

## LA BIOTECNOLOGIA VEGETAL

PERE PUIGDOMÈNECH

*Centre de Recerca en Agrigenòmica, CSIC-IRTA-UAB.*

Adreça per a la correspondència: Pere Puigdomènech. Centre de Recerca en Agrigenòmica, CID-CSIC. Jordi Girona, 18. 08034 Barcelona.  
Adreça electrònica: [pprgmp@ibmb.csic.es](mailto:pprgmp@ibmb.csic.es).

### RESUM

La biotecnologia vegetal en sentit estricte és una de les més antigues i utilitzades en temps històrics i en el temps actual. És una paradoxa que sigui una de les que s'enfronten a una pitjor percepció social. Les plantes que cultivem són el resultat d'una intensa pressió selectiva per part de les societats humanes. Actualment utilitzem eines biotecnològiques com els cultius *in vitro* per propagar d'una manera clonal varietats de propietats interessants en diferents espècies. Utilitzem els marcadors moleculars com a eina de suport de la millora i han estat desenvolupades les varietats modificades genèticament, que estan sent utilitzades de manera creixent en el món en un nombre reduït d'espècies. Els reptes de l'agricultura en les properes dècades ens indiquen que haurem de fer servir qualsevol possibilitat que tinguem a la nostra mà per mantenir un nivell acceptable en la producció d'aliments de la manera menys agressiva possible amb el medi ambient.

**Paraules clau:** genòmica, plantes modificades genèticament, millora genètica.

### PLANT BIOTECHNOLOGY

#### SUMMARY

Plant biotechnology *sensu stricto* is one of the oldest and most used biotechnologies in history and at present. It is a paradox that is one that has to face one of the worst public perceptions. The plants that we use are the results of a strong selection pressure from human societies. At present we use biotechnological tools such as *in vitro* cultures to propagate in a clonal way varieties that have interesting properties of different species. We use molecular markers as an auxiliary tool for breeding and genetically modified varieties have been developed that are increasingly being used in a limited number of species. The challenges of agriculture in the next decades show that we will have to use any possibility that we

may have to maintain an acceptable level of food production in the less aggressive form towards our environment.

**Key words:** genomics, genetically modified plants, genetic improvement.

## INTRODUCCIÓ HISTÒRICA

Si prenem la definició clàssica de *biotecnologia* en sentit estricte (l'ús d'organismes biològics o parts d'aquests per a la producció de béns o serveis) la biotecnologia vegetal és una de les biotecnologies més antigues i una de les més utilitzades en el curs de la història, sobretot durant el segle xx. Per a molts és una de les més prometedores i potser la més necessària de totes, perquè la nostra alimentació en depèn de manera directa. Malgrat això, és potser la més discutida de totes les biotecnologies. La biotecnologia d'aplicació mèdica no té problemes d'acceptació social, mentre que la vegetal, si prenem com a exemple els organismes modificats genèticament, es troba amb una gran oposició. Aquest article tractarà de reflexionar sobre aquesta paradoxa.

La societat neolítica es va basar en el desenvolupament de l'agricultura i la ramaderia. Això vol dir que grups d'humans en diferents parts del món, en un procés simultani que està en la base de la civilització humana, van identificar un petit nombre d'espècies vegetals i animals sobre les quals basarien la seva economia. Un inventari aproximat de les plantes de les quals tenim notícia que han estat utilitzades per les societats humanes en algun moment conté unes quatre mil espècies (Sanchez-Monge, 1991). El procés de domesticació va portar a escollir un petit nombre (menys d'un centenar) d'espècies i, en aquestes, aquelles varietats que tenien les propietats adequades per ser cultivades. El fet és que la base genètica sobre la qual està construïda la nostra societat és molt feble, però ha estat eficaç durant tot aquest temps. De fet, ens ha permès arribar a uns nivells de producció que

fan que trobar aliments hagi deixat de ser un problema per a una gran part dels humans, malgrat l'existència de bosses de fam o desnutrició que no acabem d'eliminar.

