

David Bueno i Torrens

Convivint amb transgènics



CONVIVINT AMB TRANSGÈNICS

Col·lecció Catàlisi
Ciència Catalana Contemporània

5

David Bueno i Torrens

CONVIVINT AMB TRANSGÈNICS



índex

Próleg 13

PART I. LES BASES DE LES MODIFICACIONS GENÈTIQUES: DE LA REVOLUCIÓ NEOLÍTICA A LA REVOLUCIÓ BIOTECNOLÒGICA

Capítol 1. *Les revolucions científicotècniques: dels caçadors-recol·lectors i dels bruixots-xamans als biotecnòlegs* 18

Capítol 2. *La biotecnologia avui* 56

Capítol 3. *Les bases de les modificacions genètiques: DNA, proteïnes i cèl·lules* 82

PART II. ELS ORGANISMES GENÈTICAMENT MODIFICATS, AVUI

Capítol 4. *Els microorganismes genèticament modificats* 132

Capítol 5. *Els animals transgènics i la teràpia gènica en humans* 174

Capítol 6. *Les plantes transgèniques* 217

PART III. EL DEBAT ENTORN ELS ORGANISMES GENÈTICAMENT MODIFICATS

Capítol 7. *La percepció social i la legislació dels organismes genèticament modificats* 270

Epíleg	313
Bibliografia	317
Glossari	319

Pròleg

El segle XX ha estat un segle de contrastos durant el qual s'ha produït la més gran contribució de la ciència a la solució de problemes de tota la història de la humanitat, fet que ha permès incrementar la nostra qualitat de vida fins a nivells impensables fa tot just unes dècades. Seguint en aquesta línia, la cultura científicotècnica és i serà clau al segle XXI, i enervarà tots els camps, de l'energia i la indústria a l'ecologia, i de la biomedicina a l'alimentació. És precisament el control científicotècnic de l'alimentació i la salut el que ha permès als humans desenvolupar el món i la cultura en què ens trobem immersos, amb una estabilitat alimentària i sanitària i una llibertat personal sense precedents.

En poc menys de tres segles la humanitat ha viscut l'eclosió i la consolidació successiva de tres grans disciplines científiques que han revolucionat, i continuen revolucionant amb les seves constants aportacions, no només la manera de veure i entendre el món sinó també, molt especialment, la nostra vida diària, ja que l'omple de grans avenços i d'incomptables petits detalls que de ben segur, a força de costum, ens passen desapercebuts. Primer fou la revolució de la física, que va iniciar la seva sistematització als segles XVI i XVII; després la de la química, als segles XVII i XVIII; i finalment la de la biologia, a finals del segle XIX i durant tot el segle XX. Seguint aquesta tònica, segons tots els analistes científics el segle XXI vindrà marcat per la revolució biotecnològica.

Ben mirat, però, no cal pas ser un analista per saber-ho, atès que actualment la biotecnologia ja és present en moltes de les nostres activitats diàries, encara que potser no en siguem del tot conscients. Només uns quants exemples. A finals del 2007 ja hi havia a tot el món més de 120 milions d'hectàrees conreades amb plantes transgèniques repartides en 23 estats, entre els quals s'hi comptava l'Estat espanyol, amb una presència significativa a Catalunya. Alguns productes d'aquestes plantes ja han arribat al mercat alimentari o potser fins i tot els duem posats, ja que el cotó utilitzat per teixir la roba pot provenir de les plantes transgèniques. Així mateix, alguns dels additius i enzims que utilitzem en la in-

dústria alimentària ja provenen d'organismes genèticament modificats. També estem utilitzant de forma rutinària diverses dotzenes de fàrmacs produïts per organismes genèticament modificats, com per exemple insulina pel tractament de la diabetis, interferó per tractar la leucèmia i determinades malalties d'origen víric, i algunes vacunes, com la que ens protegeix contra el virus de l'hepatitis B, entre molts altres fàrmacs.

En l'àmbit econòmic, hi ha més de 2.500 companyies de biotecnologia registrades a tot el món, de les quals la meitat són als EUA. I això és només la punta de l'iceberg, atès que les aplicacions d'aquests productes són moltes i molt variades, entre les quals cal incloure també la producció de biocombustibles més respectuosos amb el medi ambient, i l'obtenció de bacteris i plantes que puguin ser emprats per reparar desastres mediambientals, com vessaments de petroli.

Aquest gran avenç de les ciències biològiques ha comportat l'adopció d'un nou vocabulari, que usem quotidianament. Paraules com biotecnologia, enginyeria genètica, organisme modificat genèticament i transgènic, entre d'altres, s'han introduït a la nostra vida i apareixen regularment als mitjans de comunicació. Però per a molts ciutadans aquesta terminologia és plena de conceptes obscurs, desconeguts, amb connotacions potser fins i tot de perill, i a voltes mereixen poca confiança com a conseqüència de la manca d'informació. A més a més, els humans som, tot sovint, neòfobs, és a dir, que ens fan por els canvis i les coses noves, malgrat vivim en un món culturalment i tècnicament sempre canviant. Així mateix, tot sovint aquesta por es transforma radicalment en esperança i il·lusió quan veiem una aplicació que de forma directa percebem com un benefici.

Però, què és la biotecnologia, i per què serveix? Quins són els seus precedents històrics? És quelcom realment nou, o és senzillament un graó més en la història del desenvolupament científicotècnic de la humanitat, sempre a la recerca d'una millor qualitat de vida? Com contribueixen els organismes transgènics a buscar, desenvolupar i produir nous tractaments mèdics? Els podem utilitzar fins i tot per obtenir noves fonts d'energia i com a elements bioreparadors del medi ambient? O el seu efecte és just el contrari? És segur consumir organismes transgènics? Quines conseqüències mediambientals té conrear-los? Els aliments transgènics són substancialment diferents dels

seus equivalents no transgènics? Cap a on evoluciona la recerca biotecnològica i les aplicacions comercials d'aquesta? Quines implicacions econòmiques i socials té? Quina normativa la regeix?

Certament, és un camp de recerca, desenvolupament i aplicació científicotècnica que inclou temes controvertits. Tanmateix, la major part de les polèmiques han sorgit de la manca d'informació, la qual cosa ha comportat i continua comportant la tergiversació accidental o voluntària de moltes dades.

La intenció en escriure *Convivint amb transgènics* ha estat realitzar un llibre de divulgació sobre el món de la biotecnologia i dels organismes transgènics, més pròpiament dits genèticament modificats, que doni una visió científica i clara d'aquestes noves eines i tècniques aplicades a l'alimentació, la salut, l'ecologia i l'economia, uns camps relacionats directament a l'existència dels humans i amb clares repercussions en la nostra qualitat de vida. Per aquest motiu he procurat mantenir l'equanimitat de plantejaments, basant les explicacions i les discussions en tot allò que la ciència pot demostrar. Només al final de l'epíleg, al darrer paràgraf, canviaré de registre i donaré el meu punt de vista, el qual continuarà, però, essent influït per la meua formació científica.

L'estructura i la redacció del llibre tenen una clara finalitat divulgativa i, per tant, lúdica i didàctica. El fil conductor és la discussió gradual d'aquestes tècniques, de les aplicacions d'aquestes i de l'estat actual de la recerca científica. S'han agrupat els continguts en tres grans blocs. Els tres primers capítols ("Primera Part. Les bases de les modificacions genètiques: de la revolució neolítica a la revolució biotecnològica") estableixen la història, les bases i els fonaments de la biotecnologia aplicada a l'agronomia, la salut i l'ecologia. Els tres capítols següents ("Segona Part. Els organismes genèticament modificats, avui") discuteixen les aplicacions actuals i les perspectives de futur dels microorganismes (capítol 4), els animals (capítol 5) i les plantes (capítol 6) genèticament modificats. En aquests capítols es parla de les modificacions introduïdes, l'objectiu d'aquestes i les tendències actuals en la generació de nous organismes transgènics, aplicats als mateixos camps esmentats en la primera part del llibre. Finalment, el darrer capítol ("Tercera Part. El debat entorn els organismes genèticament modificats")

discuteix la percepció social dels organismes genèticament modificats, i les qüestions legals que envolten el món de la biotecnologia.

La meva intenció ha estat que l'obra mantingués un compromís entre rigorositat i entreteniment, per la qual cosa l'he escrita amb un llenguatge tan planer com m'ha estat possible sense faltar, però, en cap cas, al més estricte rigor científic. No és en absolut una relació exhaustiva del món de la biotecnologia, la qual seria excessivament llarga i tècnica, sinó una aproximació lúdica i didàctica, apta per a tots els públics, feta a partir d'un bon grapat d'exemples seleccionats. Els capítols estan estructurats en apartats encapçalats per frases que resumeixen el contingut, i l'exposició està agrupada en forma de respostes a preguntes clau. A més a més cada capítol té una introducció i una recapitulació que centren el seu contingut en la globalitat del llibre, i un requadre final que resumeix i repassa les principals idees que s'han discutit.

