

# **PRODUCCIÓ I UTILITZACIÓ DE LES PLANTES TRANSGÈNIQUES**

## **DISCURS**

**llegit a l'acte d'ingrés de l'Acadèmica Corresponent**

**Il·lustre Sra. Dra. Teresa Capell Capell**

**Celebrat el dia 28 de novembre de 2016**

**Presentació a càrrec de l'Acadèmic Numerari**

**Excel·lentíssim Sr. Dr. Fausto Garcia-Hegardt**

Lleida  
2016

*L'Acadèmia no es fa solidària de  
les opinions que s'exposen en les  
publicacions, de les quals és responsable  
l'autor:*

**Excel·lentíssim Senyor President,  
Excel·lentíssims i Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics,  
Senyores i senyors,**

Quiero significarle, Sr. Presidente de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya que estoy encantado que me haya encargado el discurso de Presentación de la Dra Teresa Capell. La Academia se enriquece con la llegada de nuevos miembros, y en este caso en particular, se enriquece mucho por la personalidad científica de la nueva Acadèmica.

Pero antes de entrar a comentar los logros científicos de la Dra. Teresa Capell, quisiera evocar el marco en el que este ingreso tiene lugar. La Canonja forma parte de la Seu Vella en el Turó que se destaca en el sky line de Lleida. En esta primera parte del local estaba situada la Esglesia de Santa María de l'Antiga, que precedía a las instalaciones de la Pía Almoina y a la Sala Capitular.

Este solar ha sido objeto de visitas a lo largo de la historia que me interesa evocar. En el año 209 antes de Cristo vino el joven general romano Publio Cornelio Escipión (Escipión El Africano) a Lleida a fin de integrar Hispania como Provincia Romana. Como su intención era seguir hacia Gades (Cádiz) no le interesó dejar enemigos detrás de sí y así firmó un pacto de amistad y no agresión con Indivil y Mandonio en este Turó. Tres años después, volvió y tuvo que pelear contra los ilergetas a los que dominó pero no quiso ser cruel ni fue acompañada de la represión, en la victoria, antes de volver a Roma donde era reclamado por el Senado.

Ciento sesenta años después, de nuevo este solar del Turó donde nos encontramos en tan venturoso acto fue objeto de la estancia de Julio César. Tras el paso del Rubicón y marcha sobre Roma, su opositor Pompeyo

Magno, que además era su yerno, salió de prisa huyendo hacia el Reino de Epiro en la actual Albania porque se había iniciado una contienda civil entre los dos pro-hombres romanos. Julio César aprovechó esta circunstancia para venir a Lleida, pues el ejército Pompeyano había tomado posiciones junto al Segre con 5 legiones. Julio César envió por delante a su legado Cayo Fabio con 6 legiones y cuando llegó Julio César supo aprovechar mucho mejor la orografía del terreno que los generales de Pompeyo, Afranio y Petreyo, y aprovechando unas inundaciones del Segre tras el deshielo de mayo del año 49 antes de Cristo, bloqueó sin derramar sangre al ejército contrario, firmando la capitulación de los pompeyanos en este Turó.

También en este Turó tuvo lugar el acuerdo de no agresión entre Ramón Berenguer III y el Rey de Aragón Alfonso I el Batallador, a principios del siglo XII. Aún no se había comenzado a edificar la Seu Vella, que iniciaría las obras cien años después.

Sucesivamente, multitud de personajes históricos pisaron este solar como el mismo Jaime I El Conqueridor cuando tras ser investido como Rey de Aragón en La Seo de Zaragoza pasó por Lleida hacia la casa Condal de Barcelona deteniéndose en el mismo Turó y pasando revista a la construcción de la Seu Vella.

Hoy no celebramos aquí ningún triunfo militar, sino un acto cultural de una notable repercusión científica para hablar de la Dra. Teresa Capell, que es la que nos va a mostrar sus habilidades científicas en un tema tan bonito como es el de la biotecnología vegetal, en particular hablando de las plantas transgénicas. Procuraré no extenderme mucho tiempo.

Cuando uno se asoma al Curriculum Vitae de Teresa Capell se queda maravillado de que a pesar de su juventud, consta de 33 páginas de datos escritos en letras muy pequeñas y muy apretadas. Una tentación del presentador es leer de seguido todo el Curriculum vitae hasta agotar el tiempo asignado. Inmediatamente, he pensado que si les fuera a contar uno a uno todos sus datos, aburriría a todo el mundo, y ese no es mi deseo. Por ello, daré solo tres pinceladas de su personalidad científica, que son un reflejo de su Curriculum vitae, que como es bien sabido significa Recorrido por la Vida.

Las pinceladas serán:

- 1) Su carrera de Profesor Universitario
- 2) Su carrera científica propiamente dicha
- 3) La repercusión social de sus estudios

### **1) Primera pincelada: Su carrera de Profesor Universitario**

La Dra Teresa Capell estudio la carrera de Farmacia en la Universidad de Barcelona a lo largo de los cinco años comprendidos entre 1985 y 1990. No perdió curso y sacó notas excelentes. Yo fui su Profesor en los años 1988 y 1989 en las asignaturas de Bioquímica, Biología Molecular y Bioquímica Clínica. Inmediatamente de terminar su Licenciatura, comenzó los estudios de Tesis Doctoral en el Departamento de Fisiología Vegetal. No es extraño que eligiera este tipo de estudios al haber nacido en Lleida que, es una tierra magnífica en la actividad agrícola, que le da una belleza extraordinaria. La Fisiología Vegetal estudia cómo las plantas a través de las instrucciones depositadas en su ADN se lo montan para tener raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Le dirigió la Tesis el Dr. Fernández Tiburcio y el Tribunal le concedió el título de Doctora en Farmacia con la calificación de Excelente cum laude.

Tras la Tesis, hizo estancias investigadoras en Alemania y en el Reino Unido y volvió a Lleida donde formó un grupo investigador. Ganó una de las Ayudas post-doctorales que había puesto en marcha el Ministerio de Educación y Ciencia denominadas Ayudas Ramón y Cajal. Incidentalmente, puedo comentar que en aquel tiempo yo era Presidente de la Ponencia del Ministerio para conceder Ayudas dinerarias a los investigadores de toda España en Bioquímica, Biología Molecular y Celular. Yo había ideado el Programa Ramón y Cajal por encargo del Director General de Investigación del Ministerio. Pronto, la Generalitat de Catalunya supo de la calidad docente e investigadora de Teresa y le contrató como Profesora Agregada “Serra Hunter” en la Universidad de Lleida, que es una forma de contratación especial que hace la Generalitat a gente con mucho futuro científico. Solo dos años después fue contratada como Catedrática “Serra Hunter” de la misma Universidad, y esto lo consiguió sin haber llegado a los 50 años. Una carrera universitaria verdaderamente veloz y fructífera.

## **2) Segunda pincelada: Su carrera científica propiamente dicha**

Después de su Tesis en 1995, comenzó a publicar ciencia. Lo que quiero poner de manifiesto son varios aspectos de interés. Antes del siglo XXI, la Dra. Capell había publicado “solo” 5 artículos científicos. Y digo sólo por poner énfasis en la aceleración que hizo después con sus estudios. Pues una vez traspasado el año 2000 hizo un demarrage científico muy notable y comenzó a publicar a gran velocidad. Demarrage es un vocablo francés que significa un explosión de movimiento (que usualmente se aplica en los adelantamientos explosivos de los ciclistas sobre el pelotón en el Tour de France): Esa palabra ha pasado al uso del idioma castellano hasta el punto de decir demarrar al acto de salir pitando y hacer un hueco entre tu posición ciclista y el pelotón.

Bueno, pues la Dra Capell demarró a gran velocidad y en los 15 años del siglo XXI añadió 105 artículos científicos a los que tenía en el año 2000 y así ahora tiene 110 artículos, que es una cantidad prodigiosa, teniendo en cuenta lo difícil que resulta publicar y hacer ciencia en nuestro país.

Otro aspecto que se entronca con este demarrage es el hecho que en el año 2000 llegó a la Unidad de Biotecnología Molecular en el Centro John Innes de la Universidad de Norwich en el Reino Unido como becaria post-Doctoral. Un Becario Post-doctoral, es como un “último mono” que llega a un centro de investigación. Usualmente, es tímido, habla poco y todos le miran con simpatía pero saben que es el último. Pues bien, tan solo dos años después de llegar a este centro en el Reino Unido como Becaria, consiguió ser Group Leader (Jefe de grupo investigador), con una temática científica propia, con sus becarios propios, con dinero propio para investigar y publicando artículos en último lugar que es el sitio donde se pone al jefe de grupo. Después marchó a Alemania y allí fue de nuevo Group Leader, en el Department of Crop Genetics and Biotechnology, Fraunhofer IME, Schamllenberg, Germany. Naturalmente, en Lleida también es Group Leader y produce ciencia en un grupo compacto y lleno de figuras.

## **3) Tercera pincelada: Repercusión social de sus estudios**

Todos los científicos deseamos, que la sociedad conozca nuestro trabajo y lo juzgue positivo para el país. Generalmente, nuestra actividad permanece oculta y nadie sabe lo que trabajamos y casi se puede decir que

a nadie interesa. Pero en esto también Teresa Capell es distinta, para lo bueno y para el bien del país: Os voy a hacer una pregunta a todos lo que estáis en este Salón de Actos. ¿Alguna vez el Congreso de los Diputados (donde se controla al Gobierno de la Nación, pero sobre todo, es un lugar donde se hacen las Leyes) ha llamado a alguno de Ustedes para preguntarle algo que les pueda dar información para ver si se inicia un nuevo Proyecto de Ley? Supongo que nadie les ha llamado, grandes o pequeños. Desde luego a mí tampoco. Bueno, pues a Teresa Capell si que le llamaron desde el Congreso de los Diputados para solicitarle información y su opinión sobre las plantas transgénicas. Sus estudios tienen repercusión social, y es probable que en la siguiente legislatura salga una ley que regule el uso de plantas transgénicas (La mayor dificultad ahora está en Europa que se ve influida por los grupos ecologistas, y le fuerzan a que no se legisle en positivo). Ella seguramente les aclarará que hay una cierta prensa contraria a estos cultivos, por considerarlos peligrosos e innecesarios. Era muy importante conocer de primera mano todo lo concerniente a esta transgénesis vegetal, para que las posibles leyes que regulen la producción, el uso y la manipulación de estos vegetales respondan al bien del país. Allí estaba Teresa ilustrando a sus Señorías los Diputados, en esta materia.