Les eines moleculars que hem desenvolupat des de la dècada dels anys setanta ens permeten de comprendre en termes precisos quines van ser les propietats determinants a l'hora de convertir una espècie en un conreu. Per exemple, ha estat identificat el gen que controla el procés d'escissió dels grans en la planta d'arròs madura (Li *et al.*, 2006). Aquest és un dels caràcters més importants a l'hora de permetre un conreu útil per al pagès. Efectivament, a la planta li interessa que la llavor, un cop madura, caigui per poder germinar la temporada següent, però a l'agricultor li interessa que quedi en la planta fins que arribi a la maduresa i la pugui collir. Que en una planta el control genètic d'aquest tipus de caràcters importants per a l'agricultura sigui senzill n'ha afavorit la domesticació. La comprensió del fenomen de la domesticació de les espècies vegetals i animals que són a la base de la nostra alimentació ens està permetent dissenyar noves estratègies per a la millora de les plantes, i en particular ens permet tractar de fer servir les noves eines ofertes per la genòmica per millorar espècies que tenen propietats interessants però que no eren accessibles fins al moment a causa de la complexitat de la seva genètica.

## LA BIOTECNOLOGIA VEGETAL MODERNA

Abans del desenvolupament de les tècniques del DNA recombinant al començament de la dècada dels setanta, podem mencio-

nar dos desenvolupaments importants que es van produir en diferents moments i que marquen els inicis de la biotecnologia vegetal. Es tracta dels cultius vegetals *in vitro* i els inicis dels marcadors genètics de base molecular, en particular els marcadors enzimàtics. En aquest mateix volum dediquem un capítol específic als marcadors moleculars. Els cultius *in vitro* parteixen de l'experiència comuna dels qui treballen amb els sistemes vegetals i sovint poden reproduir un individu vegetal plantant una part de la planta adulta. En termes tècnics podem dir que la població de cèl·lules totipotents, o cèl·lules mare totipotents (cèl·lules que poden donar lloc a una planta sencera en les condicions adequades), és molt abundant en plantes, molt més que en animals. Per tant, si volem tenir plantes iguals que alguna que té unes propietats especialment interessants, una de les maneres és produir-les per esqueixos. Els cultius *in vitro* porten aquesta idea al seu extrem. D'una planta podem cultivar de manera continuada en uns medis determinats cèl·lules en un estat indiferenciat, de les quals, quan ens interessa, podem regenerar plantes senceres i obtenir aquelles que ens interessin. En teoria podríem tenir d'aquesta manera una font inacabable de plantes idèntiques o, si volem, un *clon*, terme que avui ha passat al llenguatge comú. Això és el que es va anar fent de manera progressiva en moltes espècies. Es van anar establint protocols perquè en diferents espècies es poguessin establir cultius en medis artificials que permetessin mantenir teixits que anaven creixent per llarg temps, dels quals es podia extreure una part que, en les condicions adequades, podia regenerar plantes que són genèticament idèntiques entre si. Aquesta tècnica s'usa rutinàriament per obtenir plantes, per exemple en el cas de plantes forestals o ornamentals. Són també la base de l'obtenció de plantes modificades genèticament.

De totes maneres, es pot considerar que la biotecnologia moderna culmina quan vam començar a saber estudiar i modificar el DNA. Això ho podem datar al voltant de l'any 1970. En aquest període es va demostrar que era possible fragmentar i unir segments específics de DNA i transferir-los a bacteris per amplificar-los a voluntat. Això permet de conèixer-ne l'estructura i aconseguir els seus productes en quantitat, fet que permet de fer-los servir en medicina. No tan sols s'obrien possibilitats insospitades per a la recerca en biologia, sinó també possibilitats industrials que han donat lloc a noves possibilitats de negoci i a algunes empreses que han esdevingut actors importants en el camp farmacèutic, però també en el del diagnòstic i en el de les llavors. En biologia vegetal, ben aviat es van començar a aïllar gens d'importància en diferents espècies i a utilitzar les noves metodologies per estudiar qüestions de la fisiologia de les plantes, del seu desenvolupament, de la taxonomia i de la manera com es defensen de l'atac dels patògens, i això ha obligat a tornar a escriure els llibres de text bàsics de la biologia vegetal. Una eina decisiva en aquesta direcció va aparèixer quan es va publicar la possibilitat de modificar genèticament les plantes mitjançant mètodes moleculars.