El propòsit d'aquesta obra és molt clar: contribuir al debat entorn dels organismes genèticament modificats, fent que el lector es pugui crear una idea general de què són, què representen dins el món actual, què se n'espera i quines qüestions legals, socials i ètiques comporten. I també quina influència tenen ja, i com poden millorar la nostra qualitat de vida en un futur immediat.

És difícil no prendre partit davant un tema controvertit com aquest, però en aquest llibre no pretenc crear cap dogma, sinó donar les eines bàsiques imprescindibles perquè cadascú es formi el seu criteri. És a dir, pretenc crear opinió científica, tan necessària per poder participar de les noves troballes científiques en igualtat de condicions i de responsabilitats. Hem de tenir molt clar que és la societat la que ha de decidir el seu futur, però per fer-ho cal que estigui ben informada, que actuï amb coneixement de causa i que assumeixi la necessitat de ser conseqüent amb si mateixa. No podem tenir-ho tot a canvi de res.

Barcelona, març de 2008

David Bueno i Torrens

CAPÍTOL 2

LA BIOTECNOLOGIA AVUI

En el capítol anterior hem vist com els éssers humans hem canviat progressivament la nostra manera de viure i d'entendre el món amb tot un seguit de revolucions tècniques, culturals i socials que han suposat una clara millora de la nostra qualitat de vida i han provocat profunds canvis en el nostre entorn. També hem discutit el paper que els organismes genèticament modificats poden tenir en el manteniment del desenvolupament humà en tots els fronts, inclòs el del medi ambient. En aquest capítol començarem l'exposició sistemàtica dels fonaments dels organismes transgènics i definirem alguns dels termes més utilitzats en aquest llibre. També discutirem quines en són les aplicacions actuals i esmentarem fins a quin punt es troben presents actualment en les nostres vides.

La biotecnologia: una tecnologia, diverses finalitats.

Què és la biotecnologia?

L'evolució de la humanitat ha transcorregut en paral·lel al desenvolupament de l'agricultura i la ramaderia. La producció agrària i ramadera és responsable d'una gran part de la producció d'aliments, però també constitueix una font de matèries primeres renovables per a la indústria tèxtil, farmacèutica, energètica i de la construcció, entre moltes altres. Tota aquesta activitat ha afectat directament el medi ambient, i ha modificat les condicions de desenvolupament dels ecosistemes de la biosfera, la part de la Terra que ocupem els éssers vius. D'altra banda,

el mateix instint de supervivència que duem gravat als gens ha fet que els humans sempre haguem estat interessats en la nostra salut, tant per evitar emmalaltir com per guarir les nostres afeccions. Per tot això, les aplicacions de la biotecnologia en l'agricultura i en la salut tenen importants repercussions socials, i l'interès per comprendre-les millor ha escapat, sortosament, de l'àmbit estrictament acadèmic per esdevenir un focus d'atenció social. Estem acostumats a sentir parlar de la tècnica com un element deshumanitzador, i molts ciutadans associen progrés amb destrucció, tot i que la majoria social no renuncia pas al progrés. Cal, per tant, portar la ciència i la tècnica al bell mig de la nostra cultura

i realitat quotidianes, i integrar-les en el que som i el que volem ser.

La paraula biotecnologia es pot definir de diverses maneres, segons si la considerem de forma àmplia o més restrictiva. En sentit ampli, el terme biotecnologia es defineix senzillament com la utilització d'éssers vius per obtenir productes. Aquesta paraula la va encunyar l'enginyer hongarès Karl Ereky el 1917, per descriure el procés integrat de producció de porcs a gran escala utilitzant com a aliment arrels de blada. Per tant, aquesta definició inclou des dels conreus i la ramaderia tradicionals, l'objectiu dels quals és obtenir productes alimentaris, fibres tèxtils, etc., fins a la utilització d'organismes modificats genèticament per obtenir fàrmacs. També inclou, per exemple, la indústria làctia de producció de iogurts i formatges, i la vinícola, en què, a més dels productes de la terra (llet i most respectivament), s'utilitzen diversos ferments, alguns dels quals són certament sofisticats, per modificar-ne l'estructura, el gust i les qualitats.

Per exemple, per obtenir el quefir, un tipus d'aliment probiòtic¹ centenari realitzat amb llet fermentada de camell, originari de les muntanyes del nord

del Caucas i que actualment també es pot trobar a les prestatgeries de molts supermercats (fet, això sí, amb llet de vaca), s'utilitza una barreja de més de 60 ferments diferents que actuen de manera seqüencial sobre la llet. És, per tant, un producte de la biotecnologia en sentit ampli. Aquests ferments inclouen tant bacteris com fongs, els quals creixen junts en una massa blanquinosa anomenada també quefir. El nom *quefir* prové del turc i vol dir, traduït de manera laxa, 'trobar-se bé', un dels atributs més emprats en la promoció dels aliments qualificats com a probiòtics, dels quals parlarem a la segona part del llibre. Els microorganismes que componen el quefir han estat seleccionats pels humans per aconseguir una llet fermentada relativament duradora, gustosa i nutritiva, però les seves capacitats com a ferments no han estat alterades de manera directa, sinó que únicament s'han seleccionat els ferments més adequats entre tots els disponibles de forma natural, sense manipular la seva composició molecular.

Per aquest motiu, generalment la paraula biotecnologia s'utilitza de forma més restrictiva. En aquest sentit, la biotecnologia es defineix com l'aplicació

.....

¹ Els aliments probiòtics són aquells que contenen microorganismes vius, generalment bacteris. Es considera que consumir-ne habitualment té efectes beneficiosos per a la salut i que millora l'equilibri de la flora bacteriana intestinal. Els exemples més típics d'aliments probiòtics són el iogurt i altres llets fermentades fresques.

industrial d'organismes vius o de parts d'organismes, i/o la utilització de tècniques biològiques per desenvolupar nous productes, incloent productes alimentaris, farmacològics i industrials. Unes de les tècniques biològiques més modernes i potents emprades en biotecnologia són les anomenades tècniques de DNA recombinant, que s'agrupen sota el nom genèric d'enginyeria genètica, i que permeten manipular directament la composició molecular dels éssers vius i actuar sobre la seva essència, el material genètic.

Què és l'enginyeria genètica?

Tot ésser viu té el seu material hereditari, que en determina les característiques biològiques. En les plantes, per exemple, el material hereditari determina, entre moltíssims altres caràcters, la mida i el nombre dels fruits o dels grans, el contingut nutritiu, el requeriments ambientals que necessita per desenvolupar-se i fructificar (com per exemple les sals minerals, la temperatura, la humitat i el tipus de sòl), etc. Aquest material hereditari, anomenat també material genètic, està format per molècules de DNA (àcid desoxiribonucleic, també conegut com a ADN), unes llarguíssimes cadenes lineals enrotllades en forma de doble hèlix que contenen els gens. Dins aquest esquema, els gens són les unitats bàsiques de l'herència, els segments de DNA que contenen la informació necessària per determinar les característiques biològiques. De DNA i de gens, però, en parla-

rem més detingudament en el capítol 3. De moment, direm que les tècniques de DNA recombinant permeten modificar directament els gens i, per tant, la informació que codifiquen.

L'enginyeria genètica es pot definir com el conjunt de tècniques i processos que, de manera sistemàtica, empren i imiten processos naturals per fer combinacions noves i inèdites de material hereditari; en definitiva, permeten modificar els gens. En el capítol 3 també discutirem quines són aquestes tècniques i com s'utilitzen. De moment, podem avançar que aquestes noves combinacions de material hereditari poden ser introduïdes en organismes capaços de propagar-les continuadament i/o de fer-les funcionar, amb la qual cosa se n'alteren les característiques biològiques. Són els OGM².

Quin ha estat el desenvolupament de la genètica com a disciplina científica?

Abans de continuar, però, fem una mica d'història. Mai no podrem saber amb certesa quan es va reconèixer per primer cop el fet de l'herència dels caràcters biològics. De tota manera, determinades dades arqueològiques com ossos i cranis conservats, llavors seques i art primitiu, ens han proporcionat indicis molt valuosos que demostren que ja fa milers d'anys, durant la revolució neolítica, es van començar a domesticar animals i a conrear plantes. També indiquen que la selecció de variants concretes tant de plantes com d'animals va començar fa molt de temps, triant i

encreuant els organismes que manifestaven les característiques hereditàries més convenients, de la mateixa manera que fa segles que es van seleccionar els millors ferments per elaborar el quefir, el iogurt, el vi, la cervesa o la salsa garum romana (un premsat de peixos o entranyes de peix adobat amb sal, deixats assecar al sol, envasat en àmfores i fermentat), entre un llarg etcètera d'altres productes derivats.