Me adelanto a lo que la Dra Capell les vaya a decir, comentándoles que en el sudeste asiático (países tales como Birmania, Laos, Vietnam, Indochina, Sumatra, Java, Borneo, las Islas Célebes, China continental, Formosa, etc.) hay mucha gente pobre que solo puede comer arroz. Esa limitación en la nutrición produce que no ingresen en su cuerpo vitaminas necesarias para la salud por no estar en esta gramínea, y las autoridades de los países y sus científicos vieron que mucha gente se volvía ciega. Esta ceguera se originaba porque no ingresaban la vitamina A necesaria para la visión. Los científicos entre los que se encontraba la Dra. Teresa Capell se pusieron de acuerdo y produjeron un arroz transgénico, el llamado arroz dorado (introduciendo en el genoma del arroz los genes necesarios para sintetizar vitamina A), que producía vitamina A y así se eliminó esta deficiencia y la población pobre ya no se vuelve ciega, aunque consuma solo arroz. La Dra. les participará igualmente sus estudios de Molecular Pharming, que es una expresión que indica que se pueden hacer fármacos a través de técnicas moleculares con el ADN por lo que su transgénesis es capaz de producir anticuerpos anti el virus VIH que es determinante en la enfermedad del Sida.

Ahora, Dra. Capell todos estamos ansiosos de escuchar su conferencia que supondrá un hito en los acontecimientos culturales de la ciudad de Lleida y quedará marcada de un modo especial en los Anales de la Reial Acadèmia de Farmacia de Catalunya.



# **PRODUCCIÓ I UTILITZACIÓ DE LES PLANTES TRANSGÈNIQUES**



**Excel·lentíssim Senyor President**  
**Excel·lentíssims i Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics,**  
**Il·lustres col·legues professors de la Universitat de Lleida**  
**Il·lustríssimes autoritats,**  
**Senyores i Senyors,**

Ha arribat el moment de llegir el meu discurs d'ingrés com a acadèmica corresponent de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya. És un gran honor per a mi ésser aquí, i haig de reconèixer que he contret un gran deute amb tres membres destacats d'aquesta acadèmia, el Dr. Garcia-Hegardt, qui va confiar en mi i em va donar el seu suport presentant la meva candidatura, i els Drs. Salgot i Llobet, qui, al seu torn, ens van esperonar en el nostre propòsit. A ells i a tots els altres acadèmics que han confiat en mi els vull transmetre avui el meu profund agraïment.

A la vida un té líders (mestres) als qui segueix. Ells potser saben que fan escola i que són seguits, però desconeixen la dimensió de la seva influència. Aquest és el cas del Dr. Garcia-Hegardt, a qui he seguit des del dia que vaig començar la meva tesi doctoral, ara fa un grapat d'anys. El doctor solia dir als seus deixebles: “produïu i publiqueu”. Jo no era un d'ells, però m'arribaven els seus ensenyaments i intentava produir i publicar. I continuava insistint amb els seus consells: “feu estades postdoctorals”. I jo, disciplinada, porfidiejava per mirar d'aconseguir una beca que em permetés marxar a l'estranger. Ell també feia mans i mànigues perquè el grup al qual ens havíem d'integrar estigués liderat per un investigador jove i ambiciós. Així segur que seguiríem publicant. I ja em teníeu a mi preguntat l'edat dels investigadors amb els qui em posava en contacte!. En general, el doctor Garcia-Hegardt maldava per remarcar-nos: “no deieu de produir resultats ni de publicar-los”. I, fidel a la seva insistència, així ho he fet sempre, i fins aquí he arribat.

Val a dir que he tingut de moment, un altre mestre per a la paciència i la perseverança, el Dr. Salgot. Recordo com les seves notes discretes i a llapis emplenaven la introducció de la meva tesi. Mai no es cansava de rellegir-la. Jo sí que n'estava cansada..., però ho vaig aconseguir. A ell li haig d'agrair que arribés a presentar la meva tesi doctoral, pas essencial per poder posar en pràctica els ensenyaments del Dr. Garcia-Hegardt.

Gràcies a tots dos de tot cor.

Voldria expressar el meu reconeixement personal a tots els amics, companys de professió i col·laboradors que, en el decurs de la meva vida professional, han fet possible que estigui avui en aquest acte acadèmic i, en particular a la meva família i al Paul, per tot el suport que m'han donat, tant moral com econòmic!

Vull agrair també a tots els estudiants que han confiat en mi, ja sigui perquè han vingut cada dia a classe, han fet pràctiques o han realitzat treballs de recerca i tesi doctorals. A tots ells els vull agrair que m'hagin encomanat una mica de la seva imaginació, optimisme i energia.

Gràcies a tots ells per mantenir-me jove!

## Índex

1. La biotecnologia.....	15
2. L'evolució de la biotecnologia .....	15
3. La millora genètica aplicant la tecnologia de l'ADN recombinant ....	18
4. La introducció natural de gens (biològica).....	19
5. La introducció de gens per mètodes físics .....	21
6. Les eines que es requereixen per a la transformació de les plantes .....	22
7. Objectiu 1. Aplicació de les eines biotecnològiques a la millora de les característiques agronòmiques de les plantes. Dos exemples que s'han transformat en productes comercials.....	25
8. Objectiu 2. Aplicació de les eines biotecnològiques per a la millora nutricional de les plantes cultivades. Exemple: el panís que produeix carotenoides desenvolupat al laboratori .....	29
9. Objectiu 3. Aplicació de les eines biotecnològiques per a la producció de medicaments en plantes o Molecular Pharming. Exemple: producció de proteïnes que neutralitzen el virus del VIH en llavors de panís transgènic, que és un projecte de recerca actual .....	30
10. Entrebancs que limiten la recerca i la comercialització amb plantes transgèniques a Europa en comparació amb la resta del món.....	35
11. Conseqüències de l'aplicació de les diferents normatives a nivell mundial: aparició de nous productes al món i de noves prohibicions a Europa. ....	37



## 1. La biotecnologia

La “Biotecnologia” o “Tecnologia viva” es defineix com l’art d’utilitzar els organismes vius i allò que produeixen per al benefici dels humans i animals. De fet, els humans l’han utilitzada d’ençà del descobriment de l’agricultura i, posteriorment, amb la ramaderia, quan van començar a domesticar i millorar els seus cultius i animals mitjançant selecció artificial i creuaments. Aquesta ciència mil·lenària, però, ha estat una de les primeres a adoptar la tecnologia de l’ADN recombinant, és a dir, introduir o eliminar material genètic amb una precisió molecular. D’aquí que el seu radi d’acció s’hagi estès, des de la millora genètica dels bacteris *Bacillus thuringiensis* (Bt; va ser descobert l’any 1911, com a patògen de les arnes de la farina a la província de Thuringia, Alemanya, d’aquí el seu nom) a l’introduir-los nous gens que codifiquen per cristalls insecticides provinents d’altres bacteris, l’ús dels quals s’ha aplicat en l’agricultura ecològica, fins a l’edició del genoma humà per tal d’eliminar el VIH integrat en les cèl·lules CD4 (que encara és tema de recerca).

## 2. L’evolució de la biotecnologia

Si ens preguntem perquè ha evolucionat tan ràpidament la biotecnologia en els últims anys, podem inferir que la raó és la mateixa que ha fet evolucionar el món i tots els seus aspectes: la millora de les condicions de la societat i el seu entorn.

De fet, els orígens de la biotecnologia es remunten als pagesos del neolític. D’aleshores ençà, l’home ha utilitzat la millora genètica selectiva (més o menys empírica) per tal d’assolir una major diversitat animal i vegetal; gràcies a això ha estat possible la domesticació de les plantes i dels animals. Però si volem filar més prim i trobar quina va ser la primera aplicació biotecnològica, ens hem de fixar un altre cop en els pagesos del neolític i veure que feien ús dels bous i els ases per llaurar: aplicaven una tècnica viva que els facilitava remoure la terra. Aquestes civilitzacions antigues (Sumeris, Egipcis,...) van contribuir al progrés de la biotecnologia a nivells insospitats. L’ús de microorganismes per a l’obtenció de productes o per a la millora de processos era un fet estès, tot i que se’n desconeixia la presència d’organismes vius. El vi, el pa i la cervesa eren i són aliments derivats de l’aplicació biotecnològica. Els grecs afegien bacteris a la llet per elaborar els iogurts, i encara ho fan! També

se n'agreguen a la llet per a la producció del formatge; però ara, enlloc de tots els bacteris extrets de l'estómac de remugadors joves, només se n'afegeix la proteïna necessària per al quall; aquesta proteïna (quimosina) prové de bacteris transgènics o recombinats.