## LES PLANTES MODIFICADES GENÈTICAMENT

En plantes aquests avenços van culminar l'any 1983, amb la publicació dels primers exemples de plantes transgèniques. Dos treballs publicats de manera pràcticament simultània per grups europeus i americans (Herrera-Estrella *et al.*, 1983; Barton *et al.*, 1983) van demostrar que era possible introduir en plantes de tabac gens construïts en el laboratori a partir de fragments de procedència diferent i que en les plantes regenerades el seu genoma havia adquirit la nova

proprietat que havia estat prevista. Les dues primeres publicacions van fer servir la mateixa aproximació. Es tractava de construccions gèniques amb un promotor potent i un gen de resistència a un antibiòtic que permetia seleccionar fàcilment les plantes transformades i confirmar la presència d'un nou gen funcional en la planta transformada. La planta escollida era també el tabac, espècie en què la regeneració és coneguda per ser especialment eficaç. El mètode de transformació era també similar. Estava basat en les propietats dels bacteris del gènere *Agrobacterium*, sobretot *Agrobacterium tumefaciens*, els quals tenen la propietat d'infectar plantes i de produir en aquestes uns creixements indiferenciats de cèl·lules que produeixen substàncies de les quals s'alimenten els bacteris. Aquest procés es fa fent servir uns vectors plasmídics que tenen aquests bacteris, en els quals hi ha un fragment de DNA (el DNA T) que es transmet a la planta. De fet, és un mecanisme natural de transformació de plantes. Aquest mecanisme va ser l'utilitzat per introduir gens en les cèl·lules de tabac. Després s'han fet servir altres mètodes com la microinjecció, la transformació de protoplasts i el canó de gens. Aquest darrer ha estat el principal competidor d'*Agrobacterium*. Consisteix en un sistema (Klein *et al.*, 1987) que permet introduir el DNA que es vol transformar vehiculat per petites partícules sobre les quals es precipita el DNA. Aquestes partícules es llencen a gran velocitat sobre cultius cel·lulars i deixen anar el DNA al seu pas per les cèl·lules. El sistema és senzill i ha permès de transformar espècies com els cereals, en què no semblava possible fer servir *Agrobacterium*. De totes maneres, el sistema d'*Agrobacterium* permet fer transformacions més controlades i ha acabat imposant-se en el casos en què es tractava de tenir una planta per a un ús agrícola.

La demostració que era possible fer que les plantes adquirissin nous caràcters ge-

nètics fent servir les tècniques moleculars va produir una gran expectació arreu del món. Era una nova manera d'introduir en les plantes caràcters que no eren accessibles mitjançant les aproximacions de la genètica clàssica. En aquesta, si volem obtenir en una espècie una varietat que contingui un caràcter determinat hem de buscar entre les poblacions existents de l'espècie si existeix aquest caràcter i introduir-lo mitjançant encreuaments amb la varietat d'interès. Amb les noves tècniques esdevenia possible buscar aquest caràcter en qualsevol espècie, aïllar el fragment de DNA que el codifica, modificar-lo si és necessari perquè la planta el reconegui com a propi i obtenir la varietat amb el nou caràcter. El procediment semblava més ràpid, senzill, net i barat que la genètica clàssica. La realitat ha esdevingut molt diferent. La modificació genètica de les plantes ha esdevingut sens dubte una eina de poder extraordinari per a la biologia vegetal. Ha fet possible l'estudi de la funció d'una gran quantitat de gens de les plantes. Ha representat una revolució en molts aspectes de l'agricultura, i ha estat en l'origen d'un gran negoci i d'un gran conflicte que ha tingut conseqüències molt significatives en el món de les llavors arreu.