En aquest sentit, totes les dades arqueològiques indiquen que primer es van domesticar els animals, i posteriorment es van començar a conrear les plantes. El conreu de plantes és més complex que el manteniment d'animals estabulats, atès que s'ha de tenir en compte l'adob, el rec i el condicionament del sòl, processos molt menys obvis a ulls d'un humà del neolític que alimentar un animal. Per exemple, se sap que entre els anys 8000 i el 1000 aC es van domesticar els cavalls, els camells, els bous i moltes races de gossos, que procedeixen d'exemplars salvatges de la família dels èquids, els camèlids, els bòvids i els llops, respectivament. Es pensa que les plantes com el blat de moro, el blat, l'arròs i la palmera datilera es conreen com a mínim des de l'any 5000 aC. En l'art assiri (4300-610 aC), per exemple, hi ha relleus que mostren

la pol·linització artificial de la palmera datilera. Tal com s'ha explicat en el capítol 1, amb tota seguretat, aquesta selecció deliberada ha influït en els tipus de palmeres actuals, vist que, per exemple, en tan sols quatre oasis del Sàhara hi ha més de 400 varietats de palmeres, algunes de les quals es diferencien en caràcters com el gust del fruit. Totes les dades prehistòriques de què es disposa indiquen que els nostres avantpassats van intentar manipular la composició genètica dels organismes, i que ho van fer amb èxit. Una cosa, però, és fer-ho de manera intuïtiva, seleccionant i encreuant les variants més adequades entre totes les que la natura ofereix, i una altra ben diferent és reconèixer el mateix fet de l'herència i manipular directament les biomolècules implicades en la direcció desitjada.

La primera dada escrita de què es disposa on es pot veure un reconeixement explícit del fet de l'herència biològica dels caràcters es troba en el *Garbha-Upanishad*, un text hindú escrit l'any 1416 aC que explica amb detall el procés de concepció i creixement del fill dins les entranyes de la mare, on es pot llegir textualment: "Per la conjugació de la sang i el semen l'embrió obté l'existència." Probablement, però, no es va dedicar una gran atenció a intentar

.....

² OGM és l'acrònim d'Organisme Genèticament Modificat. En anglès es designen com GMO, de *Genetically Modified Organisms*.

explicar el fenomen de l'herència biològica fins a l'esclat de coneixement de la cultura grega. Els pensadors de l'escola hipocràtica de medicina (500-400 aC) i el filòsof i naturalista Aristòtil (384-322 aC) es van interessar per entendre l'origen de la matèria que produeix l'individu i la naturalesa de les forces generadores. Així, per exemple, en el tractat *Sobre la llavor*, els filòsofs hipocràtics van argüir que “el semen masculí es forma a partir dels caràcters hereditaris de moltes parts del cos”.

En els 1.900 anys posteriors, fins al segle XVII, els coneixements teòrics sobre l'herència no es van ampliar, encara que hi hagué un gran interès a aplicar-los per millorar les espècies animals i vegetals. Entre el segles XVII i XIX es van fer grans avenços en biologia experimental, entre els quals cal incloure, a mitjan segle XIX, els treballs de Mendel sobre el patró d'herència dels caràcters biològics. En relativament poc temps es va passar de la idea conceptual més o menys etèria d'herència biològica a:

1) Conèixer les lleis que la regeixen, amb els treballs de Mendel, publicats el 1866 i en què va utilitzar diverses soques de pesoleres. Aquests treballs van ser redescoberts el 1904 per William Bateson, Carl Correns i Hugo de Vries.

2) Descobrir quina és la molècula que transporta aquesta informació, el DNA, amb els experiments de Frederick Griffiths, publicats el 1927, i els d'Oswald Avery, Colin MacLeod i Maclyn McCarty, publicats el 1944, en què van

utilitzar diverses soques de bacteris causants de la pneumònia.

3) Deducir l'estructura del DNA, amb els treballs de James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin i Francis Wilkins, publicats pels dos primers el 1953, i pels quals tots, excepte Rosalind Franklin, van rebre el premi Nobel el 1962.

4) Manipular el material genètic, procés que es va iniciar amb el treball de Kathleen Danna i Daniel Nathans, publicat el 1971, en què van descriure per primer cop un enzim que permet manipular el material genètic a voluntat de l'experimentador, i pel qual Nathans va rebre el premi Nobel junt amb altres científics el 1978.

I és just en aquest moment, amb aquest darrer treball esmentat, quan es considera que van néixer les tècniques de DNA recombinant. Aquestes tècniques, que com hem dit s'agrupen sota el nom genèric d'enginyeria genètica, es basen a manipular i combinar de forma nova diversos fragments de DNA, és a dir, a recombinar-los per tal de conferir-los una nova funció.

Què són els organismes genèticament modificats i quina n'és la finalitat?

Els OGM, més coneguts popularment com transgènics, són organismes als quals s'ha modificat el seu contingut genètic mitjançant tècniques d'enginyeria genètica, ja sigui introduint un gen forà (o més d'un) o bé suprimint o modificant la funcionalitat d'un gen propi (d'aquí el nom de *transgènic*, mot que etimològicament vol dir 'a través

dels gens'). Això fa que en l'organisme receptor es modifiqui o se suprimeixi alguna característica biològica que li era pròpia, o que se n'afegeixi alguna de nova a les que ja tenia. Tots els éssers vius de l'escala evolutiva es poden modificar genèticament, des dels bacteris als mamífers, passant pels fongs, els virus, els insectes, els peixos, les plantes, etc. N'hi ha, però, que són més fàcils de manipular que d'altres.

L'objectiu general de les modificacions és conferir-los característiques que siguin d'interès per als humans, com per exemple la resistència a insectes de les gramínies, la qual cosa permet disminuir la quantitat de pesticides que s'han d'utilitzar; la producció d'arròs més ric en vitamina A per evitar problemes de malnutrició en zones on aquest aliment és la principal o potser quasi l'única font d'aliment; la generació de bacteris bioreparadors que, per exemple, segreguin metalls pesats altament contaminants del medi ambient per tal de descontaminar zones malmeses; o la producció de vaques la llet de les quals contingui un factor humà de coagulació sanguínia, un fàrmac per tractar l'hemofília. Aquest exemples no han estat pas trets d'una obra de ciència-ficció, sinó que ja són una realitat.

La utilització d'OGM no és pas una novetat del segle XXI. Ja des de 1982 molts diabètics reben diàriament insulina humana, idèntica a la que faria el pàncrees, però que és produïda en bacteris, concretament en unes soques específiques genèticament modifica-

des de l'espècie *Escherichia coli*, uns bacteris intestinals. I no és, en absolut, l'únic cas. Actualment els humans podem gaudir de diverses dotzenes de productes farmacològics d'origen humà, com per exemple l'hormona de creixement, els factors de coagulació, els anticancerígens, les vacunes, etc., produïts en bacteris, llevats i cèl·lules de mamífer, tots ells genèticament modificats i mantinguts en cultiu al laboratori com a biofàctories.

Però des del punt de vista de la percepció social, una cosa són els organismes unicel·lulars que produeixen productes farmacològics i una altra de ben diferent, els animals i les plantes transgèniques. Respecte al consum de plantes genèticament modificades, el 1997 els habitants de molts països industrialitzats ja n'havien consumit, sense saber-ho, en forma d'aliments processats. Aquests cultius transgènics, principalment de soja (*Glycine max*) i de blat de moro (*Zea mays*), s'havien obtingut originalment per produir farfatges animals, però es van barrejar amb cultius convencionals durant el transport i la comercialització sense que les etiquetes ho especifiquessin. En aquest sentit, al desembre de 1996 la Comunitat Europea va admetre que, des de l'1 d'octubre d'aquell mateix any, s'havien produït importacions il·legals de blat de moro procedent dels EUA que havien entrat pels ports d'Anvers, Rotterdam, Lisboa i Barcelona.

Quan es parla d'organismes transgènics a la major part de nosaltres el pri-

mer que ens ve al cap són les plantes transgèniques, però tal com ja hem esmentat s'estan generant OGM en tota l'escala d'éssers vius. Hi ha diferències entre els diversos OGM? Per començar, cal dir que les tècniques i els materials utilitzats són bàsicament els mateixos en tots els OGM, però les finalitats són molt diverses. Actualment s'estan dissenyant OGM com a biofàctories per produir productes farmacològics, generalment microorganismes i cèl·lules de mamífer en cultiu, però també alguns animals i plantes; com a biofàctories de materials de construcció, tèxtils i energètics, especialment en plantes; com a bioreparadors del medi ambient, generalment bacteris; com a models experimentals de malalties humanes per entendre'n les causes i trobar i assajar possibles teràpies en animals, sobre tot ratolins; i com a productes alimentaris, ja sigui per a farratge d'animals o per a consum humà, també en plantes. Tant si utilitzem els OGM com a aliment com si ho fem per produir fàrmacs, o com a biofàctories, el cert és que actualment, com veurem a continuació, n'utilitzem ja una gran quantitat.

