i els seus efectes, per veure efectes a llarg termini, i és el que s'està plantejant aquí a Europa també. Per tant, hi ha el primer nivell que permet de predir el com-

portament del que és un caràcter únic mitjançant l'anàlisi molecular no únicament del gen sinó de les seqüències blanquejants. Després la planta és analitzada en l'hivernacle i sobretot quan entra en el programa de millora, on s'analitzen els efectes genotípics a diferent nivell.

ANTONI FERRÓ: Des del punt de vista de la defensa de la propietat intel·lectual, les varietats transgèniques estan regulades d'una manera i les varietats d'obtenció clàssica estan regulades d'una altra manera, és a dir, les transgèniques ho estan a través de patents, la defensa és a través de patents, mentre que les varietats d'obtenció clàssica estan protegides per unes lleis de l'obtenció vegetal, que ja són antigues, són d'uns quaranta o cinquanta anys, i que estan regulades a tot el món a través de l'OPOP Internacional. A Europa i Espanya, teníem una llei de l'any 1975 i ara el 2000 se n'ha aprovat una altra també de les obtencions vegetals. Però això comporta dues maneres molt diferents de la defensa d'aquestes varietats: per exemple, si demanes una varietat transgènica has de sol·licitar una llicència i amb aquesta llicència, que és molt restringida, el que pots fer és no modificar aquesta varietat, no seleccionar-la, no creuar-la, pràcticament només la pots observar. En primera instància, amb una llicència es pot observar la varietat, mentre que amb una obtenció, quan un obtentor té una nova obtenció que ha arribat a registrar i està protegida, té un títol de propietat intel·lectual que es diu *protecció vegetal*. L'endemà qualsevol altre obtentor, i això és una pràctica habitual, et demana que li subministris, i li envïis gratuïtament, una mostra d'aquella nova varietat, i a partir d'aquell moment li dones acumulada amb aquella varietat, no un gen, com aquesta varietat transgènica, sinó molts i molts gens molt valuosos que s'han anat acumulant, que acumulen precocitats, rendiments, qualitats de resistències, etc., i a partir d'aquí el llurador pot agafar aquest material vegetal

i modificar-lo, transformar-lo, i només que aconseguixi una petita variant pot sol·licitar una nova obtenció, com a nova, i només que sigui nova, homogènia i estable, ja li donen un nou títol d'obtenció, o sigui, que és una protecció que protegeix els drets intel·lectuals, però molt oberta perquè vagin evolucionant i evolucionant les obtencions, i així ha avançat moltíssim la millora vegetal. En canvi, en el camp de les varietats transgèniques s'han basat en unes patents que són molt restrictives i molt protectores, propietat d'uniques poques companyies que han invertit en aquest camp. Això sembla que són dues maneres de regular totalment diferents, que els obtentors han demanat, en l'àmbit nacional i europeu. A Europa hi ha una moratòria de fets des de fa quatre anys. Quan s'acabi és fonamental que es reguli aquí a Europa i a tot el món, d'una manera més equitativa i més oberta. Jo crec que un aspecte que cal remarcar és la gran diferència que hi ha entre el tractament que té una varietat transgènica i una varietat d'obtenció clàssica, que és molt oberta i que, no solament per intercanvi entre la comunitat científica, sinó per l'agricultor, ara mateix, aquí a Espanya, aquest any es donen cinc-centes llicències a diferents multiplicadors, perquè multipliquin i arribin a tots els agricultors les noves varietats; en canvi, la difusió de les varietats transgèniques és tan limitada que aquí a Espanya només n'hi ha una de moment al comerç, i que els Estats Units també van pel camí que en comptes d'aquesta evolució de passar de trenta mil a cent milions d'hectàrees com pensàvem, hi hagi un retrocés perquè l'agricultor mateix s'ha adonat que estava pagant un excés com a *royalties* per la innovació que suposa la varietat transgènica, i s'ha de comprendre que per això també l'agricultor les rebutgi tant pel preu com perquè les quantitats que utilitzen han disminuït. És una opinió que tu comparteixes, però que era interessant de comentar-la, des del punt de vista econòmic.