L'any 2006 la superfície plantada amb plantes transgèniques al món sobrepassava probablement els cent milions d'hectàrees, especialment de blat de moro, cotó, soja i colza (Brooks i Barfoot, 2006). De fet, s'ha convertit probablement en la tecnologia que més ràpidament ha estat adoptada en tota la història de l'agricultura. Això ha representat per a un petit grup d'empreses l'oportunitat d'obtenir grans beneficis. L'adopció d'aquestes llavors per part dels pagesos, evidentment, respon al benefici que treuen en termes de reducció de pèrdues per l'atac d'insectes o en termes de facilitat en el conreu en el cas de les varietats tolerants a herbicides. El fet és que un nombre creixent d'agricultors de diferents paï-

sos han utilitzat aquestes varietats. Des del començament de la introducció de les varietats modificades genèticament, ja es van dictar reglaments i directives que posaven en marxa un sistema regulador que tractava que no arribés al mercat cap planta que tingués efectes negatius sobre la salut i el medi ambient diferents dels de les varietats explotades fins al moment. Això es va fer primer als EUA, després a Europa i al Japó i progressivament a la majoria dels països del món en un procés que s'està completant actualment en els països menys desenvolupats. Aquestes regulacions van posar una barrera de cost important a la comercialització de varietats transgèniques, però malgrat tot no van impedir que es produís una reacció en contra en molts països, sobretot a Europa. El fet és que el conflicte ha anat perpetuant-se i els seus efectes han produït, sobretot a Europa, una situació contradictòria i difícil de gestionar. Actualment sembla tan difícil que aquells que estan utilitzant amb èxit aquesta tecnologia deixin d'aplicar-la com que aquesta pugui aplicar-se a moltes més espècies, per un simple problema de cost. Com en tantes altres qüestions, les decisions que es prenguin als països asiàtics, i especialment a la Xina respecte a l'ús d'aquesta tecnologia, per exemple en l'arròs, podrà acabar de ser decisiva sobre el seu futur.

## LA GENÒMICA APLICADA A LES PLANTES

L'arribada de les aproximacions massives a la biologia està obrint unes perspectives completament noves en el nostre coneixement de les bases moleculars del funcionament dels organismes biològics. En les plantes aquest coneixement és particularment important. Quan les tècniques del DNA recombinant van ser desenvolupades al començament dels anys setanta es va tar-

dar poc perquè s'aïllessin els primers gens de plantes. El mateix ha passat amb la seqüenciació dels genomes. El primer genoma relativament complex a ser seqüenciat va ser el del llevat, en un treball fet per un consorci públic europeu (Goffeau *et al.*, 1996). Ben aviat es va veure que si es volia portar aquest treball a un nivell de complexitat superior es podria pensar en els genomes relativament petits d'algunes plantes. L'exemple escollit de manera natural va ser el d'*Arabidopsis thaliana*. Aquesta espècie ja havia estat adoptada feia temps per grups que buscaven un sistema senzill per aplicar-hi les aproximacions de la genètica molecular, de la mateixa manera que durant anys *Drosophila melanogaster* havia estat el sistema d'elecció per als estudis genètics en animals. *Arabidopsis* és una planta petita, amb un cicle vital ràpid, que es pot transformar fàcilment i que a més té un genoma entre els més petits coneguts en plantes. L'any 1992 es va formar un consorci europeu que es va federar amb grups americans i japonesos per seqüenciar el genoma d'*Arabidopsis*. Es pensava en uns terminis de quinze anys, que la realitat de l'acceleració de les tecnologies de seqüenciació van escurçar fins al punt que l'any 1998 ja se'n publicava un fragment del genoma (Bevan *et al.*, 1998) i aquest es completava dos anys després (*Arabidopsis* Genomic Initiative, 2000).