El panís dels nostres camps no és el que es trobava originàriament 9.000 anys enrere a Mèxic. Al seu moment ja va patir millores genètiques que han donat pas a un panís millorat artificialment arran d'un procés de domesticació. La decisió d'un pagès de plantar la llavor més gran o la d'un altre de seleccionar la planta que tenia una mutació per reduir-la fins a l'aparició d'una sola tija, va possibilitar que aquell ancestre silvestre, el *teosinte* (en l'actualitat, considerat una mala herba que requereix d'herbicides per eliminar-la dels camps de cultiu), es convertís en el panís que en Cristòfor Colom va introduir a Europa després de la descoberta del continent americà. El panís presenta una gran variabilitat genètica, tal com queda palès amb l'existència de moltes races i varietats. Aquestes últimes van acompanyades d'una àmplia gamma de colors del pericarpí, però curiosament totes tenen l'endosperma blanc, per la qual cosa la farina que se n'obté sempre és d'un blanc grogós. El panís ha tingut una especial rellevància per a les cultures mesoamericanes, no només perquè ha constituït la base de la seva alimentació, sinó també per la seva funció en els rituals sagrats ancestrals a fi de celebrar-ne les etapes del cultiu i del consum. Avui dia, a més, està present en les artesanies, els remeis casolans i, evidentment, s'utilitza com a primera matèria. Però del que no hi ha cap dubte és de la seva fonamental importància com a aliment per a aquestes cultures. De fet, si es dona una ràpida ullada a la gastronomia mesoamericana, s'hi troben més de cent-quaranta plats tradicionals elaborats amb panís. Així mateix, durant el procés de domesticació, les plantes van experimentar canvis en la grandària del fruit i de les fulles, en el sabor, en el color, en el nombre de llavors (que, en alguns casos, va augmentar i en d'altres va disminuir)... Ara bé, el que està clar és que de les varietats autòctones i primigènies van sortir-ne les cultivades a Europa. Tanmateix, la introducció de programes de millora ha produït els parentals dels híbrids que s'utilitzen actualment. Un híbrid és el resultat del creuament de dues línies pures. El vigor híbrid ha resultat clau en el substancial increment de les produccions de panís. L'inconvenient que té és que el pagès no pot guardar la llavor per plantar-la l'any següent. En cas de fer-ho, les llavors germinarien i donarien lloc a plantes molt desiguals, és a dir, tots els parentals emprats al llarg de diverses generacions per assolir l'híbrid final creixerien en el camp. La conseqüència d'això serien unes plantes molt altes i febles o baixes i robustes, amb pinyes



grosses o sense elles, que impedirien la feina de la recol·lectora de cereals a l'hora de fer la collita. Per aquest motiu, els pagesos que planten híbrids han de comprar les llavors cada any. Sucedeix igual amb les hortalisses i altres cultius; si la llavor és híbrida, es fa necessari adquirir-la anualment a l'empresa que ha fet l'híbrid.

Aquesta millora que han assolit les llavors a base d'anys implica que cap cultiu s'autoreprodueixi de forma natural, és a dir, no consumim aliments "naturals", definim planta natural com aquella capaç d'autoreproduir-se, o sigui, les espècies silvestres de les quals deriven les que consumim actualment. Un clar exemple de planta natural són les males herbes que surten cada any sense que ningú no les planti. És per això que no acostumem a veure enciams o tomateres creixent espontàniament a les voreres de les autopistes. Si ens trobéssim a Mèxic, sí que veuríem com l'espècie silvestre *teosinte* o les espècies silvestres de tomateres i del tubercle *papa* (origen de la patata), la majoria verinoses, però font de nous gens en cas que es vulgui introduir una nova característica a les espècies cultivades (en estar-hi emparentades, encara són sexualment compatibles) és reproduïen espontàniament.

Els científics del segle passat que realitzaven programes de millora de plantes es basaven en els principis genètics de les lleis de Mendel per realitzar els seus experiments. A mitjans del segle XX es comencen a aplicar criteris científics i tecnològics en la producció agrícola. S'incrementa la superfície cultivada i els cultius de regadiu, i s'apliquen fertilitzants químics que substitueixen parcialment els adobs orgànics. A més, amb l'agricultura intensiva apareixen les plagues i l'ús de plaguicides. Tot plegat té un impacte social, econòmic i ambiental molt gran.

Però, de fet, l'enginyeria genètica moderna es va iniciar a la segona meitat del segle XX (anys setanta), amb el descobriment de les endonucleases (proteïnes que poden tallar l'ADN en un lloc molt específic). Aquestes van proporcionar als científics una eina capaç de seccionar i modificar qualsevol tipus d'ADN. D'aquesta manera va aparèixer la tecnologia de l'ADN recombinant que permet tallar i enganxar trossos d'ADN mitjançant noves combinacions, provinents del mateix organisme o d'organismes diferents. L'enginyeria genètica és una tècnica de la biotecnologia que s'utilitza per modificar, eliminar o introduir gens en el genoma d'un organisme, i la seva finalitat es troba en l'obtenció de productes beneficiosos per als éssers vius. L'enginyeria genètica té aplicacions a la ramaderia, l'agricultura, la indústria química i la medicina. Una d'aquestes no

és altra que la de produir plantes transgèniques per a l'agricultura, amb la introducció d'un o de diversos gens, o amb la modificació de la tasca d'un gen propi. En aquest sentit, actualment s'estan desenvolupant plantes de segona i de tercera generació. Es persegueixen diversos objectius, com la consecució de plantes amb llurs qualitats nutricionals millorades, amb finalitats industrials o per tal de convertir-les en productores de proteïnes o molècules d'ús farmacèutic (*Molecular pharming*).

S'ha de dir que actualment, malgrat el que es creu en general, no hi ha aliments transgènics com a tals als prestatges dels supermercats europeus. El que hi ha, en canvi, són llurs subproductes (el midó del blat de moro o la lecitina de la soja) barrejats amb altres coses, com la *Coca-Cola*, els *kit kat* o la sopa en llauna de la marca Campbell. Als Estats Units sí que hi ha dues fruites que es consumeixen: la papaia i la poma transgènica, a més d'una hortalissa, la patata. Al Brasil consumeixen la mongeta que expressa un gen Bt, però a Europa no es troba cap d'aquests productes. L'única planta transgènica que es cultiva a Europa és el panís Bt per a la producció de pinso, acceptada també per al consum humà.

### **3. La millora genètica aplicant la tecnologia de l'ADN recombinant**

La millora genètica tradicional té una limitació: no pot anar més enllà del creuament entre organismes de la mateixa espècie, sexualment compatibles. En alguns casos s'ha aconseguit el creuament d'organismes de dues espècies diferents i el resultat d'aquest procés ha estat un híbrid. Un exemple molt clar n'és la mula (creuament d'euga i ase). Però, com podem introduir una característica nova a un organisme que no tingui cap parent pròxim, compatible sexualment, que la contingui? La tecnologia de l'ADN recombinant va donar la resposta: es possible identificar el gen, copiar-lo i introduir-lo, mitjançant tècniques d'enginyeria genètica, a un altre organisme que podia ésser de la mateixa espècie o d'una espècie totalment diferent. D'aquesta forma es trencava la limitació de la transferència de gens només entre espècies sexualment compatibles. Així mateix, existeixen diverses denominacions segons com s'integri en l'organisme el gen forà després del procés de transformació d'un animal, d'una planta o d'un bacteri. L'organisme es denomina transgènic quant el gen forà que s'introdueix queda integrat de forma permanent al seu genoma (animal o planta), i l'organisme se denomina recombinant quant

el gen forà roman a l'organisme sense enganxar-se al seu genoma. És el cas dels bacteris i dels llevats.

Avui en dia, en els programes de recerca, pràcticament no hi ha cap organisme (bacteri, llevat, planta o animal) que no hagi estat genèticament modificat amb les intencions que corresponguin.

#### **4. La introducció natural de gens (biològica)**

Tots hem vist en ocasions els nusos que es formen en arbres i plantes i l'aspecte tan característic que els donen. Es denominen *crown gall* o, si ho traduïm al català, agalla de la tija o de la corona. Es poden veure en oliveres, vinyes, pomeres, rosers, dàlies, begònies, etc. Aquests bonys són causats per la infecció del bacteri *Agrobacterium tumefaciens*, el qual viu habitualment en el sòl. Com a conseqüència d'una ferida al tronc (per exemple, en rosegar-lo un conill), l'escorça de l'arbre es pot trencar: és el moment i el lloc en què el bacteri aprofitarà per iniciar la seva infecció, que posteriorment provocarà la formació de tumors en aquest lloc. El bacteri utilitza el metabolisme de les cèl·lules de l'arbre per a la producció d'unes molècules, les opines, que són el seu aliment. Ara bé, cal que el bacteri doni instruccions precises a la cèl·lula hoste de com ho ha de fer. La informació és troba en alguns dels gens del bacteri, que aquest transfereix i que queden integrats permanentment al genoma de la planta. A partir d'aquell moment, la planta resta transformada de forma natural i es converteix en una fàbrica de producció de molècules per a l'alimentació del bacteri.

L'any 1978 el grup del Dr. Mark Van Montagu va descobrir com el bacteri *Agrobacterium tumefaciens* "transformava" de forma natural les plantes que infectava. Va identificar els gens específics del bacteri que eren transferits a la planta i els va modificar de tal manera que quan els bacteris tornessin a infectar una planta li conferissin una característica nova. Els investigadors han aprofitat aquesta capacitat de transferir gens manipulant la peça d'ADN que s'incorpora a la planta per incloure-hi els gens que es volen transferir. El 1983 es va publicar l'assoliment de la primera planta de tabac transgènica tolerant al cloramfenicol. En aquell moment només el tabac responia positivament a la transformació genètica. Podem veure, doncs, que estem davant d'una tecnologia relativament recent si ho comparem amb l'enginyeria genètica aplicada als microor-

ganismes, ja que l'any 1982 ja va iniciar-se la dispensació a l'usuari de l'Humulina (la insulina recombinant que va ser produïda per l'empresa Genentech l'any 1978 en el bacteri *Escherichia coli* i es comercialitzà l'any 1982).