PERE PUIGDOMÈNECH: Crec que introdueix un tema molt important, que és com incorporem els sistemes de protecció de propietat intel·lectual en els organismes modificats genèticament. Es tracta d'un tema complex i que en el cas de les plantes està plantejat des que la millora genètica va començar a donar lloc a varietats d'interès. De fet, les patents o la protecció de varietats en el cas de les plantes constitueixen un sistema de protecció que serveix d'estímul per a qui fa la inversió en l'obtenció de noves varietats. Als Estats Units co-existeixen els dos sistemes, de patents i de protecció de varietats. A Europa la directiva de patents que es va aprovar l'any 1998 introdueix dos conceptes que són molt importants: un és la distinció que s'ha fet a Europa entre descobriment i invenció en el cas de gens i de productes biològics, que ha estat una distinció molt important. Es tracta de distingir el que és descobrir un gen que estava allà, i això no et dóna cap dret a protegir, mentre que només pots protegir allò que has demostrat que té una utilitat. El segon va ser el concepte del *privilegi de l'agricultor*, com en diu la directiva europea. Gràcies a això, com a mínim, l'agricultor té dret a fer-se la seva pròpia llavor, que ja és alguna cosa. Un tema que també s'ha debatut en el Parlament Europeu, i sens dubte és una cosa que cal tenir en compte, és si l'obtenció de varietats vegetals no estava ja prou protegida. Als Estats Units les dues vies han estat acceptades mentre que la directiva europea deixa essencialment la patent per a les varietats modificades genèticament. A banda d'això, la meua opinió és que les actuals patents de gens que s'han presentat als Estats Units, centenars i milers, seran probablement molt difícilment defensables, i que només serviran per als gabinets d'advocats, i poca cosa més. De fet, una de les patents més importants per a les plantes transgèniques, la que protegeix el promotor del 35S, fa deu anys que la discuteixen i el dia que algú l'aprovi ja haurà passat el període d'aplicació de la patent. És possible

que hagi estat una pèrdua de temps i de diners per a tots ple-gats.

Jo formularé un desig en veu alta i és que el senyor Fitó continuï sent molt resistent a tots els entrebancs que la legisla-ció li posi, perquè ho necessitem. Senyor Farragó, si us plau.

JOSEP FARRAGÓ: Moltes gràcies. Jo volia haver intervingut sobre aquest tema que ja heu tocat en aquests moments, per-què efectivament opino com ja s'ha dit, que s'han barrejat en aquest debat dels transgènics molts altres elements, entre els quals aquest aspecte de què es parlava, el de *denominació tecnològica*, dignéssim al marge d'unes poques multinacio-nals. Com que ja s'ha tractat jo voldria treure un tema nou a debat, i preguntar-te la teva opinió. Pere, sobre el paper que hem de fer des dels organismes públics d'investigació a l'ho-ra d'intentar portar aquest debat per un camí de diàleg seriós: si, efectivament, ens hem d'arriscar una mica més, i sortir al carrer i ensenyar què estem fent a part de fer-ho, amb fóruns com el d'avui aquí, tan prestigiós, però que pot-ser no arribarà o és difícil que arribi al gran públic, entenent per gran públic els pagesos, els cooperativistes, els estaments locals, els ecologistes locals, i discutir amb ells resultats i orientacions. Nosaltres, com tu saps, tenim una petita expe-riència de l'any passat, que jo crec que només podem títllar de molt positiva, que repetirem enguany: al delta de l'Ebre, ensenyant un camp d'arròs transgènic, que no ens van cre-mar: un projecte conjunt amb vosaltres. Bé, ni agradaria, si poguessis fer un petit comentari al voltant d'aquest tema.

PERE PUIGDOMENECH: Efectivament, crec que en aquest debat, un dels aspectes que a mi em sembla que es plantegen és el de la funció dels centres públics en un tema de fort impacte industrial com és la biotecnologia. En el debat que hi ha entorn de les plantes transgèniques, dintre de tot, aquí a

Espanya, jo crec que la comunitat científica ha respost bastant bé, si es compara amb altres països. Molts dels investigadors més implicats en el tema han participat en debats i en programes d'explicació de la qüestió. En alguns països potser hi va haver la reacció de deixar que parlessin els qui s'oposaven a aquestes aplicacions amb l'esperança que ja es causarien. Aquí la gent que fa recerca, potser perquè tot ens arriba una mica més tard i hem vist el que passava en altres llocs, ha intervingut bastant en el debat, i potser per aquesta raó a mi em sembla que s'ha portat en termes més mesurats. Fins i tot a Anglaterra, un país tan sensat, es pot entrar en llocs tan *a priori* respectables com la BBC i un es pot fer creus dels errors, veritables desinformacions, que hi ha. Aquí hi ha un nivell de relació entre les universitats, els centres de recerca i els mitjans de comunicació bastant bo, i això pot haver-hi ajudat. De totes maneres hi ha un altre aspecte que cal analitzar: la relació que tenim els centres públics de recerca i les empreses és essencial i cal posar-hi un bon estímulo, perquè aquesta és una de les justificacions del nostre treball. Al mateix temps jo crec que cal que la recerca pública existeixi com a tal i mantingui un bon nivell d'independència que permeti, fins i tot des d'un punt de vista personal, sortir i explicar què es fa d'una manera independent. Als Estats Units mateix, al costat de les enormes inversions privades que es fan, també es fan enormes inversions públiques: aquestes permeten que es mantingui la recerca bàsica, que és d'on surten els resultats i les idees a llarg termini, i que, estimulants-se el contacte amb les empreses i la creació d'empreses, al mateix temps hi hagi una visió pública que pugui participar a proporcionar la informació i els criteris que es necessiten a l'hora de prendre decisions.