Tal com el lector pot apreciar, la diversitat i les aplicacions d'organismes utilitzats és molt àmplia. Per tant, per a tots aquells que sigueu contraris als "aliments transgènics", que en propietat hauríem d'anomenar aliments derivats d'OGM, una posició perfectament respectable i de la qual en parlaré més endavant, si us plau vigileu quan utilitzeu la famosa consigna "*Transgènics*

fora", atès que dita d'aquesta manera inclou també totes les altres aplicacions dels OGM, que de ben segur ens han salvat o ens salvaran a molts de nosaltres en més d'una ocasió, o com a mínim contribuiran a millorar la nostra qualitat de vida.

Quines crítiques reben els OGM? Una primera aproximació

Els OGM han estat sempre envoltats d'una certa polèmica. És molt probable que hi hagi persones contràries a moltes o a totes les aplicacions dels OGM, com per exemple els col·lectius que defensen els drets dels animals en el cas dels animals transgènics utilitzats com a models experimentals per a malalties humanes, de la mateixa manera que hi ha persones contràries a les vacunacions obligatòries dels infants malgrat el gran avantatge social col·lectiu que representen; però certament l'aplicació socialment més conflictiva dels OGM és la que fa referència a les plantes transgèniques, fet que les ha convertides en un dels principals cavalls de batalla d'algunes organitzacions ecologistes. Els motius que se n'esgrimeixen són diversos, però es poden resumir en tres grans punts: els hipotètics perills per a la salut humana, les possibles interaccions negatives amb el medi ambient i les qüestions socials, centrades en les marques de propietat (patents), els monopolis i els destinataris dels guanys econòmics. Tanmateix, si s'analitzen les consignes

contràries a la utilització de plantes transgèniques des d'un punt de vista científic, la primera constatació que hom pot fer és la gran manca d'informació sobre aquests organismes en els plantejaments inicials i, fins i tot, una manipulació de la informació. De fet, una de les acusacions encreuades més freqüents entre les organitzacions contràries a les plantes genèticament modificades i les empreses de biotecnologia és la de manipular la informació, per defensar les seves postures en el cas de les organitzacions contràries i per facilitar la comercialització en el cas de les empreses implicades. En aquest sentit, s'han publicat diversos llibres suposadament científics, alguns dels quals han estat traduïts al castellà, com per exemple *Ingeniería genética: ¿Sueño o pesadilla?*, de Mae-Wan-Ho, i *Plantas transgénicas. La amenaza del siglo XXI*, de Robert Ali Brac de la Pirrière i Franck Seuret, on fins i tot es qüestiona la implicació directa del DNA, dels gens, en la determinació de les característiques biològiques dels organismes.

Tanmateix, si s'analitza l'actuació de les companyies de biotecnologia, especialment en els inicis, també es poden observar errades estratègiques importants que han contribuït a enfortir i donar ales als arguments de les organitzacions contràries a la utilització de plantes transgèniques. Podem esmentar, per exemple, el cas que va afectar Percy Schmeiser, un agricultor canadenc, que ha estat utilitzat moltíssimes ve-

gades per les organitzacions contràries al conreu de plantes genèticament modificades. El 1998, segons va declarar Schmeiser en un judici sobre els drets d'utilització de plantes transgèniques, va plantar com cada any una varietat no transgènica de colza als seus camps. Els seus veïns, en canvi, com ja havien fet les dues temporades anteriors, van plantar una varietat de soja transgènica de la companyia Monsanto, una de les principals companyies de biotecnologia que ofereix llavors genèticament modificades. Poc abans de la collita, inspectors de la delegació canadenc de Monsanto van entrar als camps de conreu de Schmeiser i, sense cap autorització, en van agafar mostres. L'anàlisi genètica va demostrar que el 20% de la colza era d'origen transgènic, com la dels veïns. Segons la companyia, Schmeiser havia plantat llavors transgèniques barrejades amb les convencionals per tal de millorar el rendiment dels camps, sense pagar la llicència pertinent a Monsanto, aproximadament uns 15 dòlars canadencs per acre (un acre és una mesura anglosaxona de superfície que equival a 4.047 m²). Segons Schmeiser, aquest 20% transgènic era el resultat del pol·len procedent dels camps dels veïns, que havia contaminat la colza. Monsanto va dur Schmeiser a judici, i el jutge va donar la raó a la companyia de biotecnologia, i va obligar l'agricultor a pagar més de 22.000 dòlars canadencs a Monsanto en concepte de llicència per usar-ne les llavors patentades. Independentment de qui tingués raó, aquest

precedent va malmetre innecessàriament la reputació dels OGM i de les companyies de biotecnologia.

Un altre exemple fa referència a la informació subministrada per les companyies de biotecnologia quan sol·liciten la llicència de comercialització a les agències governamentals corresponents. En aquest sentit, s'ha acusat algunes companyies de no revelar inicialment que les llavors, a part de dur el gen específic que els confereix una determinada característica útil, com per exemple resistència a plagues, també porten incorporat un altre gen que els dona resistència a un antibiòtic, i que és utilitzat com a element de selecció durant el procés de manipulació i generació dels OGM, sempre en fases prèvies a la comercialització. Aquest fet, detectat en una de les primeres llicències concedides, també ha contribuït innecessàriament a generar una sensació d'inseguretat cap a aquests tipus de cultius. El millor recurs, tant pels defensors com pels detractors, hauria de ser sempre una informació completa i verídica. Però de tot això en parlarem més endavant. Ara, per acabar d'introduir el tema, anem a parlar de fins a quin punt els OGM es troben presents en les nostres vides.

Els OGM són àmpliament utilitzats en diversos camps.

Quina extensió de conreus OGM hi ha actualment, i de quines varietats?

L'any 1996 es van produir les primeres alliberacions de plantes genèticament modificades, la qual cosa equival a dir, segons la terminologia biotecnològica, que es van realitzar els primers conreus comercials, després que les agències implicades, concretament la FDA -*Food and Drug Administration*³, als EUA, els autoritzessin. Des d'aquests inicis, la superfície mundial conreada amb plantes genèticament modificades no ha deixat de créixer espectacularment. Les dades més recents de què es disposa són de l'any 2006, i indiquen que s'ha superat ja la barrera psicològica dels 100 milions d'hectàrees conreades en tot el planeta, barrera que s'havien proposat superar les empreses de biotecnologia en acabar la primera dècada d'implantació d'aquests cultius. Concretament, l'any 2006 es van conrear 102 milions d'hectàrees amb diverses varietats de plantes genèticament modificades, repartides en 22 estats diferents. Pel que fa als agricultors implicats, es calcula que el 2006 en van ser 10,3 milions.

.....

³ *Food and Drug Administration* és l'oficina americana d'alimentació i medicaments, aproximadament equivalent al Ministeri de Sanitat i Consum espanyol.

Com es pot observar en la figura 2-1, l'increment ha estat espectacular i sostingut, no només en el nombre d'hectàrees conreades sinó també en el nombre d'estats implicats i d'agricultors que han triat aquesta opció. Per exemple, si comparem dades recents, l'any 2004 hi havia 17 estats que tenien camps de conreu sembrats amb varietats d'OMG, davant els 23 de l'any 2007 (un incre-

ment superior al 26%). S'ha passat de 81 milions d'hectàrees conreades el 2004 a més de 114 milions el 2007 (un increment superior al 30%); i el nombre d'agricultors que les utilitzen ha crescut dels 8,25 milions el 2004 als 11 milions el 2007 (un increment del 25%).

Dels 22 estats que el 2006 van conrear plantes genèticament modificades,

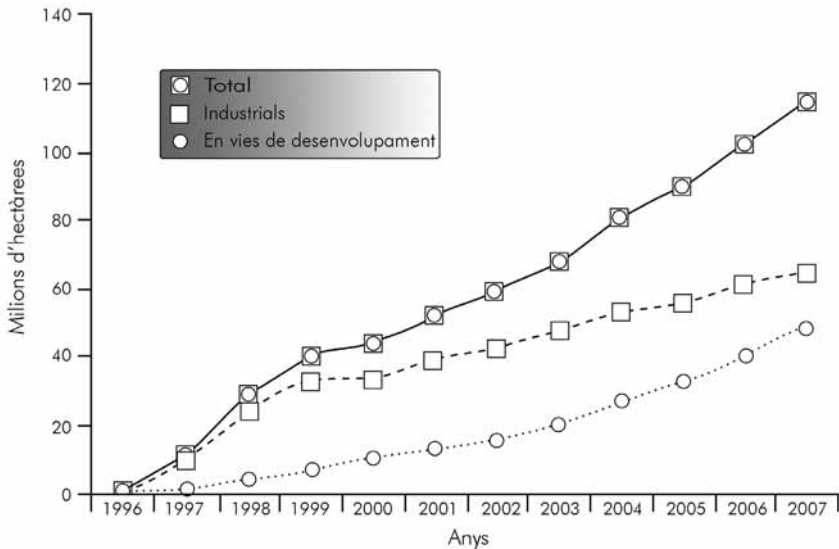


Figura 2-1. Superfície mundial conreada amb variants de plantes genèticament modificades des de les primeres alliberacions d'aquests conreus, el 1996, fins al 2007. Es mostra la superfície total conreada i desglossada segons correspongui a països industrialitzats o en vies de desenvolupament.