Aquesta transferència horitzontal de gens s'ha produït durant tota l'evolució. Alguns cops els gens han restat integrats al genoma de la planta i en desconeixem llur funció. Per exemple, l'equip del Dr. Kreuze del Perú, en seqüenciar el genoma del moniato "Huachano" (*Ipomoea batata* [L] Lam.) a la cerca de petits ARNs, va descobrir la presència de gens d'*Agrobacterium* integrats al seu genoma. No se sap per què el bacteri va transferir uns gens a la planta, però queda clar que en algun moment hi va haver una transferència horitzontal de gens, i que la planta hoste finalment els va reconèixer com a seus. Si anem una mica més enllà, ensopeguem amb el llimac, *Elysia chlorotica*, que s'alimenta d'algues verdes. És interessant perquè, després de ingerir-les, s'observen els cloroplasts de l'alga a les cèl·lules de l'esquena de l'animal. El que més sorprèn de tot plegat és que aquests cloroplasts són funcionals i capaços de fotosintetitzar. En algun moment de l'evolució, el llimac va integrar al seu genoma els gens necessaris per fer la funció fotosintètica, per la qual cosa, un cop té el cloroplast, pot activar tot el mecanisme necessari i fotosintetitzar. És un animal que, gràcies a la transferència horitzontal de gens, funciona, quan li cal, com una planta.

També hi ha transferències espontànies de gens. Una part de la millora de la producció fruïtera es basa en la selecció del peu per posar-hi l'empelt, de tal manera que com més adient sigui la combinació, més productiva i de qualitat serà la collita. El peu també pot procurar a la planta una major resistència a les malalties, com va succeir amb la fil·loxera. Així que van seleccionar-se els peus de la vinya americana i es van fer servir, es va eradicar aquesta malaltia del continent europeu. La part més interessant resultant del procés d'empeltar és que es produeix un flux de gens del peu a l'empelt i a l'inrevés. Així ho ha demostrat el professor R. Bock del Max Planck Institut, a Alemanya. Ell va utilitzar dues plantes de tabac transformades amb gens marcadors diferents. Una contenia la proteïna fluorescent verda o "green fluorescent protein" (GFP) i l'altra, la proteïna fluorescent groga o "yellow fluorescent protein" (YFP) i les va empeltar. En posar una sobre l'altra, i analitzant les cèl·lules properes a l'àrea de l'empelt, va veure que la fluorescència del gen de sota es trobava a dalt, i al contrari. El producte dels gens s'obtenia en cèl·lules que no havien estat transformades amb aquests mateixos. Així va demostrar que la tèc-

nica d'empeltar proporciona una via per al flux de gens que trenca les barreres entre espècies, i van confirmar així que hi ha una altra forma de transferència horitzontal de gens. Fins i tot el nostre preuat vesc de Nadal transfereix els seus gens a l'arbre que colonitza, és a dir, el transforma. El motiu? Encara no el sabem.

## 5. La introducció de gens per mètodes físics

La possibilitat d'introduir característiques noves a les plantes i la importància econòmica que tenen els cereals va comportar que canviés el concepte que teníem sobre l'agricultura. *Agrobacterium* té un número limitat d'hostes als quals pot infectar, cosa per la qual l'avançament de la millora genètica mitjançant l'enginyeria dels genomes tenia una limitació. Com es podrien introduir gens que milloressin les característiques dels cereals o de les plantes que no fossin susceptibles de ser infectats pel bacteri?

Llavors els investigadors van dirigir la mirada cap a la transferència directa de gens o biobalística ja realitzada per John C. Sanford el 1983, en teixit animal i per J. Williams (1991) que va introduir gens forans en teixits d'un ratolí viu mitjançant microprojectils recoberts d'ADN, dins la recerca en altres àmbits. Aquest microprojectils eren disparats per una pistola de gens. Es va intentar aplicar la mateixa tècnica directament sobre grans de pol·len, però es va comprovar que no era efectiva. Calia trobar teixits diana que poguessin ésser receptors del gen als nuclis de les seves cèl·lules i que, paral·lelament, les transformades tinguessin la capacitat de regenerar un altre cop una planta sencera i fèrtil. Les tècniques de cultiu *in vitro* van agafar en aquest moment el protagonisme. Quins eren els teixits regenerables de l'arròs, el blat, el panís i la civada? Es va arribar a la conclusió que els embrions immadurs o madurs dels cereals eren un bon teixit diana per a ser disparat. Els embrions es podien *desdiferenciar* a cal·lus, ésser bombardejats i, mitjançant l'optimització dels medis de cultiu i de les combinacions d'hormones, induir un altre cop l'aparició de teixit verd, fulles i arrels.

Adaptant el sistema de la pistola de gens es va veure que es podien disparar partícules microscòpiques d'or embolcallades amb els gens d'interès, que travessaven la paret cel·lular i arribaven fins al nucli. Un cop allí, els petits trencaments ocasionats pels perdigons d'or al genoma de la planta

eren reparats ràpidament pels enzims nuclears, de forma que en refer el forat ocasionat, hi introduïen l'ADN nou que hi havia estat encastat. Aleshores aquest quedava integrat en el genoma de la planta i n'esdevenia una característica permanent (el gen forà s'enganxa a l'ADN de la planta i en passa a formar part, de manera que es transmet a les properes generacions). Aquesta circumstància permetrà introduir determinades característiques de millora a les plantes. Aquest és el sistema que s'utilitza actualment, encara que s'ha de buscar sempre el teixit diana adequat.

## **6. Les eines que es requereixen per a la transformació de les plantes**

En aquest punt vull matisar que parlaré de les eines utilitzades en enginyeria genètica per transformar una planta, ja que les que s'empren per introduir gens són més nombroses. La introducció dels gens es pot fer mitjançant un simple creuament entre el pol·len de dues flors sexualment compatibles. Així es transferirà el genoma complet d'una planta a una altra. Jo vull fer, però, referència específica a les eines que ens permeten seleccionar el nostre gen d'interès, copiar-lo i introduir-lo dins del genoma de la planta. Cal dir que aquesta integració fins ara ha estat a l'atzar. S'estan desenvolupant tècniques per a la introducció dels gens en llocs específics del genoma (per exemple CRISPR/Cas), però encara no estan optimitzades. De moment, la integració dels transgens ha tingut lloc de manera aleatòria.

Podem utilitzar dues tècniques per a la transferència de gens a les plantes: la infecció mitjançant *Agrobacterium tumefaciens* o bé mitjançant bombardeig directe de partícules. En un principi es va desenvolupar la tècnica d'electroporació de protoplast, però ara només s'utilitza en experiments d'expressió transitòria, igual que les tècniques de transformació mitjançant infeccions víriques.

Però aquests trossos d'ADN que introduïm, i que anomenem “gens” perquè codifiquen per a una funció concreta dins l'organisme, no els extraiem literalment de l'organisme donador, sinó que simplement els copiem a partir de la seqüència de l'ARN missatger que aquest produeix i els sintetitzem de nou, de forma que queden eliminats els introns (seqüència d'ADN que no codifica per a proteïna) que trobem als mateixos. Com a resultat, s'obté una còpia del gen o cDNA. Les seqüències dels gens o

els seus cDNAs són dipositades en bases de dades i així, compartint la informació, els investigadors son capaços d'identificar gens nous o bé d'assignar funcions a aquells la seqüència dels quals ja coneixíem.

El nostre gen d'interès es trobarà integrat en allò que s'anomena "vector d'expressió", a punt per a la transformació. Els bacteris tenen uns plasmidis que són capaços d'autoreplicar-se i que no formen part del seu genoma principal. Són cercles d'ADN independents. Utilitzem aquests plasmidis com a suport físic del nostre gen, com a vectors. Un cop tenim el nostre cDNA, l'empeguem literalment al vector. Ara ja tenim un suport físic per treballar i, per tant, ens caldrà introduir-hi peces diferents per tal que el nostre gen funcioni dins el nou organisme. Els vectors són l'eina essencial en el procés de transferència d'un gen exogen (gen d'interès) a l'interior de la cèl·lula. El vector d'expressió generalment és modificat en funció del sistema de transformació que s'utilitza. Cada gen estarà conduït per un promotor que fa la funció d'interruptor. Indica en quin lloc i quan funcionarà o no el nostre gen. Si el promotor seleccionat és constitutiu, dirigirà l'expressió del gen a tota la planta, mentre que si tenim un promotor específic d'un teixit, el gen només funcionarà en aquell lloc concret de la planta. Per tal que s'acabi la lectura del gen i en surti la proteïna correcta, cal un tros de seqüència al final de cada gen que s'anomena seqüència d'acabament. Es tracta que el nou gen que passi a formar part del genoma de la planta sigui igual que els gens que ja la constitueixen. Un promotor constitutiu molt utilitzat en l'enginyeria de les plantes dicotiledònies és el del virus del mosaic de la coliflor 35S. N'hi ha diverses versions. En el cas de les plantes monocotiledònies un promotor que funciona molt bé és el que dirigeix el gen de la ubiquitina. En el nostre cas, quan volem que l'expressió del nostre gen es limiti a l'endosperma de la llavor, treballem amb promotors que condueixen gens que codifiquen per proteïnes produïdes a les llavors dels cereals, com el promotor de la glutelina. Un cop tenim feta el que anomenem la nostra "construcció", és a dir, el conjunt del nostre promotor, gen d'interès i acabament tot integrat en el nostre vector, podríem iniciar el procés de transformació, però se'ns plantejaria un problema: com seleccionariem les cèl·lules que han integrat el nostre gen d'interès de les que no l'han integrat?

Per afavorir la supervivència només de les cèl·lules transformades un cop s'ha bombardejat el teixit diana, s'utilitzen els gens de selecció que seran introduïts al mateix temps que el gen d'interès i que codifiquen per a un enzim que permetrà a la cèl·lula degradar una substància que serà tòxica

(agent de selecció) per a les altres cèl·lules que també creixeran al mateix medi de cultiu. Aquests gens de selecció també es troben integrats en un vector i normalment son conduïts per un promotor constitutiu. Generalment, en la transformació de cereals s'utilitzen dos tipus de gens: gens que produeixen enzims que degraden antibiòtics i gens que produeixen enzims que degraden herbicides.