53

IGNASI ROMAGOSA: Volia fer un parell de preguntes. La primera és fins a quin punt estem perdent el tren a Europa, a És-

panya i a Catalunya, dins sobretot de la genòmica, i què es pot fer perquè això no passi. La segona que et volia fer és: no creus que seria important que una institució com aquesta faci l'esforç d'educar els legisladors i els que prenen la decisió perquè, de fet, és la manera més immediata d'arribar al públic? Perquè jo crec que realment s'estan prenent decisions sense que el Parlament sàpiga de què està parlant: s'ha de dirigir mitjançant dues o tres persones més o menys educades. I després dins del problema que s'ha comentat de l'opinió del consumidor, jo crec que això és molt difícil per una raó, aquest cas que tu has dit de l'enzim modificat per Carrí per fer bé formatge té un gran èxit als països més crítics perquè es diu formatge vegetarià: no cal matar el xai per extreure'n l'enzim que fa el formatge, i té un èxit que no és pas qüestionable, i per una altra banda jo crec que l'opinió pública europea en particular té la idea que l'agricultura és una activitat bucòlica que no té cap efecte sobre el medi ambient, quan és tot el contrari, i a més que l'agricultura convencional és molt més favorable al medi ambient, i això no sempre és veritat.

PERE PUIGDOMÈNECH: Treus dos o tres temes també molt interessants. Jo crec que aquest debat, tal com ha estat portat a Europa, objectivament, a curt termini, ha estat negatiu per a la recerca. En l'actual programa marc, per exemple, qualsevol projecte que tingués a veure amb transgènics era rebutjat. No ens hem d'estranyar, per tant, que hi hagi empreses com Novartis que acabi fent tota la seva recerca als Estats Units. És també el cas d'empreses europees com Agrevo i Rhône-Poulenc, que ara han format Aventis, que també tenen centres de recerca als Estats Units. La situació és especialment preocupant quan pensem que la cursa per a la genòmica va començar a Europa o que la primera transformació de plantes es va fer a Europa, com tantes altres coses, i és ben possible que actituds extremes a curt termini ens acabin

impedint seguir amb l'embranchida. A llarg termini no ho sé, perquè és imprevisible l'efecte final del procés de reestructuració de les empreses de llavors i pot ser justament un bon moment perquè les empreses d'Europa en general es plantejgin la nova situació en què poden haver-hi oportunitats noves. Des del punt de vista de la recerca a mi em sembla que l'únic tren que es perd és el que no s'agafa mai i que hi ha i hi haurà moltes coses a fer. La genòmica és un conjunt de noves aproximacions que ens donarà un ventall de noves possibilitats els anys que vénen. El que no es pot fer és afrontar aquest nou món amb misèries. Si resulta que l'única cosa que es fa amb genòmica al país és un projecte de set-cents milions de pessetes, que servirà per a tot: genoma humà, genoma de plantes, animals, microorganismes, anem bastant pobres tots plegats, ja que en altres països hi inverteixen xifres de dos ordres de magnitud superiors. I en debats com aquest, institucions com aquesta, jo crec que haurien de ser-hi, efectivament. L'altre dia vam fer una sessió a la Facultat de Biologia, i es plantejava un altre cas conflictiu a Europa, que és l'ús d'animals de laboratori. La sensibilitat de la societat ha anat creixent en un tema com aquest i això és positiu, però hem de tractar de mostrar la comunitat científica que l'experimentació amb animals és imprescindible i que la via no és la de fer la feina difícil sinó la d'assegurar-se que es fa quan és necessari i en les millors condicions possibles. A Europa no crec que hàgim reflexionat prou bé sobre la posició de l'agricultura a Europa i de la recerca agrícola en particular. Aquest és un debat que a mi em sembla que seria molt important perquè la nostra societat, que era essencialment agrícola fa pocs anys, ara no és en absolut conscient ni que mengem plantes ni del que cal fer per produir-les en quantitat i qualitat. És un repte que, des de les institucions científiques o des de l'única Escola d'Enginyers Agrònoms que tenim, hauríem de plantejar-nos per explicar aquestes coses.

Suposo que ja sabeu d'aquella criatura que li fan dibuixar un pollastre, i el dibuixa, però a l'ast.