Font: ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications), Resum Executiu del 2007.

n'hi ha 13 que es consideren megaproductors (figura 2-2). Els estats megaproductors són aquells que posseeixen més de 50.000 hectàrees conreades amb OGM, amb independència de la superfície agrícola total de l'estat en qüestió, i són, per ordre decreixent

de superfície conreada amb OGM, els EUA, l'Argentina, el Brasil, el Canadà, l'Índia, la Xina, el Paraguai, la República Sud-africana, l'Uruguai, Austràlia, Romania, Mèxic i l'estat espanyol.

Quant a les plantes genèticament modificades que actualment ja es conreen

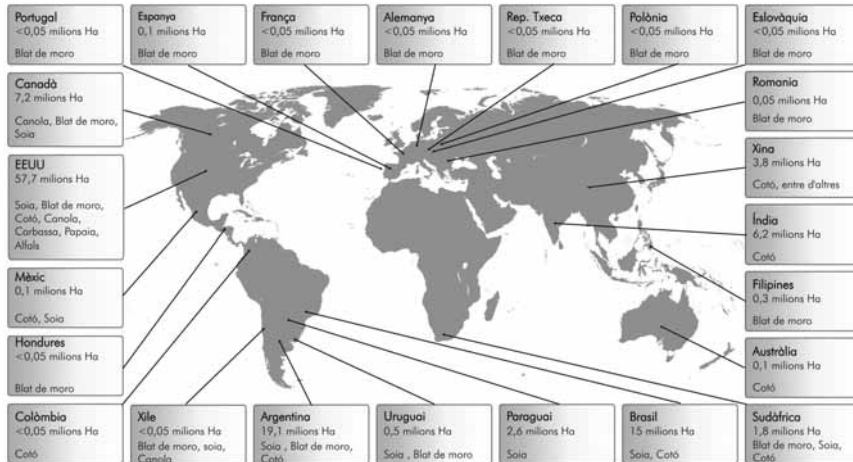


Figura 2-2. Estats productors de plantes genèticament modificades durant l'any 2006. Es fa esment de la superfície conreada i dels tipus de conreus de cada estat. Font: ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications), Resum Executiu del 2007. (Il·lustració: Jordi Armengol)

i es comercialitzen, les més utilitzades són, en ordre decreixent d'hectàrees cultivades, la soja, el blat de moro o panís, el cotó i, a més distància, l'arròs, la colza o el nap, la carbassa, la papaia i l'alfals. Les característiques genètiques que s'han modificat inclouen, entre altres, la introducció de gens de

resistència a herbicides, els quals s'han aplicat a la soja, el blat de moro, la colza, el cotó i l'alfals, i que representen el 68% del total de cultius d'OGM; gens de resistència a insectes, concretament a l'eruga de la barrina, el qual s'ha aplicat al blat de moro i al cotó, i que representa el 19% del total de cultius

d'OGM; i d'ambdues característiques alhora, també en blat de moro i cotó, els quals representen el 13% del total de cultius d'OGM.

Altres dades que cal destacar són l'enorme abast d'aquests conreus en determinats estats, com per exemple als EUA, on el 80% de conreus de soja i cotó són transgènics. A més a més, segons el Resum Executiu del 2007 de l'*International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications* (ISAAA), els avantatges econòmics nets globals per als agricultors que es dediquen a aquests conreus es xifren en 7.000 milions de dòlars durant el 2006 i en 34.000 milions de dòlars durant el període acumulat 1996-2006. D'aquests 34.000 milions de dòlars acumulats, 16.500 milions corresponen a estats en vies de desenvolupament i 17.500 milions a estats industrialitzats. Tanmateix, més de 50 estats ja han aprovat la regularització de conreus d'origen biotecnològic, i en els 23 estats on ja es conreen plantes transgèniques hi viu més del 55% de la població mundial. En aquest sentit, es preveu que abans de l'any 2015 ja hi hagi 20 milions d'agricultors en tot el món que conreïn més de 200 milions d'hectàrees de terreny en més de 40 estats diferents. I, finalment, segons l'empresa Cropnosis⁴, el valor del mercat agrobiotecnològic mundial va ser de 6.900 milions de dòlars el

2007, la qual cosa equival al 16% del valor del mercat global de protecció de cultius, i al 20% del valor del mercat global de llavors comercials. Es preveu que el 2008 el valor total superi els 7.500 milions de dòlars.

Quins conreus d'OGM hi ha a Catalunya i a l'estat espanyol?

Més a prop de casa, el 2007 a l'estat espanyol hi havia unes 70.000 hectàrees conreades amb blat de moro transgènic, de moment l'únic conreu OGM present a l'estat. De les diverses comunitats que el componen, la que manté un registre més exhaustiu és Catalunya. A Catalunya el conreu de blat de moro genèticament modificat es va iniciar el 1998, i l'increment de superfície conreada també ha estat pràcticament constant (Figures 2-3 i 2-4). L'any 2005 es van conrear 17.170 hectàrees, la qual cosa representa el 42,13% del total de superfície conreada amb blat de moro (unes 40.745 hectàrees totals). Al conjunt de l'estat espanyol l'any 2005 es van cultivar unes 53.000 hectàrees amb blat de moro genèticament modificat, la qual cosa representa el 12,79% de la superfície total conreada amb blat de moro (414.300 hectàrees). L'any 2007, a Catalunya el cultiu de blat de moro genèticament modificat va representar el 41,32% del total, un xic menys que l'any anterior, i a l'estat espanyol el 19,16%.

.....

⁴ Cropnosis és una empresa de serveis de consultoria sobre protecció de conreus i aplicacions biotecnològiques.

En concret, actualment es conreen dues varietats de blat de moro genèticament modificades: el Bt-176 i el MON-810, ambdues genèticament protegides contra l'eruga de la barrina, a les quals s'ha introduït un gen específic que evita o disminueix l'efecte d'aquesta plaga. Per comarques, a Catalunya la major part de conreus transgènics es concentren al Segrià i a la Noguera, però n'hi ha a moltes zones de la geografia del país (figura 2-5).

Pel que fa a la comercialització, part d'aquest blat de moro s'empra per a produir farratges per a la indústria ramadera, però és important fer esment que també es pot destinar a la producció de biocombustible, i més concretament de biodièsel, més respectuós amb el medi ambient que el dièsel derivat d'hidrocarburs fòssils, com el petroli (figura 2-6). Evidentment, per fer biocombustibles no cal que les plantes siguin transgèniques, però potser en un

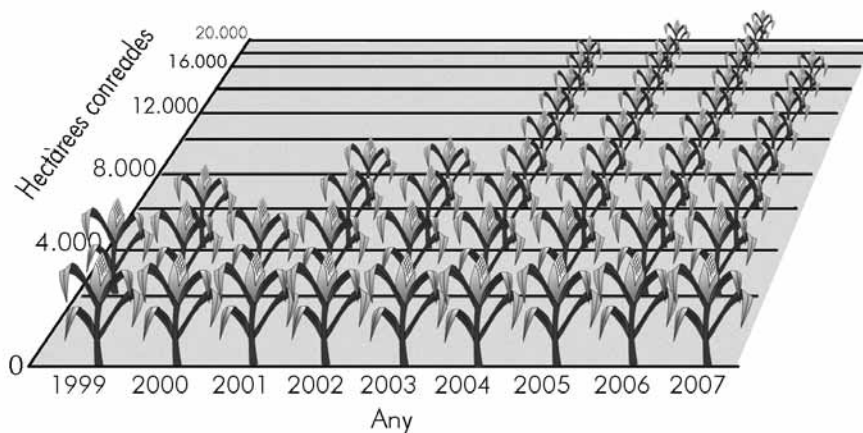


Figura 2-3. Evolució de la superfície conreada a Catalunya amb blat de moro genèticament protegit contra l'eruga de la barrina.

Font: Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya.