Els tres gens més utilitzats en la transformació genètica de plantes, que codifiquen un enzim que degrada l'antibiòtic afegit al medi, han estat clonats del bacteri *Escherichia coli*, que resideix normalment en el budell humà. Un és el gen *nptII*, que codifica per l'enzim *neomicina fosfotransferasa* i degrada l'antibiòtic kanamicina. Un altre és el gen *aadA*, que codifica per l'enzim que degrada l'antibiòtic estreptomocina. I el tercer és el gen *hpt*, que codifica per l'enzim *higromicina fosfotransferasa* i que degrada la higromicina. La kanamicina, estreptomocina i higromicina són els agents de selecció afegits al medi de cultiu. Aquests tres antibiòtics pràcticament no s'utilitzen en la medicina humana o veterinària a causa dels seus efectes secundaris. Un cop la planta sencera és regenerada, en contindrà el gen i produirà l'enzim, que no serà funcional perquè cap dels antibiòtics esmentats no són utilitzats en la pràctica agrícola.

En cas que realitzem la selecció de les cèl·lules no transformades mitjançant la utilització d'agents amb propietats herbicides, els gens que s'empren són: el gen *bar*, que prové del fong *Streptomyces* i dóna tolerància a l'herbicida bialafos o glucofosinat d'amoni (també nomenats basta o ppt); i el gen *EPSP sintasa*, que prové d'un gen mutant del blat de moro i dóna tolerància a l'herbicida glifosat (N-fosfonometilglicina, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P; comercialitzat amb el nom de Roundup®). En els primers experiments provenia d'un gen mutant (*CP4 EPSP sintasa*) d'*Agrobacterium*, tal com s'explicarà posteriorment.

Ens podem trobar en la situació que estiguem desenvolupant un sistema de transformació per a una planta nova o bé que vulguem posar quelcom que ens indiqui que el gen introduït funciona pocs dies després de la transformació o, tal vegada, que aquella planta conté alguna cosa que la fa diferent de les altres. En aquests casos podem fer us dels gens que anomenem marcadors. Aquests gens ens faciliten les tasques de transformació i els introduïm acompanyant el gen d'interès i el de selecció. Aquests gens marcadors normalment ens donaran coloració específica que ajudarà a identificar els teixits transformats. Els més utilitzats són: el gen que codifica per a la GFP i prové de la medusa *Aequorea victoria*;



el gen  $\beta$ -glucuronidasa (GUS), que codifica per a una proteïna que dóna una coloració blava i prové d'*Escherichia coli*; el gen que codifica per a la proteïna de fluorescència vermella DSRed que prové del falç corall Discosoma; i el gen de la luciferasa (LUC) que prové de la “lucièrnaga” o cuca de llum.

## **7. Objectiu 1. Aplicació de les eines biotecnològiques a la millora de les característiques agronòmiques de les plantes. Dos exemples que s’han transformat en productes comercials**

La millora genètica a les plantes no es fa perquè sí. La vida és un continuu de prendre decisions. Comptem amb tot un seguit d’eines biotecnològiques i ens enfrontem a diversos problemes agrícoles socials i econòmics. Cal trobar-hi respostes amb els mecanismes de què disposem.

En el moment actual és especialment important al dissenyar una planta transgènica, l’objectiu de la qual serà posseir característica agronòmica nova, tenir en compte una sèrie de consideracions: (a) que el caràcter de valor agronòmic que s’hi vol introduir sigui durable, és a dir, si pot ser per sempre; (b) que aquesta característica converteixi la planta en sostenible, que no li sigui una càrrega i hagi de necessitar més tractaments que abans, la qual cosa la faria més cara de conrear; (c) aquesta nova propietat ha d’aportar un nou valor per al pagès; (d) ha de ser una característica molt específica i (e) aquesta característica no ha de desenvolupar tolerància.

El cuc barrinador és la plaga més important que ataca el panís. Aquesta plaga la produeixen principalment les erugues de dues papallones: *Ostrinia nubilalis* i *Sesamia monagroides*. Pocs dies després d’haver depositat els ous les papallones, emergeixen les erugues que s’alimenten de les tiges de les plantes, hi fan forat i arriben a destruir la medul·la de la canya. En condicions favorables, es poden arribar a produir fins a tres generacions d’erugues per any. Això suposa unes pèrdues grans de rendiment a les quals cal sumar els atacs directes sobre la panotxa. Les pèrdues en producció poden arribar al 30% de la collita. El control de la plaga del cuc barrinador s’ha intentat per diversos mètodes: control químic, utilitzant insecticides; control agronòmic, canviant els tipus de cultius; control biològic, fent ús de paràsits de les larves o dels ous; actualment, el control genètic, desenvolupant, mitjançant millora genètica

clàssica, varietats noves resistents a l'atac de la plaga, o bé mitjançant la introducció d'un gen que protegeixi la planta -en aquest cas, seria transgènica-. L'aplicació d'insecticides és ineficaç, ja que les larves es troben normalment amagades dins les canyes. El control agronòmic és bo si es combina amb altres mètodes. La lluita biològica en què s'utilitzen paràsits i depredadors pot tenir èxit, però també cal combinar-la amb algun altre mètode. Per aquesta raó, l'ús de varietats resistents a l'atac del cuc barrinador sembla la millor manera de controlar la plaga.

El bacteri Gram positiu Bt que habita al sòl i que s'utilitza normalment com una alternativa biològica a l'ús de plaguicides, es la font de producció de la toxina Cry que se li extreu per a utilitzar-la com a plaguicida. Durant l' esporulació, moltes soques de Bt produeixen cristalls proteics, coneguts com  $\delta$ -endotoxines, que posseeixen propietats insecticides. Per aquesta raó s'ha utilitzat el Bt com a insecticida i, més recentment, per produir organismes genèticament modificats (OGM).

Les toxines Cry són específicament actives contra insectes de l'ordre dels *Lepidòptera* (arnes i voliaines), *Díptera* (mosques i mosquits), *Coleòptera* (escarabats), *Hemíptera* (xinxes) i contra els *nematodes* (cucs). Així, Bt actua com una reserva important de toxines Cry per a la producció d'insecticides biològics i de cultius modificats genèticament.

Des del 1920 s'han utilitzat les espores i els cristalls de proteïna insecticida produïts per Bt en el control de plagues. Aquests plaguicides són considerats respectuosos amb el medi ambient per la seva especificitat, ja que el seu efecte sobre els humans, sobre la vida silvestre, sobre els pol·linitzadors i molts altres insectes beneficiosos, és nul.

Els insecticides basats en Bt que s'apliquen en forma d'esprai líquid als cultius han de ser ingerits per tal de tenir efecte. Quan els insectes s'empassen els cristalls proteics, el pH alcalí del seu tracte digestiu activa la toxina Cry, la qual s'insereix a l'epiteli de l'intestí de l'insecte i hi provoca porus. El porus causa una lisi cel·lular (trencament de la membrana cel·lular) i la mort posterior de l'insecte. Als éssers humans no ens afecta en absolut perquè tenim l'estómac amb un pH àcid, de manera que les proteïnes Cry, tal com hi entren en surten, ja que no hi troben el mitjà adient per realitzar la seva activitat.

Per tot això s'ha vist que Bt és el candidat ideal per ser utilitzat ja sigui en enginyeria genètica, com a insecticida tradicional en forma de pols seca,

o bé en l'agricultura ecològica.

El gen que codifica per aquesta proteïna ha estat clonat pels investigadors i introduït en plantes d'interès comercial, com el panís i el cotó, per tal de fer-les resistents a l'atac del cuc barrinador.

S'ha aconseguit un panís Bt que fa els mateixos cristalls que el bacteri, però menys concentrats, i també és eficaç si els cucs mosseguen la fulla, la tija o la pinya; els mata així que aquests es mengen els cristalls insecticides. Aquesta característica introduïda no augmenta per si mateixa la productivitat del cultiu, però sí que en contribueix a l'increment de forma indirecta. Com que la tija del panís no està foradada, tampoc no es trenquen les plantes, per la qual cosa no es perd gra i el pagès és capaç de recollir tota la producció. L'increment de producció és el resultat de la reducció de les pèrdues (com he dit abans un 30% son degudes al barrinador). Al mateix temps, també s'aconsegueix una millora de la qualitat de la collita gràcies al fet que el barrinador no ha perforat les panotxes, la qual cosa dificulta les infeccions dels fongs productors de micotoxines. Les quatre micotoxines més rellevants en els grans de panís són: fumonisines, aflatoxines, deoxinivalenol i zearalenona. El nivell de toxicitat d'aquestes micotoxines és variable. La introducció d'aquesta característica agronòmica ha comportat dos beneficis, un per al pagès, que no té tantes pèrdues en la collita, i l'altre per a la societat, a la qual arriba un panís amb un contingut gairebé nul de micotoxines.

També he de dir que si un àrea no està afectada pel cuc barrinador, aleshores no hi ha motiu per plantar l'híbrid transgènic. L'ús de l'híbrid tradicional serà suficient.

L'exposició constant a una toxina dóna lloc a la pressió selectiva, la qual cosa implica que las plagues es facin resistents a la toxina. Actualment, se sap que una població d'un tipus d'arnes s'ha tornat resistent al Bt en forma d'espri (sense enginyeria genètica) quan s'utilitza en l'agricultura ecològica. També s'ha informat del primer cas documentat d'una plaga resistent en el cotó transgènic. Per a aquest cas, existeixen diverses solucions. Normalment no s'arriba a aquesta situació, ja que s'evita mitjançant allò que es denomina l'ús de refugis: no tota la plantació és transgènica. Es tracta de plantar un àrea amb el mateix cultiu no transgènic (les cases comercials ja ho proporcionen en el moment de comprar la llavor) i així, en el moment de l'aparellament dels insectes, es redueix la possibilitat que s'aparellin dos individus que hagin desenvolupat resis-

tència. També són solucions l'alternança de cultius o bé l'ús del mateix cultiu però que expressi gens diferents per als mateixos insectes.