La seqüenciació del genoma d'*Arabidopsis* ha donat lloc a una allau de possibilitats i resultats que han donat una nova visió a la genètica molecular de les plantes. Entre les sorpreses que han aparegut de la seva anàlisi hi ha el nombre de gens, que actualment es troba al voltant dels 26.000, una xifra molt propera a la del genoma humà, o també que una gran proporció del genoma d'aquesta planta, malgrat la seva petita grandària, està duplicat. En qualsevol cas, el genoma ha estat anotat amb una bona precisió i ha esdevingut una eina important de recerca per a la genòmica de plantes. Al

mateix temps han anat desenvolupant-se altres eines, com per exemple col·leccions de mutants produïts sobre pràcticament qualsevol gen de la planta, que estan permetent analitzar la funció dels gens de plantes amb gran detall.

Després del genoma d'*Arabidopsis* han estat encetats altres projectes per seqüenciar genomes de plantes. El següent va ser el de l'arròs. En aquest cas va començar el projecte un consorci internacional liderat pel Japó, però amb participació de diversos països asiàtics, europeus i els EUA. Poc després de començar el projecte dues empreses de llavors (Monsanto i Syngenta) van emprendre el mateix treball. En aquell moment les possibilitats de generar prou propietat intel·lectual a partir de les dades de gens de cereals semblava compensar el cost d'aquests projectes. Ben aviat la problemàtica entorn de les plantes modificades genèticament va fer baixar les expectatives de les empreses i finalment els tres projectes es van fusionar. Mentrestant el Govern de la Xina va subvencionar un projecte propi que en sis mesos va produir un primer esborrany (Yu *et al.*, 2002). El consorci internacional ha acabat produint la millor seqüència d'aquesta espècie (International Rice Genome Project, 2005). Després s'ha acabat el projecte del pollancre (Tuskan *et al.*, 2006) i estan molt avançats els projectes del blat de moro, una lleguminosa model, *Medicago truncatula*, i hi ha en marxa dos projectes de vinya, que han donat lloc en un cas a una seqüència publicada (Jaillon *et al.*, 2007); progressivament els genomes del conjunt de les espècies vegetals que tenen interès, ja sigui per la seva posició filogenètica, ja sigui pel seu interès agrícola, acabaran sent coneguts, fins i tot les més complexes com el blat, la seqüenciació de la qual ja ha començat també. Una de les aplicacions més clares de tenir un conjunt de genomes seqüenciats és la possibilitat de conèixer el que és comú als vegetals i el que és espe-

cífic d'alguna espècie. Una altra és la comparació de mapes genètics i la identificació de gens responsables de caràcters d'interès aprofitant la sintènia o colinearitat entre mapes genètics d'espècies properes. L'existència de la conservació, encara que només sigui parcial, de l'estructura dels genomes entre espècies properes ha estat ja utilitzada en molts casos per aprofitar-se del coneixement molecular d'una espècie propera. L'altre gran grup d'aproximacions que ha obert la disponibilitat de grans col·leccions de seqüències genòmiques és el desenvolupament de tècniques d'anàlisi massiva.

Aquestes tècniques es basen a disposar sobre una base sòlida sondes que corresponen a un gran nombre de gens de seqüència coneguda. En uns casos es tracta simplement de dipositar sobre una superfície de vidre un fragment clonat d'un gen o d'un cDNA. En altres casos el que es tracta és de fer créixer sobre una base de silici una seqüència que se sintetitza fent servir les tècniques que han estat desenvolupades per la microelectrònica. El fet és que sobre una petita superfície podem trobar centenars o milers de seqüències de DNA conegudes. Aquests xips poden ser hibridats amb l'mRNA que conté un teixit determinat. D'aquesta manera es pot tenir informació sobre la variació de l'expressió de milers de gens diferents i podem preveure que observem la totalitat dels gens que s'expressen en un teixit determinat. És obvi que la interpretació d'un nombre tan enorme de dades necessita l'ús d'eines bioinformàtiques molt poderoses. Aquestes aproximacions també es poden fer servir per mesurar la variabilitat genètica que es dona en un organisme determinat si en lloc de RNA hibridem amb DNA. El que sí que és cert és que amb aquestes metodologies la biologia molecular ha fet un tomb decisiu. El programa molecular mateix era essencialment reduccionista. Tractava d'analitzar els fenòmens biològics en termes d'interaccions molecu-

lars. Actualment l'enorme riquesa d'informació ens permet d'analitzar l'expressió del conjunt del genoma i com reacciona en diferents situacions fisiològiques. Arribem, per tant, a una visió holística dels organismes. La biologia de sistemes tracta d'integrar aquesta informació gènica amb una anàlisi completa de les proteïnes presents en un conjunt de cèl·lules o dels metabòlits produïts (aproximacions proteòmiques o metabolòmiques) i tracta de definir les xarxes de control que permeten el funcionament cel·lular i la seva patologia.