CATALUNYA					
ANY	SUPERFÍCIE (en hectàrees)			MODIFICACIÓ GENÈTICA	
	Total	GM	GM/Total (%)	Bt-176	MON-810
2003	41.625	5.390	12,54	-	-
2004	41.925	16.259	38,78	2.187	14.005
2005	40.745	17.170	42,13	928	16.242
2006	36.042	19.840	55,05	-	-
2007	35.663	14.736	41,32	-	-
ESPANYA					
2005	414.300	53.000	12,79		
2006	353.600	60.000	16,97		
2007	365.300	70.000	19,16		

Figura 2-4. Taula de la superfície conreada a Catalunya i al conjunt de l'estat espanyol amb variants de blat de moro transgènic en funció de la varietat i l'any, entre el 2003 i el 2007. Percentatge respecte al total conreat amb blat de moro.
Font: Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya i Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

futur proper es podran incorporar característiques a aquestes plantes que facin el combustible encara menys contaminant i amb més poder energètic, o que incrementin la productivitat per fer que aquests conreus siguin més rendibles. I això potser també contribuirà a evitar la desforestació mundial contra la qual va advertir l'ONU a mitjan 2007, causada per l'increment de demanda d'aquests conreus. I és que en el nostre petit planeta cada cop han de conviure més la demanda i la utilització de fonts energètiques amb la necessària protecció del

medi ambient, per garantir el manteniment de la nostra qualitat de vida.

Sigui com sigui, en els darrers cinc anys a Catalunya s'han doblat les plantacions destinades a l'obtenció de productes energètics fins assolir les 1.862 hectàrees del 2006, bàsicament de blat, ordi i colza, cap dels quals és ara per ara transgènic, encara que en altres països ja es conreen algunes varietats transgèniques d'aquests cultius. De moment, a Catalunya les plantacions destinades a l'obtenció de biodièsel només són rendibles si es conreen en les anomenades ter-

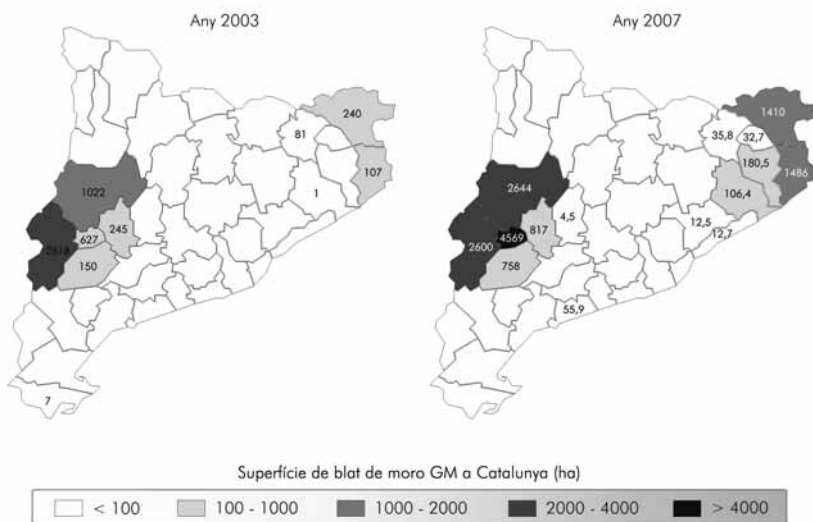


Figura 2-5. Distribució dels conreus de blat de moro genèticament modificat per la geografia catalana. Per poder comparar l'evolució en funció de les comarques, es mostren les dades dels anys 2003 i 2007. Hi ha comarques com el Bages, Osona i el Barcelonès on l'any 2004 hi havia camps conreats amb blat de moro transgènic, dades que no queden reflectides en aquest mapa. (Il·lustració: Jordi Armengol)
 Font: Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya.

res de retirada, aquelles que no es poden destinar a productes per al consum humà o animal perquè tenen una rendibilitat inferior a la necessària per a la producció alimentària. I l'ús de transgènics podria millorar molt aquest rendiment.

Per tant, en resum, segons l'ISAAA les previsions apunten cap a un increment i una diversificació clars dels

conreus d'OGM a escala mundial, amb la incorporació de noves modificacions genètiques en un nombre de plantes cada cop més elevat. A més, aquestes plantes inclouran no tant sols varietats destinades a farratge animal i a alimentació humana, sinó que també aniran dirigides, per exemple, a la producció de biocombustibles més

Emissió	% de canvi en les emissions respecte al dièsel derivat del petroli	
	B100 (100% biodièsel)	B20 (80% biodièsel)
Monòxid de carboni	- 47	- 12
Hidrocarburs	- 67	- 20
Partícules	- 48	- 12
Òxids nitrosos	+ 10	+ 2
Altres contaminants atmosfèrics	entre - 60 i - 90	entre - 12 i - 20
Agents mutagènics	entre - 80 i - 90	entre - 20 i - 23

Figura 2-6. Disminució de les emissions del biodièsel en comparació amb el dièsel derivat del petroli. B100 fa referència a un motor que funciona només amb biodièsel. B20 fa referència a un motor que funciona amb una barreja d'un 80% de dièsel derivat del petroli i un 20% de biodièsel.

respectuosos amb el medi ambient i a altres productes d'interès industrial i farmacològic, com vacunes comestibles. Però de tot això en parlarem a la segona part del llibre.

Quin benefici se'n treu actualment dels animals genèticament modificats?

L'enginyeria genètica aplicada als animals ha revolucionat tots els aspectes de la investigació mèdica i biològica, des de l'obtenció del primer animal transgènic el 1980. Aquest primer animal era un ratolí al qual es va introduir un DNA sintètic (recombinant) format per un segment del virus de l'herpes, un

segment d'un virus anomenat V40 que afecta els simis i una construcció derivada d'un virus bacterià (un bacteriòfag segons la terminologia científica), amb l'únic propòsit de veure si el material genètic d'aquest ratolí i dels seus descendents havia incorporat el DNA recombinant. Des d'aquesta primera experiència, que va demostrar la viabilitat d'aquesta tècnica, s'ha aconseguit generar un gran nombre d'animals transgènics, incloent cabres, vaques, porcs, ovelles, rates, gallines, mosques, peixos, conills i ratolins, entre altres; tot i que, actualment, el 95% dels vertebrats transgènics són ratolins. Un dels primers animals transgènics que va do-

nar un resultat molt espectacular quant a la seva vistositat va ser un altre rosegador al qual s'havia introduït el gen humà que porta la informació per fabricar l'hormona de creixement (hormona de creixement humana, és clar, atès que el gen utilitzat era l'humà). Per aconseguir-ho, es va associar aquest gen a tots els elements necessaris perquè funcionés correctament dins un ratolí (en el capítol 3 parlarem de quins són aquests elements), la qual cosa va fer que els ratolins transgènics creixessin fins atènyer una mida el doble de la normal per a un ratolí.

Aquest resultat va proporcionar dues dades extremadament valuoses, que són la base de bona part de la transgènia animal actual per a aplicacions biomèdiques i farmacològiques. En primer lloc, va demostrar que si el gen introduït disposa dels elements de control adequats, pot funcionar correctament malgrat que originàriament pertanyés a una altra espècie. I a més a més, que fa la mateixa funció tot i ser dues espècies diferents. És a dir, que si posem un gen de mamífer a un planta aquest gen funcionarà perfectament bé, sense que la planta deixi de ser una planta, de la mateixa manera que si posem el gen de la insulina humana en un bacteri aquest farà insulina humana, però no per això deixarà de ser un bacteri. Aquests dos aspectes són de vital importància per poder extrapolar qualsevol resultat obtingut en ratolins o en altres mamífers als humans.

Un exemple molt interessant d'aquesta ambivalència gènica la trobem en uns experiments en què es volia demostrar precisament aquesta capacitat de bescanvi gènic, centrada en els gens que controlen la formació dels ulls. Quan es van identificar aquests gens en diverses espècies animals, es va observar que alguns eren pràcticament idèntics en tots els organismes de l'escala evolutiva que tenen ulls o òrgans fotosensibles, incloent invertebrats com la mosca i el pop, i tots els vertebrats, àdhuc els humans. En un experiment realment vistós, primer es van construir mosques transgèniques a les quals s'havia eliminat el gen propi que controla la formació dels ulls, la qual cosa feia que les mosques transgèniques naixessin sense ulls. Després, a aquesta mateixa soca de mosques se li va incorporar el gen que controla la formació d'ulls en els humans, per veure si era capaç de dirigir la formació d'ulls en mosques. Tal com el lector ja es deu imaginar, el resultat va ser exactament aquest: les noves mosques transgèniques naixien amb ulls, i encara que el gen que en controlava la formació fos humà, els ulls que tenien eren els propis d'una mosca (per això qualifico l'experiment de vistós, en sentit real i metafòric).