El mateix gen Bt s'ha introduït al cotó, un cultiu la flor del qual produeix una fibra que convertim en roba. L'Índia, en aquest moment, és un dels principals productors i exportadors de cotó. No ha estat sempre així. Abans de la introducció del cotó Bt, la producció i qualitat d'aquesta planta a l'Índia era molt inferior en relació a l'actualitat a causa de l'agricultura intensiva que s'hi practicava, ja que obligava a una aplicació constata de productes insecticides. L'ús del cotó Bt no implica l'eradicació total dels insecticides. Malauradament, hi ha plagues atacants que no responen a Bt. Ara bé, sí que implica una reducció molt gran de l'ús d'insecticides, ja que la planta està protegida de l'atac de diferents barrinadors.

Les plantes de soja transgèniques tolerants a l'herbicida glifosat, sobre les quals tant s'ha parlat i de les quals tots consumim subproductes com la llet o l'oli de soja (també se'n fa la farina de soja molt rica en proteïnes i que normalment s'utilitza per a la fabricació de pinso), van ser generades l'any 1987. El professor Paul Christou n'és un dels inventors (patent US5015580 A) i ho van fer a l'empresa Agracetus Inc. A la soja se li va introduir un gen copiat del bacteri *Agrobacterium tumefaciens*, que codifica per a la síntesi d'un enzim que no és afectat pel glifosat. Per tant, en expressar aquest gen bacterià, la planta de soja es converteix en tolerant a l'herbicida glifosat i pot sobreviure a la seva aplicació per exterminar la malesa circumdant. El glifosat, a diferència d'altres herbicides utilitzats en l'agricultura tradicional, resulta més econòmic i de fàcil degradació al sòl, per la qual cosa evita els efectes residuals que podrien perjudicar els conreus posteriors i redueix la contaminació de l'aigua i del medi. Trobareu estrany que el gen introduït pertanyi al genoma d'*Agrobacterium*. L'empresa en qüestió va buscar soques d'*Agrobacterium* tolerants a l'herbicida, i un cop en va identificar una, va analitzar els gens. Així que va reconèixer el que li donava la tolerància a l'herbicida, el van copiar i el van introduir a la soja. Aquesta varietat es cultiva comercialment als EUA des del 1996 donant beneficis milionaris a l'empresa Monsanto (que va adquirir Agracetus Inc per fer-se amb les seves patents). Aquest investigador, ara es professor ICREA a la Universitat de Lleida.

Europa només ha aprovat el cultiu d'una modalitat de panís híbrid transgènic. A Catalunya es cultiven 77 varietats diferents de panís híbrid, però totes contenen el gen MON810 propietat de Monsanto, que és

l'únic aprovat per a ser cultivable a EU (Directiva de la Unió Europea del 1990). Paradoxalment però, es permet en canvi la importació i comercialització de 65 espècies modificades genèticament o transgèniques (segons el Tractat Transatlàntic de Lliure Comerç i Inversió entre Europa i els Estats Units) que inclouen coto (Bt), soja, colza i remolatxa sucrera (tots tres tolerants a herbicides) i panís (Bt i tolerant a herbicides), el conreu de les quals està del tot prohibit a Europa.

## **8. Objectiu 2. Aplicació de les eines biotecnològiques per a la millora nutricional de les plantes cultivades. Exemple: el panís que produeix carotenoides desenvolupat al laboratori**

Les hortalisses i les fruites proporcionen gairebé totes les vitamines i els aminoàcids essencials necessaris per mantenir la salut i el benestar en els éssers humans; ara bé, els cereals majoritaris, com el panís i l'arròs, són deficients en les vitamines i aminoàcids claus. Fins a un cinquanta per cent de la població mundial –principalment la gent pobra dels països en vies de desenvolupament–, es veu afectada per aquestes deficiències a causa de la impossibilitat d'accedir a una dieta variada. Actualment, som més conscients de la importància de dur una dieta saludable i variada per evitar certs tipus de càncers, malalties cardiovasculars, etc. Davant de la desigual distribució agrícola al món i de la dificultat de canviar de cultius a causa principalment de la manca d'aigua, la producció de plantes transgèniques amb un contingut elevat de vitamines i d'aminoàcids podria contribuir a alleugerir aquestes deficiències. A més a més, ens trobem amb un problema molt gran d'immigració. Poblacions senceres abandonen les severs àrees. La inestabilitat política n'és una raó, però sempre va acompanyada de la fam. La gent deixa casa seva per cercar menjar. Un clar exemple en són les migracions de l'Àfrica Subsahariana, i Europa n'és majoritàriament el continent recipient. Potser que fins i tot hi hagi terra per cultivar a l'Àfrica Subsahariana, però la inestabilitat política no ho permet.

Els carotenoides són pigments grocs (donen el color al panís groc), taronges (per exemple, la provitamina A dona el color a la pastanaga) i vermells (per exemple, el licopè que dona el color a la tomata) que es troben en moltes fruites i verdures. En molts països subdesenvolupats es fa servir panís totalment blanc per a ús humà. La farina que se'n obté no té gaire valor nutricional. Mentre que el panís que té color groc, del qual

també s'obté una farina blanca, constitueix el menjar dels animals. És un fet cultural. No resultaria difícil fer un panís amb un valor nutricional afegit, per exemple vitamines o micronutrients, que, en ésser consumit, pal·liés alguna de les carències inherents. La nostra idea va ser regenerar un panís que contingués provitamina A, vitamina C i àcid fòlic. Per a la producció de provitamina A són necessaris tres gens de la ruta dels carotenoides; per a la producció de la vitamina C, en cal un altre; i per a la producció d'àcid fòlic, un altre més. L'estratègia consisteix a copiar cinc gens d'organismes que els tinguin funcionant i introduir-los en la planta per reconstruir la ruta metabòlica que portés a la producció de provitamina A, vitamina C i àcid fòlic.

Un cop haguem identificat els gens que ens calen, com per exemple el gen de la *lycβ* de la planta *Gentiana lutea*, en cerquem la seqüència a les bases de dades, com NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Després d'obtenir-ne la seqüència, se'ns presenten dues opcions: o copiar-la de l'organisme que la conté o bé fer sintetitzar la seqüència a una empresa especialitzada en aquest tipus de serveis. Els gens els clonarem sota la direcció d'un promotor específic de la llavor i també n'afegirem la seqüència d'acabament. Un cop tenim el còctel que contindrà tots els gens serà dispat al nostre teixit diana. Mitjançant aquest sistema de transformació genètica anomenat combinatorial, es poden generar plantes transgèniques combinant gens diferents. Amb aquesta metodologia, hem reconstruït i allargat la ruta dels carotenoides al panís. D'aquesta manera, hem assolit uns nivells elevats de provitamina A que donen una coloració ataronjada característica de la provitamina A. A més, s'han aconseguit regenerar, segons s'expressin, dos, tres o cinc gens, un panís que conté altres carotenoides, com ketacarotens del tipus de l'astaxantina, un potent antioxidant que ha demostrat activitat anticancerígena i que activa la resposta immune.

### **9. Objectiu 3. Aplicació de les eines biotecnològiques per a la producció de medicaments en plantes o Molecular Pharming. Exemple: producció de proteïnes que neutralitzen el virus del VIH en llavors de panís transgènic, que és un projecte de recerca actual**

Es calcula que hi ha uns trenta-tres milions de persones infectades pel VIH arreu del món, de les quals un 60% viu a l'Àfrica Subsahariana, i

que el repartiment per sexes de la malaltia és equitatiu entre els adults. Però, què volen dir VIH i sida? VIH són les sigles de *Virus de la Immunodeficiència Humana*, que infecta unes cèl·lules de summa importància dins el sistema immunitari: els limfòcits CD4. El sistema immunitari fa referència al grup de cèl·lules i òrgans que protegeixen el cos humà de les malalties mitjançant la localització i l'extermini de qualsevol virus. Com més virus VIH hi ha a l'organisme, menys cèl·lules CD4 funcionals hi queden, i, com a conseqüència, més perjudicat resulta el sistema immunitari, que, a més de ser vulnerable al virus, també pot veure's afectat per altres malalties infeccioses, com la pneumònia, la tuberculosi i l'herpes. La persona infectada, amb el temps, va emmalaltint, fins que arriba un moment en què el nombre de cèl·lules funcionals del sistema immunitari està per sota del nivell mínim indispensable. És precisament aleshores quan l'individu contreu la malaltia de la síndrome d'immunodeficiència adquirida, sida, la qual pot ser letal en un temps altament breu. El temps que transcorre entre la infecció pel virus i el desenvolupament de la malaltia varia molt d'una persona a una altra i depèn de nombrosos factors, com la nutrició, la intervenció d'altres malalties i, sobretot, de si s'ha tingut o no accés a un tractament pal·liatiu. Sense aquest, s'estima que el temps entre la contracció i el desenvolupament de la malaltia és aproximadament d'uns deu anys. D'altra banda, el virus de la sida pot encomanar-se simplement pel contacte d'alguns fluids corporals (a excepció de la saliva), ja que resulta tremendament contagiós. Actualment, no hi ha cura contra la malaltia; tanmateix, hi ha tractaments a partir de combinacions de medicaments (teràpia antiretroviral) que aturen la multiplicació del virus en les cèl·lules del sistema immunitari CD4. D'aquesta manera, es pot alentir la conversió de la infecció en malaltia i permetre així que els afectats tinguin una vida millor al llarg del temps. El principal problema del virus de la sida és que muta constantment durant la seva replicació i fa que els medicaments antiretrovirals que resultaven efectius de bon començament deixin ara de ser-ho per culpa de la seva resistència. Per tant, a fi d'evitar que la malaltia s'escampi més, urgeix la necessitat imperiosa de trobar vacunes i altres medicaments.