## UNA REFLEXIÓ DE FUTUR

Les eines que hem estat acumulant els darrers trenta anys ens estan oferint una nova visió de les espècies vegetals sobre les quals es basa la nostra agricultura. Aquesta visió és, en primer lloc de la nostra comprensió sobre les bases de la fisiologia, la patologia o el desenvolupament de les plantes, que ha sofert una autèntica revolució els darrers anys. En segon lloc, incrementa les possibilitats d'oferir noves aproximacions per a la millora genètica. D'aquestes en podem destacar dues: els marcadors moleculars, que permeten d'accelerar el procés de millora, i les plantes transgèniques, que proporcionen un nou tipus de variabilitat genètica que pot ser utilitzat pel millorador. Aquestes dues aproximacions han tingut els darrers anys una expansió considerable, malgrat els problemes que han tingut en diferents països les plantes modificades genèticament, com és el cas dels europeus.

El desenvolupament de la genòmica obre noves possibilitats. Una és l'anàlisi de caràcters complexos. De la mateixa manera que passa quan es tracta d'analitzar caràcters en la nostra espècie, que estan lligats de manera complexa a malalties o comportaments, en les plantes també ens interessa treballar sobre fenotips que estan lligats a

més d'un caràcter. De fet, la millora d'una de les plantes de més gran impacte econòmic, el blat de moro, s'ha fet pràcticament sense marcadors perquè els caràcters que interessin, com el rendiment, per exemple, són caràcters quantitius que depenen d'un gran nombre de gens, més de cinc-cents en aquest cas, per exemple. El desenvolupament de mapes genètics saturats i de tècniques estadístiques apropiades han permès correlacionar els caràcters quantitius en conjunts de gens que hi contribueixen, i en alguns casos han permès descobrir els gens individual que tenen l'efecte més gran. Aquestes aproximacions (Gur *et al.*, 2004) obren les portes a l'anàlisi genètica de caràcters d'interès agronòmic d'espècies que fins ara no havien pogut ser objecte de millora. És ben possible que en el curs del procés de prova i error que va donar lloc a la domesticació només aquelles espècies que tenien un control senzill dels caràcters necessaris acabessin adoptant-se. Ara s'obren noves perspectives que cal utilitzar.

La situació que tenim en aquest moment hauria de ser especialment favorable per a la utilització de les eines de la biotecnologia vegetal en l'entorn complex que s'està desenvolupant en el nostre planeta. Hi ha factors que ens indiquen que l'esforç per tenir plantes adaptades a les noves situacions és urgent. Només cal llegir el que expliquen els diaris entorn dels preus d'alguns aliments essencials. Només cal que algun país important per a la producció agrícola tingui una mala collita o que als EUA decideixin subvencionar la conversió de gra de blat de moro en biocombustibles, perquè els preus d'alguns dels nostres productes essencials es disparin. Això ens parla del fet que l'abundància d'aliments, que en països com el nostre sembla que s'hagi de donar com un fet, pugui estar en un equilibri inestable. Un recent informe europeu tracta de resumir en quins aspectes es pot esperar que les noves oportunitats obertes pel

desenvolupament de les eines genòmiques puguin tenir incidència (European Plant Science Organisation, 2005).