MERCÈ DURORT: La darrera pregunta o intervenció és per part d'un membre de la Filològica. Faig aquesta puntualització perquè, llevat dels del ram, que es diu vulgarment, no hi ha hagut gaires intervencions.

CARLES MIRALLES: Dubto si una intervenció profana és molt millor que la d'un expert en aquest debat, però hi ha una qüestió que m'ha deixat una mica amoïnat, que ha estat això de la manera com s'ha plantejat la por de la gent davant d'aquestes coses que han explicat. Aquesta por no sé ben bé si és comparable a aquesta altra cosa de l'electricitat, de la qual fem ús també sense saber què és o com la volent produir. La definició clàssica o l'antiga de les tècniques ve del manual d'arquitectura d'un romà que es deia Vitruvi, i diu que les tècniques són allò que perllonguen d'alguna manera les nostres mans. És clar, mentre veiem les mans no ens passa res, nosaltres veiem com anem perllongant les mans i van sortint tota una pila de coses, però arriba un moment que ja no veiem les mans, aleshores ens hi hem d'acostumar d'alguna manera, però ens instal·lem amb un recel absolutament justificat: en definitiva, no és el mateix anar amb carro que anar amb avió, és tota una altra cosa, una cosa a la qual ens acostumem, com diem, sense haver-ho comprès moltes vegades. Amb els transgènius passa exactament el mateix, però a més a més ens ho mengem, que en principi és la primera cosa que fem. En un quadre d'aquests que hi havia aquí, que era molt útil i que cridava l'atenció, des dels darrers anys del 900 o 990 fins a la primera dècada dels 1000, es veia com hi havia la progressió, que donava les plantes, després la carn per menjar, després els productes farmacèutics i darrerament els productes químics. És clar, durant deu anys se suposa que no

solament no ho comprendrem. No és un problema que els periodistes siguin tanoques i que nosaltres siguem, o vostès siguin, llestos en aquest afer concret, és un problema que fa de mal explicar: tothom té molta pressa en aquest món, i a la gent li agraden els programes escombraries, la tele que no explica res i, si els periodistes de la BBC no fan preguntes estòlides, la gent canvia de canal: vull dir que, no sé, tampoc és qüestió de manifestació sovint, acabem aquestes coses dient: «home, en tinc una idea més clara que quan havia començat i em fa l'efecte que aquella gent que ha parlat, que era gent assenyada, no ho veia del tot malament això.» Però, de fet, diguem-ne el cercle dels especialistes roman tancat, i tampoc no es fa l'altre esforç, que és l'esforç de comprendre, o de provar de comprendre, què és el què li passa a la gent normal, al cosí del senyor Puigdomènech, que és un pagès: hem perdut absolutament de vista la mesura, no sabem com són les coses, no sabem com es fan, però ens en queda la recança i, és clar, carregant-nos amb aquesta recança, l'única manera de conscienciar-nos què tenim és dir: «ai!, què ens faran?».

57

PERE PUIGDOMÈNECH: Em sembla que ha descrit d'una manera molt acurada alguns dels elements que, efectivament, estan sobre la taula en aquest debat i haig de dir-li que joestic d'acord amb el que ha dit, i que hem de tenir en compte quines són les reaccions que tenim. Personalment, no em sembla que calgui posar en marxa una guerra, encara que sigui mediàtica. En una de les llistes de discussió per Internet es proposava l'altre dia que, com que els que s'hi oposen tenen les eines d'Internet, estan atacant amb les eines de la comunicació més modernes, i els de l'altre bàndol haurien de convertir-se en ciberguerrers. Pot ser una actitud passada de moda i potser ens equivoquem nosaltres, però la tasca dels científics ha de ser una altra. Hem de reflexionar com fem

arribar els resultats de la recerca de la manera més assequible i ràpida. Per això hem d'escoltar les pors de la gent i participar en la discussió com a investigadors públics, perquè estem convençuts que la modificació genètica de les plantes és una eina poderosa que, com en tants altres casos, es pot utilitzar molt bé i ens pot ser important per afrontar reptes que tenim davant nostre. Per això tots plegats hem d'intentar, en primer lloc, que s'utilitzin adequadament, i per això hi ha les regulacions que li ha, i en segon lloc, hem d'explicar per què s'utilitzen, i és perquè pensem que no tenen cap altre efecte. Explicar això és complicat, efectivament: segurament els investigadors no estem massa ben preparats per fer-ho, però és un repte que no podem deixar de tractar de resoldre.

AQUESTA OBRA S'HA ACABAT D'IMPRIMIR
A L'OBRA DOR DE LIMPERGRAF S.L.
A BARBERÀ DEL VALLÈS
EL DIA 23 DE SETEMBRE DE 2002