Els fàrmacs antiretrovirals es poden utilitzar per tractar el virus de la sida, però encara hi ha molta gent que mor. Un dels principals problemes és l'elevat preu dels medicaments. La població dels països pobres de l'Àfrica i l'Àsia no pot pagar-los. Així, tot i que 9,7 milions de persones es troben en la necessitat immediata de disposar d'aquests medicament per salvar la vida, només 2,99 milions –el 31%– són tractats. Les prioritats dels governs, dels empresaris i de les organitzacions no governa-

mentals d'arreu del món han anat canviant i ara s'inverteixen més diners per a facilitar els tractaments en els països amb menys recursos, però tot i així són fonamentals altres estratègies alternatives. I aquí és on la ciència pot intervenir i la biotecnologia tenir un paper rellevant.

Una de les aplicacions de la biotecnologia és el *Molecular pharming* (agricultura molecular), que es basa en la producció de proteïnes per ser utilitzades com a medicaments –per exemple, anticossos contra la sida– en plantes cultivables. Fins ara, les proteïnes d'ús farmacèutic –com els anticossos o els enzims– es produïen en cultius de cèl·lules d'ovari d'hàmsster xinès (CHO), però el cost econòmic d'aquest sistema és molt elevat. Les plantes permeten produir aquestes proteïnes de forma més barata i segura, a més d'oferir molts més avantatges respecte als sistemes de producció basats en cèl·lules de mamífers. Les plantes són més segures perquè, a diferència dels cultius de les cèl·lules CHO, és impossible que es contaminin amb patògens humans o animals; a més, tenen la capacitat de produir proteïnes complexes i funcionals per als humans; i el més important, no són cares de cultivar ni de mantenir –perquè creixi una planta només es necessita terra, aigua, fertilitzants barats i llum solar (res a veure amb els sistemes cars i complexos de fermentadors on són cultivades les cèl·lules dels mamífers)–. Les proteïnes es poden extreure i purificar fàcilment dels teixits vegetals seguint procediments estàndards. Així mateix, després d'analitzar un gran nombre de plantes diferents, s'ha arribat a la conclusió que les que millor responen en el camp *Molecular pharming* són els cereals, especialment les seves llavors. Aquestes són un òrgan d'emmagatzematge de proteïnes i, conseqüentment, poden aplegar-ne grans quantitats a temperatura ambient. Fins i tot del reticle endoplasmàtic se'n deriven uns compartiments induïts per les proteïnes recombinants que s'hi acumulen, es denominen cossos Stoeger. Aquest tipus de producció i emmagatzematge del medicament comportaria un gran alleujament en els països pobres africans que no disposen de neveres per conservar-los, però la normativa europea en el cultiu de plantes transgèniques adoptada per molts d'aquest països en frena el seu desenvolupament.

Actualment, hi ha quatre anticossos monoclonals efectius davant el virus de la sida: 2G12, b12, 4E10 i 2F5. Aquests anticossos neutralitzants s'uneixen al virus i el frenen per tal d'evitar que infecti noves cèl·lules CD4 del sistema immunitari. Tot i que no implica la curació, sí que n'impedeix la infecció de cèl·lules noves –aquesta troballa científica és vital per als pacients que han estat infectats recentment– i retarda el desen-



volupament de la malaltia de la sida. Sembla clar, però, que la clau per aturar l'epidèmia passa per fer front a la transmissió sexual del virus, ja que aquí és on es troba l'origen de les noves infeccions. L'ús del preservatiu és força eficaç a l'impedir la transmissió de la malaltia per contacte sexual. Els estudis indiquen que la biologia de les dones les fa més vulnerables que els homes a la infecció del virus de la sida, amb la qual cosa, davant els maltractaments, no poden tenir cura de la seva pròpia salut sexual. Per aquesta raó, a fi de reduir el contagi d'aquesta i d'altres malalties de transmissió sexual, s'han començat a desenvolupar els microbicides contra el virus.

Els microbicides s'apliquen de maneres diferents –mitjançant gels tòpics vaginals, cremes i, també, *films*– i en la seva composició hi ha diversos agregats contra el virus, com per exemple la combinació de medicaments antiretrovirals o anticossos neutralitzats. L'ús de microbicides, posaria la decisió de protegir-se contra la malaltia més en mans de les dones.

Com és lògic, els microbicides, a l'igual de la resta de medicaments i tecnologies utilitzats en l'àmbit sanitari, han de superar tota una sèrie de rigorosos controls abans d'obtenir la seva aprovació definitiva. De fet, malgrat els nombrosos assajos clínics, encara no se n'ha comercialitzat cap. Hi ha un microbicida elaborat a partir de la combinació de tres anticossos neutralitzants del virus de la sida –2G12, 4E10 i 2F5– que s'està provant en humans a Anglaterra en la primera fase d'assajos clínics dins el projecte EMPRO (European Microbicides Project).

S'ha descrit un nombre de plantes terrestres i algues marines que produeixen compostos naturals que neutralitzen el VIH. Per exemple, alcaloides i polifenols, així com macromolècules, com ara els polisacàrids sulfatats i les lectines (Griffithsina i cianovirina).

Hi ha hagut progressos significatius en el desenvolupament de productes farmacèutics derivats de plantes transgèniques produïts en fermentadors, incloent-hi la taliglucerasa alfa aprovada recentment per la FDA, un enzim humà recombinant produït en cèl·lules de pastanaga per al tractament de la malaltia de Gaucher (“Eleyso”, produït a Israel per l'empresa Protalix Bio Therapeutics Inc.). No obstant això, la comercialització de plantes transgèniques que produeixen fàrmacs en un entorn de camp, avança lentament a causa del desfavorable i oneros entorn regulador.

Els anticossos neutralitzants són exemples clau d'aquest tipus de pri-

mera matèria de productes farmacèutics, ja que es requereixen en grans quantitats a un preu adequat per a les persones més pobres del món. Això només es pot aconseguir mitjançant la producció a escala massiva sense necessitat de transport i refrigeració, i aquest conjunt de requisits previs només es pot assolir amb les plantes. Els anticossos neutralitzants juguen un paper important en el desenvolupament de vacunes per a la immunització passiva i com a inhibidors de l'entrada viral. Fins al moment, s'han produït amb èxit en plantes diversos anticossos neutralitzants del VIH.

L'objectiu de la nostra recerca consisteix a introduir en el panís els gens que codifiquen per alguns dels anticossos neutralitzants del virus de la sida. Hem aconseguit que l'anticòs 2G12 s'acumuli en concentracions molt elevades a les llavors del panís i que un cop purificat neutralitzi amb una major eficàcia el virus de la sida, si el comparem al mateix anticòs produït en les cèl·lules de mamífers CHO. Aquests resultats han demostrat que les plantes també són vàlides en la producció dels ingredients utilitzats en els microbicides i que el seu ús pot representar un abaratiment considerable del procés i, per tant, obre les portes a la producció i desenvolupament del producte en els països pobres, al cap i a la fi els més necessitats. Hem repetit l'experiment en plantes d'arròs. En aquest cas, la cadena pesant de l'anticòs va estar majoritàriament glicosilada. No obstant això, les dues cadenes s'acobraven en anticossos funcionals amb activitat neutralitzant del VIH més potent que els 2G12 derivats d'altres plantes. En tots dos experiments hem utilitzat el gen DSRed com a marcador. Quan les llavors presenten la fluorescència vermella volen indicar que contenen els anticossos i que no són aptes per al consum humà. Les plantes enginyades que produeixen productes farmacèutics recombinants es poden cultivar en els països en vies de desenvolupament i la matèria primera pot ser processada localment, cosa per la qual s'elimina la necessitat d'una cadena de fred.

També hem expressat en planta dues lectines que exhibeixen activitat antiVIH. La Griffithsina, que prové de l'alga vermella *Griffithsia* sp, i la cianovirina, que s'origina a partir del cianobacteri *Nostoc ellipsosporum*. Totes dues han demostrat l'activitat neutralitzant sobre el virus, tant en forma purificada com en extracte cru.

L'any 2013 es va completar la primera fase d'assajos clínics del 2G12 produït en fulles de tabac (<http://www.pharma-planta.org>). El 2G12 d'origen vegetal va ser capaç de sobreviure durant més de vuit hores a la vagina i va demostrar que era segur i ben tolerat, sense efectes adversos greus.

Així que s'hagi desenvolupat una vacuna eficaç contra el VIH, el proper repte serà el subministrament de les vacunes amb un preu que pugui ser satisfet pels sistemes de salut dels països en desenvolupament. Com que la major part dels costos de producció de les vacunes són causats pel processament, purificació i formulació, una estratègia que podria reduir el preu de les vacunes substancialment seria l'ús de plantes per bioencapsulació, és a dir, mitjançant el subministrament de les vacunes com a components de cultius comestibles. D'aquesta manera, es mantindria l'estabilitat de la vacuna durant l'emmagatzematge i la distribució, permetria l'administració oral directa i la matriu de l'aliment proporcionaria una protecció limitada en el tracte digestiu, fins al punt que cada antigen tindria més possibilitats d'induir immunitat oral. Tot i que el nostre objectiu seria fer una pasta xafant directament els grans de panís i que pogués ésser aplicada de forma vaginal o rectal abans de les relacions sexuals.