Quin és, doncs, l'objectiu de generar animals transgènics?

Actualment s'estan generant animals transgènics per a múltiples finalitats, entre les quals les més destacades són:

- Aprofundir en el coneixement de la tecnologia de les modificacions genètiques.

- Desxifrar les instruccions del genoma, el conjunt de gens de cada organisme.

- Estudiar el control genètic dels sistemes fisiològics.

- Construir models animals de malalties genètiques que afecten les persones per tal d'estudiar-ne l'origen i desenvolupament i poder assajar noves teràpies i fàrmacs.

- Millorar, des del punt de vista de productivitat humana, la producció ramadera.

- Produir nous productes d'origen animal, entre els quals nous fàrmacs per tractar malalties humanes, o òrgans animals aptes per a trasplantaments a humans.

Per exemple, actualment es disposa de més de mitja dotzena de soques de ratolins transgènics que reproduïxen la fisiologia i la patologia de la malaltia d'Alzheimer en aquests organismes, la qual cosa permet no només aprofundir en els mecanismes d'aparició, desenvolupament i patogènia d'aquesta malaltia, sinó també cercar, analitzar i assajar noves estratègies i nous productes terapèutics. La malaltia d'Alzheimer és una malaltia neurodegenerativa que es caracteritza per l'acumulació al cervell de determinades proteïnes, i que provoca la pèrdua progressiva de capacitats motores i cognitives. Aquesta malaltia afecta un nombre creixent de persones de tot el món, increment que és molt més acusat als països desenvolupats atès que la seva aparició està estretament relacionada a l'edat de les persones, i és als països desenvolupats on l'esperança

de vida és més elevada. Molts dels tractaments pal·liatius (encara no curatius) que s'apliquen actualment als afectats d'Alzheimer tenen l'origen directe o indirecte en aquests models animals. I el mateix es pot dir per a moltes altres malalties, com el càncer.

Un reflex de la importància dels animals transgènics com a models experimentals de malalties humanes és el nombre creixent de publicacions científiques especialitzades en què es descriu la generació o la utilització d'aquests organismes amb l'esmentat propòsit (figura 2-7).

Un altre exemple de la utilització d'animals transgènics és com a biofàctories per a l'obtenció de fàrmacs per al tractament de diverses malalties humanes. En aquest sentit, per exemple, s'han generat ovelles transgèniques que expressen l'alfa-1-antitripsina humana a la llet. L'alfa-1-antitripsina present a la llet d'aquestes ovelles transgèniques es podria fer servir per tractar l'emfisema. L'emfisema és una malaltia pulmonar que provoca danys als sacs alveolars dels pulmons, que no poden desinflar-se completament durant l'expiració i per tant no poden omplir-se amb prou aire nou durant la inspiració, fet que provoca que la provisió d'oxigen sigui inferior a l'adequada.

També es treballa amb animals transgènics d'interès ramader als quals s'ha modificat alguna de les seves característiques biològiques per fer-los encara més útils per als humans, com els sal-

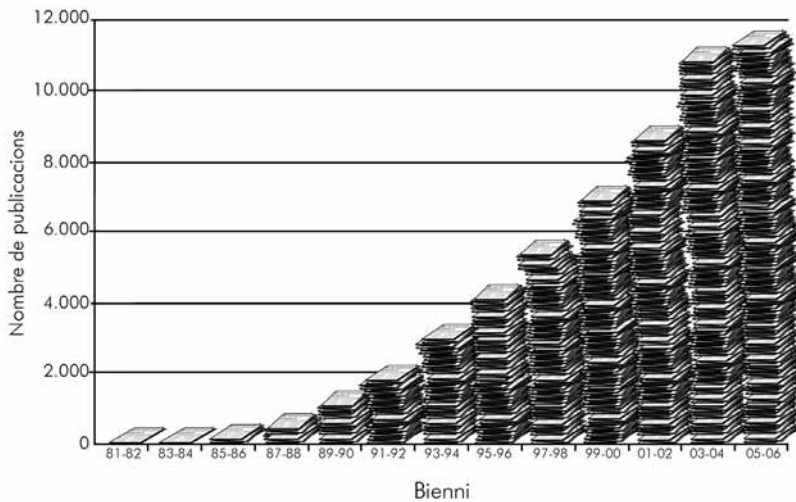


Figura 2-7. *Nombre de publicacions científiques especialitzades en estudis en què s'usen animals transgènics com a models experimentals, representat per biennis, des de la publicació del primer treball on es descriu l'obtenció d'un ratolí transgènic fins a finals del 2006. Com es pot observar, l'increment del nombre de publicacions ha estat constant, encara que sembla que s'estigui arribant a un sostre, probablement a causa de la saturació en la utilització d'aquests models per part dels centres de recerca actius.*

Dades extretes de la base de dades Medline.

mons de creixement ràpid que porten còpies extra del gen de l'hormona del creixement, o els porcs rics en àcids grassos omega-3, que consumits amb mesura contribueixen a regular millor el nivell de colesterol a la sang per evitar els efectes perjudicials d'aquest greix. De moment, però, encara no s'ha

autoritzat la comercialització de cap animal transgènic per al consum. De totes aquestes i d'altres aplicacions en parlarem a la segona part del llibre, un cop haguem analitzat què és el material genètic i com es manipula, per poder copsar amb plenitud totes les possibilitats i implicacions que té.

Què ens donen els microorganismes genèticament modificats?

Els primers organismes als quals es va manipular el material genètic van ser bacteris, ja que tenen una major simplicitat estructural, molecular i genètica. De fet, bona part dels estudis genètics en general s'han realitzat en aquests organismes, altrament molt semblants quant al funcionament a la resta d'éssers vius, la qual cosa ha permès extrapolar moltes dades a la resta d'organismes. A més, com veurem en el capítol 3, els bacteris són una eina imprescindible de l'enginyeria genètica, i s'utilitzen de llançadora per a moltes de les construccions de DNA recombinant.

La clau de l'èxit tècnic dels bacteris es troba en el fet que són més simples en comparació de la resta d'éssers vius, la qual cosa facilita molt la introducció, la recuperació i la manipulació dels gens. Aquesta mateixa simplicitat de manipulació els ha convertit en uns excel·lents bio reactors per a la producció de substàncies de gran interès farmacològic i industrial. El primer producte genètic humà manufacturat que va fer servir la tecnologia del DNA recombinant i amb llicència per a usos terapèutics va ser la insulina humana, disponible des de 1982. La insulina és una hormona proteica que regula el metabolisme de la glucosa. Les persones que no poden produir insulina presenten diabetis, una malaltia que en la forma més greu afecta milions de persones a la Unió europea i a tot el món. Els diabètics que no produeixen prou insulina n'han de prendre com a medicació.

Abans que es pogués disposar d'insulina humana produïda en bacteris, l'únic tractament possible era el subministrament d'insulina d'altres espècies animals, majoritàriament de porc (uns animals amb qui, per cert, compartim bona part de la fisiologia i morfologia, com per exemple la mida i la forma de molts òrgans, com el cor, el fetge i els ronyons, entre d'altres, la qual cosa fa dels porcs transgènics una possible font d'òrgans per a trasplantaments. Però encara no toca parlar d'això). Malgrat que la insulina de porc és molt semblant a la humana, no és exactament igual, la qual cosa fa que no reguli el nivell de glucosa en sang exactament de la mateixa manera. A més a més, pot provocar un cert rebuig en el pacient, ja que com que no és una proteïna humana pot ser detectada pel sistema immunitari com a forana, i provocar una reacció al·lèrgica de conseqüències devastadores per al pacient, que altrament la necessita per a sobreviure. A la segona part del llibre discutirem com s'obté la insulina humana en bacteris, un procediment que va revolucionar el món de la indústria farmacèutica, atès que representa el paradigma de moltes de les tècniques de DNA recombinant.

El cert és que la utilització de microorganismes genèticament modificats ha permès l'obtenció d'un gran nombre de fàrmacs de clara utilitat en medicina. Alguns productes farmacològics, però, no poden ser obtinguts convenientment en bacteris, és a dir, que els bacteris no són capaços de produir la forma ac-

tiva funcional (en el capítol 3 veurem per què). Per això s'han desenvolupat sistemes alternatius de producció que utilitzen cèl·lules de llevat, uns fongs unicel·lulars als quals tot sovint hom es refereix també com a microorganismes; i cèl·lules de mamífer mantingudes en cultiu al laboratori, que tot i que no són microorganismes són molt més fàcils de manipular que no pas els organismes sencers dels quals s'han obtingut. Per tant, per qüestions d'organització del material que forma aquest llibre, des d'ara em prenc la llicència didàctica de tractar els cultius de cèl·lules de mamífer dins el mateix paquet que els microorganismes (i recordaré que és una llicència didàctica cada cop que en parli).