Els factors a tenir en compte actualment són, per començar, l'actual situació de la producció agrícola. Si bé durant el darrer segle l'augment de la producció d'aliments ha estat més ràpida que l'augment de la població, no hem d'oblidar que hi ha encara una enorme minoria de persones amb problemes d'alimentació. De totes maneres la demanda d'aliments segurs i de qualitat està creixent arreu del món i cal ser conscients que els efectes climàtics actuen de manera sistemàtica en la producció, i que aquests efectes estaran sotmesos a l'acció del canvi climàtic que actua de manera creixent sobre la major part del planeta. També hem de tenir en compte que hi ha una demanda creixent de productes que provenen de les plantes, ja sigui productes alimentaris, farmacèutics, cosmètics o d'ús industrial. Entre aquests trobem sense dubte els combustibles. Aquesta situació es dona quan els efectes ambientals d'una agricultura intensiva estan qüestionats i quan ens preocupa que segueixi la pressió sobre les zones salvatges que encara existeixen al nostre planeta, sobretot als tròpics. Tot això ens porta envers una demanda per una agricultura més versàtil i productiva, i al mateix temps més respectuosa amb el medi ambient. De fet, ja veiem com polítiques com l'abandonament de terres de conreu, que estava estimulada a Europa, hagin estat posades en qüestió. Aquestes raons fan que les noves tecnologies hagin de ser aprofitades per tractar d'enfrontar-nos als reptes que tenim davant nostre i que caldrà que tractem de resoldre en els anys que vénen. Per aquestes raons la biotecnologia vegetal hauria de tenir al davant seu un gran futur, per tal com ha estat en el passat un factor essencial per al desenvolupament de les nostres societats. Potser s'han comès errors en la manera com algunes tècniques han estat

utilitzades i presentades a la societat. De tot això hem d'aprendre en els anys que vénen perquè els que ens hi juguem val la pena.

## BIBLIOGRAFIA

- ARABIDOPSIS GENOMIC INITIATIVE (2000). «Analysis of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*». *Nature*, 408: 796-815.
- BARTON K. A.; BINNS A. N.; MATZKE A. J.; CHILTON M. D. (1983). «Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA and transmission of T-DNA to R1 progeny». *Cell*, 32: 1033-1043.
- BEVAN, M. [et al.] (1998). «Analysis of 1.9 Mb of contiguous sequence from chromosome 4 of *Arabidopsis thaliana*». *Nature*, 391: 485-488.
- BROOKS, G.; BARFOOT, P. (2006). *GM-Crops, the first ten years. Global Socio-Economic and Environmental impact, ISAAA briefs, brief 36*. Nova York: Ithaca.
- EUROPEAN PLANT SCIENCE ORGANISATION (2005). «European plant sciences: a field of opportunities». *Journal of Experimental Botany*, 56: 1699-1709.
- GOFFEAU, A. [et al.] (1996). «Life with 6000 genes». *Science*, 274: 563-567.
- GUR, A.; SEMEL, Y.; CAHANER, A.; ZAMIR, D. (2004). «Real time QTL of complex phenotypes in tomato interspecific introgression lines». *Trends in Plant Science*, 9: 107-109.
- HERRERA-ESTRELLA, L.; DEPICKER, A.; MONTAGU, M. VAN; SCHELL, J. (1983). «Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector». *Nature*, 303: 209-213.
- INTERNATIONAL RICE GENOME SEQUENCING PROJECT (2005). «The map-based sequence of rice genome». *Nature*, 436: 793-800.
- JAILLON, O. [et al.] (2007). «The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla». *Nature*, 449: 463-467.
- KLEIN, T. M.; WOLF, E. D.; WU, R.; SANFORD, J. C. (1987). «High velocity microprojectiles for delivering nucleic acids into living cells». *Nature*, 327: 70-73.
- LI, C.; ZHOU, A.; SANG, T. (2006). «Rice domestication by reduced shattering». *Science*, 311: 1936-1939.
- SANCHEZ MONGE, E. (1991). *Flora agrícola. Taxonomía de magnoliófitas (angiospermas) de interés agrícola*. Madrid: Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació.
- TUSKAN, G. A. [et al.] (2006). «The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr and Gray)». *Science*, 313: 1596-1604.
- YU, J. [et al.] (2002). «A draft sequence of the rice genome». *Science*, 296: 79-92.