## **10. Entrebancs que limiten la recerca i la comercialització amb plantes transgèniques a Europa en comparació amb la resta del món**

Un cop disposem dels germoplasmes descrits anteriorment, com per exemple les llavors de panís millorades per a la nutrició, hem de demostrar que el concepte és vàlid i que la planta produirà les vitamines en condicions de cultiu real, és a dir, al camp. Per tal de poder realitzar aquest prova, cal demanar els permisos per fer un camp experimental. L'obtenció d'un permís no és fàcil a Europa, per la qual cosa varem decidir fer-ne el primer a l'estació experimental del LSU AgCenter, a Louisiana (EUA). Ens van demanar d'emplenar un informe de sis pàgines en què varem haver de descriure les plantes i pagar una taxa de 300 dòlars. Varem enviar-hi les llavors transgèniques (seguint estrictament totes les normatives d'embalatge) i els nostres col·laboradors van plantar el camp. La dificultat era logística: fer un mostreig als EUA i analitzar a Lleida no resultava senzill per als estudiants de doctorat, de manera que no ens va quedar més remei que demanar el permís a l'administració local i nacional. La diferència amb els formularis americans és que aquí ens van demanar: (1) Permís per fer servir el camp amb la signatura d'un vicerector de la UdL. (2) Conformitat dels altres professors que també disposen d'altres camps experimentals del mateix cultiu, la llavor de panís d'aquells que envoltaven el nostre camp l'hauríem de destruir,

segons dictamina la normativa europea. (3) Notificació d'alliberament voluntari de plantes superiors modificades genèticament. Són vint-i-vuit pàgines, més tota la documentació indicada. (4) Resum de la notificació de l'alliberament de plantes superiors modificades genèticament. Són cinc pàgines, més tota la documentació indicada. (5) Informe sobre avaluació del risc de l'alliberament voluntari. Són quatre pàgines, més tota la informació indicada. Els documents 3, 4 i 5 en castellà i anglès. Tot per duplicat i, a més, copiat en CD. (Bé, desanima una mica al començament, però un cop tens el paquet fet i a punt per ésser enviat a Madrid, sembla més senzill!)

Després que tota la documentació fos enviada correctament i avaluada primer per la Comissió Nacional de Bioseguretat, sotmesa a continuació a informació pública, i avaluada finalment per la Comissió Catalana de Bioseguretat, vam rebre l'autorització per a l'alliberament voluntari amb finalitats diferents a la comercialització d'OMG. D'aquesta manera, les temporades 2012, 13 i 14 vam tenir els camps experimentals més complexos del món a ETSEA-Agrotecnio. Sortosament, aquests bons moments d'agilitat administrativa ens van permetre la concessió de la *Secretaría General de Agricultura y Alimentación* del MAGRAMA del *Título de Obtención Vegetal* (TOV 20135058) pel blat de moro que acumula provitamina A, vitamina C i àcid fòlic. Ara es denomina *Carolight*. El qual mai serà un producte comercial a Europa degut a la normativa de aplicada als OMG (descrita mes avall).

Un exemple de com la política frena el treball amb plantes transgèniques és l'actual legislació de la Unió Europea en matèria d'OMG. Si es compara amb la dels Estats Units, no ofereix dubtes: l'europea és molt més restrictiva. En ambdós països es duen a terme els estudis científics pertinents per garantir la seguretat en la salut de la població i del medi ambient. La diferència consisteix en què a la Unió Europea es regula com s'ha obtingut l'organisme, és a dir, "el procés". Així doncs, si s'ha creat mitjançant enginyeria genètica, automàticament adquireix la categoria de potencialment perillós per a la salut humana i el medi ambient, i exigeix a l'investigador la demostració de la innocuïtat del "procés de transformació". En canvi, als Estats Units no es té en compte la tecnologia que s'ha utilitzat per obtenir l'organisme sinó que es regula el resultat final, és a dir, "el producte". Si la planta presenta una característica agromòmica nova, s'analitza simplement aquesta característica i el comportament de la planta en el camp. Quan aquesta produeix una molècula d'ús farmacèutic, l'objecte d'anàlisi és l'efectivitat de la susdita molècula una

vegada extreta de la planta –en cap cas, com s’ha modificat la planta per obtenir-la–; i si es tracta d’una millora nutricional, s’examina la composició del producte final i, entre d’altres molts aspectes, la possibilitat de ser al·lergogen. Als Estats Units, es compara l’aliment genèticament modificat amb el mateix aliment convencional no modificat, acceptat prèviament com a segur per l’Organització Mundial de la Salut (WHO). Es determina si l’aliment genèticament modificat presenta els mateixos riscos per a la salut i el medi ambient que el convencional. Si l’aliment genèticament modificat és substancialment equivalent en composició, característiques nutricionals i possibles riscos al producte convencional, també es considera com a segur.

A la Unió Europea, els valors dels estàndards de traçabilitat en els aliments són molt alts. Els classificats com a no genèticament modificats poden contenir igual o menys d’un 0,9% de material modificat. Si superen aquest valor, han d’etiquetar-se com a aliments genèticament modificats. En canvi, als Estats Units aquest valor se situa en un 5% i l’etiquetatge no és obligatori.

A la Unió Europea, malgrat les evidències científiques que els organismes genèticament enginyats són segurs, es posen molts obstacles per a la seva investigació i producció. Aquest fet implica que la investigació amb plantes transgèniques sigui més lenta i, en certes ocasions, després d’obtenir-se’n i publicar-se’n els resultats, una determinada línia de recerca acabi suspesa i les llavors incinerades.

## **11. Conseqüències de l’aplicació de les diferents normatives a nivell mundial: aparició de nous productes al món i de noves prohibicions a Europa**

A Europa som deficitaris en cereals i proteïna per a la producció de pinso. Importem tots els productes transgènics descrits anteriorment. Però la normativa europea d’aprovació d’events per a la importació va molt lenta i en desfàs amb els nous productes que s’aproven a la resta de països productors i cultivadors de plantes transgèniques (i exportadors a Europa). Quan un vaixell ple de farina, per exemple de soja, arriba a un port europeu, se li analitzen els gens forans que conte. Si un d’aquest no es permès a Europa, el vaixell és retornat a origen, amb totes les pèrdues econòmiques que això implica.

El paísos productors i cultivadors de plantes transgèniques han adoptat l'enginyeria genètica com una eina més del seu desenvolupament agrícola. Un exemple clar en son els Estats Units. L'any 1992 es va produir una infecció del virus 'ringspot' (PRSV) als camps de papaia de la comarca de Puna, a les illes Hawaii, que gairebé va eliminar aquest cultiu. Els investigadors de Hawaii, juntament amb els de la Universitat de Cornell, van desenvolupar dues varietats de papaia la modificació genètica introduïda a les quals les feia resistents al virus. Des del 1998, es planten aquests dos cultius transgènics resistents al virus –'SunUp' i 'Rainbow'—, que, d'aquesta manera, han permès de mantenir-ne la producció. 'SunUp' té la carn vermella i 'Rainbow' és un híbrid F1 del 'SunUp', amb la carn groga i molt més popular. A la Xina es va iniciar el cultiu comercial de papaia resistent al virus l'any 2006, amb varietats desenvolupades per les universitats del país.

Un altre arbre fruiter transgènic comercial és un tipus de pomera. L'empresa canadenc de biotecnologia Okanagan Specialty Fruits Inc té permís per cultivar i comercialitzar les seves varietats 'poma de l'Àrtic' o 'Arctic granny' i 'poma Àrtic daurada' o 'Arctic golden'. El fruit genèticament modificat, desenvolupat inicialment a Austràlia, va ser creat de tal manera que en silenciava el gen responsable de l'enfosquiment enzimàtic. Els productors, per exemple, seran capaços de vendre més pomes perquè no llençaran fruita masegada i marró. Això significa que els envasadors tindran més pomes de grau superior. I els processadors de fruita fresca no hauran de tractar químicament el fruit, i els processadors de sucs n'obtiniran un suc més clar.

Els Estats Units també van aprovar (per la *USDA al 2014* i la *FDA al 2015*) la patata *Innate*, que no s'enfosqueix quan es talla o rep cops, i produeix menys acrilàmida en ser fregida. El creador, l'empresa *J.R. Simplot Company*, va utilitzar la tècnica de RNAi per silenciar els gens causants de l'oxidació que produeix l'enfosquiment i la producció de menys asparagina, o sigui, l'aminoàcid que produeix l'acrilàmida.

La mongeta 5.1 va ser desenvolupat per l'empresa estatal Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (Embrapa) per frenar el mosaic daurat, una malaltia que deixa les fulles de la planta de la mongeta de color groc, deforma les beines i els grans, i impedeix el naixement de les seves flors, per la qual cosa la pèrdua de la collita se situa entre el 40 i el 100 por cent. Els agricultors amb poder econòmic apliquen insecticides fins a un cop per setmana per tal de controlar la mosca blanca, el vector que

transmet el virus. El cultiu de la varietat transgènica permet reduir el cost de la producció, i com a conseqüència, reduir els preus per al consumidor d'un aliment bàsic de la dieta diària dels 192 milions de brasilers.

De la remolatxa sucrera, la colza i l'alfals, se'n disposa de varietats tolerants a l'herbicida glifosat (contenen el gen CP4 EPSPS d'*Agrobacterium* sp). Són cultivades al Canadà, els EUA, la Xina, Austràlia... gairebé a tots els països desenvolupats, excepte als d'Europa, però els importem. A Austràlia també cultiven la rosa i el clavell blau (Moon-dust i Moonshadow), els quals contenen gens de petúnia, cultiu prohibit a Europa però que també la importem.

I per acabar, voldria traduir la frase del filòsof contemporani Alston Chase:

***“Quan la cerca per la veritat es confon amb ‘el políticament correcte’ i ‘el partidisme’, la trobada del coneixement quedarà reduïda a una conquesta pel poder”***

He dit

Teresa Capell Capell

**Per a més informació:**

*“Canviar els gens per millorar el món. La ciència al servei de la humanitat”.*  
Paul Christou, Teresa Capell, Ludovic Bassie, Changfu Zhu, Shaista Naqvi, Ariadna Peremartí, Koreen Ramessar, Sonia Gómez, Svetlana Dashevskaya, Dawei Yuan, Maite Sabalza, Gemma Farré, Sol Maiam Rivera, Bruna Miralpeix. Pagès Editors. ISBN 978-84-9975-143-6.