Actualment es disposa de més de 30 productes farmacològics obtinguts en microorganismes i cèl·lules en cultiu genèticament modificats mitjançant la introducció de gens d'origen humà, i les previsions indiquen que el nombre de fàrmacs obtinguts d'aquesta manera anirà creixent de forma proporcional a l'estudi molecular de les afecions humanes, en bona part gràcies a l'anàlisi dels resultats del Projecte Genoma Humà i als animals transgènics de què parlàvem al punt anterior. En la figura 2-8 es mostra una llista d'aquests productes.

Però la producció de productes farmacològics no és pas l'única utilitat dels microorganismes genèticament modificats. La ràpida expansió i l'increment de la sofisticació durant els

darrers cent anys, i molt especialment durant les últimes tres dècades, de les indústries químiques o indústries que empren productes químics, han provocat un augment en la quantitat i la complexitat de les restes tòxiques alliberades al medi ambient. Al mateix temps, també hi ha hagut un increment de la sensibilització social i de les autoritats respecte als problemes mediambientals, que malauradament no s'ha produït en paral·lel al creixement d'aquestes indústries, i que per tant encara està molt allunyat de l'òptim. Però a poc a poc, gràcies a les pressions socials i a les polítiques mediambientals amb recolzament legal, cada cop hi ha més indústries que es preocupen de reduir al màxim els alliberaments de productes tòxics. ha despertat la consciència pública i social dels perills que representen els desastres mediambientals no només per a la vida a la Terra en el seu conjunt sinó també, de forma molt específica, per a la humanitat i per al manteniment de la qualitat de vida assolida. Els grans desastres ecològics del darrer segle, i la conseqüent publicitat sobre els problemes mediambientals que ens afecten i que si no prenem mesures augmentaran fins a nivells cada cop més alarmants, han despertat la consciència pública i social dels perills que representen no només per a la vida a la Terra en el seu conjunt sinó també, de forma molt específica, per a la humanitat i per al manteniment de la qualitat de vida assolida.

Alguns exemples són els vessaments tòxics, com la gran taca de petroli provocada pel trencament dels tancs de l'Exxon Valdés després de colpejar uns esculls el 1989 a Alaska, o el recent *txapapote* a Galícia; el terrible desastre químic de Bhopal, el 1984 a l'Índia, en què es van alliberar 40 tones d'un producte químic molt tòxic –isocianat de metil– emprat en la fabricació de pesticides; la contaminació de molts dels rius i aqüífers tradicionalment emprats pels humans, com la contaminació de metalls pesats que va afectar parts del parc de Doñana i que va causar un vessament de la indústria minera de Rio-into; la progressiva deterioració dels hàbitats aquàtics i dels boscos arreu del planeta; l'alliberament de materials radioactius no només en accidents nuclears com el de Txernòbil, el 1986 a Ucraïna, sinó també com a conseqüència dels residus de les centrals nuclears en actiu; i l'acumulació a l'atmosfera de gasos responsables de l'efecte hivernacle, com els procedents de la combustió d'hidrocarburs, l'autèntic motor econòmic del món i responsable del nivell de qualitat de vida assolit.

En aquest sentit, la biotecnologia ofereix un gran ventall de possibilitats per reduir i fins i tot evitar les conseqüències d'aquests desastres ecològics. La utilització de plantes genèticament modificades que no necessitin pesticides o que permetin reduir-ne l'ús pot contribuir a limitar la contaminació que aquests productes químics generen. Però si ens centrem en els micro-

organismes, l'objecte d'aquest apartat, és important destacar que s'està treballant de forma molt eficient per obtenir bacteris genèticament modificats que produeixin determinats enzims capaços de metabolitzar (destruir) els residus industrials, urbans i humans més variats, des del petroli fins a les aigües fecals, passant pels metalls pesats i els productes responsables dels gasos causants de l'efecte hivernacle.

El futur de la biotecnologia s'acaba d'estrenar. La modificació genètica d'organismes pot contribuir, convenientment aplicada, regulada i controlada (aquests tres punts, com veurem, són de cabdal importància), a mantenir i millorar la qualitat de vida de què gaudim, paradoxalment en els mateixos camps que esgrimeixen els que en són crítics. És l'origen, sens dubte, d'una nova revolució industrial que marcarà el desenvolupament del segle XXI.

Producte	Sistema de producció	Indicació terapèutica
Factor de coagulació VIII	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Hemofília A
Factor de coagulació IX	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Hemofília B
Factor de coagulació VIIa	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Hemofília
Activador del plasminogen tissular	Cultiu de cèl·lules de mamífer / Bacteris (<i>E. coli</i>)	Infart de miocardi
Hirudina	Llevats	Prevenció de trombosi
Insulina	Bacteris (<i>E. coli</i>) / Llevats	Diabetis 'mellitus'
Hormona de creixement	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Deficiència de l'hormona en nens, acromegàlia, síndrome de Turner
Fol·licle-estimulant	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Infertilitat, anovulació i superovulació
Hormona paratiroidal	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Osteoporosi
Gonadotrofina coriònica	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Reproducció assistida
Tirotrorfina	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Detecció / tractament de càncer de tiroïdes
Hormona luteïnitzant	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Determinats tipus d'infertilitat
Calcitonina	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Malaltia de Paget
Glucagó	Llevats	Hipoglucèmia
Eritropoetina (EPO)	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Anèmia
Factor estimulant de colònies de granulòcits/macròfags	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Trasplantament autòleg de medul·la
Interferó alfa	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Hepatitis B i C, diferents tipus de càncer
Interferó beta	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Esclerosi múltiple
Interferó gamma 1b	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Malaltia granulomatosa crònica
Interleucina 2	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Càncer de ronyó
Vacuna antihepatitis B	Llevats	Immunització contra l'hepatitis B
Vacuna antihepatitis A	Llevats	Immunització contra l'hepatitis A
Vacuna antimalaltia de Lyme	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Immunització contra la malaltia de Lyme
Anticòs anti-IgE	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Asma
Anticòs anti-TNF (recombinant)	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Artritis reumatoide

Anticòs anti-IL2	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Prevenió del rebuig agut de trasplantament de ronyó
Proteïna morfogènica d'os-2	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Fractura de tibia
Galactosidasa	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Malaltia de Fabry
Iaronidasa	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Mucopolisacariidosi
Beta-glucocerebrosidasa	Bacteris (<i>E. coli</i>)	Malaltia de Gaucher
DNAsa	Cultiu de cèl·lules de mamífer	Fibrosi cística

Figura 2-8. Productes farmacològics produïts per diversos microorganismes i cèl·lules de mamífer en cultiu modificats genèticament.
 Font: *Nature Biotechnology*, 2003, vol. 21 N°8.

E. coli (o *Escherichia coli*) és el nom d'un bacteri intestinal molt emprat en enginyeria genètica i biotecnologia.

recapitulació

En aquest capítol hem vist què són la biotecnologia i l'enginyeria genètica, i les aplicacions que tenen o poden tenir els OGM per a mantenir i millorar la qualitat de vida de les persones, centrades en l'alimentació, la salut i el medi ambient. En el proper capítol iniciarem l'anàlisi detallada de les bases, els orígens i les aplicacions de la biotecnologia, l'enginyeria genètica i els OGM. Començarem parlant del material genètic, el DNA, de com es manipula i de com es generen els OGM.

CAPÍTOL 2: IDEES PRINCIPALS

- *La biotecnologia és l'aplicació industrial d'organismes vius o de parts d'organismes, i/o la utilització de tècniques biològiques per desenvolupar nous productes, incloent productes alimentaris, farmacològics i industrials.*
- *L'enginyeria genètica és el conjunt de tècniques i processos que, de manera sistemàtica, empen i imiten processos naturals per fer combinacions noves i inèdites de material hereditari. Són les tècniques que permeten modificar els gens i la composició genètica dels éssers vius.*
- *Els OGM són organismes als quals s'ha modificat el contingut genètic mitjançant tècniques d'enginyeria genètica, ja sigui introduint un gen forà (o més d'un) o bé suprimint o modificant la funcionalitat d'un gen propi. És possible modificar genèticament qualsevol ésser viu.*
- *Els OGM reben diverses crítiques, centrades sobretot en els hipotètics perills que poden suposar per a la salut humana, les possibles interaccions negatives amb el medi ambient i determinades qüestions socials, com les patents, els monopolis i els destinataris dels guanys econòmics.*
- *Paradoxalment, els OGM troben les principals aplicacions en el camp de l'alimentació, l'estudi de malalties i el desenvolupament i la producció de nous fàrmacs, i en el manteniment i la millora de la qualitat del medi ambient.*
- *Cal que la biotecnologia s'apliqui, es controli i es reguli de manera exemplar per poder satisfer les necessitats globals de la població.*