


TRES DÉCADAS DE TRANSGÉNICOS

Director: Francisco García Olmedo



LOS TRANSGÉNICOS EN EL
MUNDO Y EN ESPAÑA
(Conferencia IV)

Francisco García Olmedo

Real Academia de Ingeniería

Introducción

Dedicamos esta conferencia a dar una visión panorámica de cómo los cultivos transgénicos se han ido difundiendo por el mundo y de la investigación y las aplicaciones de la biotecnología agronómica en España. En la segunda parte de la conferencia desarrollaremos los argumentos a favor de la seguridad de estos cultivos, tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

Ya hemos visto que la disponibilidad de secuencias genómicas está facilitando la identificación y clonaje de los principales genes de interés agronómico, ya sean los responsables de los caracteres cuantitativos (QTL; Quantitative Trait Loci), ya sean los que codifican caracteres cualitativos relevantes. Así por ejemplo, las interacciones de las plantas, tanto beneficiosas como adversas, con otros seres vivos (microorganismos, nematodos, ácaros, insectos y malezas o malas hierbas) han podido estudiarse en detalle gracias a la nueva biología molecular, y la secuenciación de los genomas de muchos de estos organismos está permitiendo profundizar en los mecanismos de estas interacciones. Son organismos beneficiosos los que antagonizan a los adversos, los que favorecen la captación de nutrientes en simbiosis y los que mineralizan la materia orgánica del suelo, aportando así nitrógeno, fósforo, hierro, etc. en forma asimilable por la planta. Son adversos aquéllos que son responsables de enfermedades y plagas. Más del 90 % de la superficie sembrada de plantas transgénicas (primera generación) corresponde a aplicaciones relacionadas con el control de agentes adversos.

Superficies, países, agricultores

Ha aparecido recientemente el informe anual del *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)*, titulado *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011*, que ha sido coordinado por Clive James y que da cuenta de los progresos de las cosechas transgénicas en 2011. La implantación de estas cosechas ha sido la innovación que más rápidamente se ha difundido en la historia de la agricultura. Desde que en 1995 se sembraron las primeras cosechas de este tipo, la superficie sembrada con ellas ha venido creciendo entre el 8% y el 13% anual hasta superar los 160 millones de hectáreas en 2011 (12 millones de hectáreas más que en 2010, un 8% de incremento). Más de 16,7 millones de agricultores cultivaron transgénicos en 2011, lo que supone 1,3

millones más que el año anterior; más del 90%, 15 millones, eran pequeños agricultores de países en desarrollo. Las cosechas biotec se han implantado ya en 29 países, de los que 19 han sido países en desarrollo y 10, desarrollados.

El aumento de la superficie sembrada ha sido dos veces más rápida en los países en vías de desarrollo que en los desarrollados, hasta el punto de que éstos ya igualan a aquéllos en superficie sembrada de estos cultivos. Sólo cinco países en desarrollo, China, India, Brasil, Argentina y Suráfrica, que representan el 40% de la población mundial, acaparan el 44% de la producción de cosechas transgénicas. Estados Unidos es el primer productor mundial, con 63 millones de hectáreas, representa un 43% de la superficie total. Brasil ha surgido como segundo productor mundial de forma explosiva. Al principio del primer mandato de Lula da Silva, se consideró la idea de un Brasil libre de transgénicos; recuerdo un largo encuentro con José Graziano da Silva, actual secretario general de la FAO y entonces Ministro Extraordinario de Seguridad Alimentaria y Combate al Hambre de Brasil, cartera responsable de implementar el programa Fome Zero (Hambre Cero), a lo largo del cual pude comprobar que se inclinaba tibiamente por esa opción, pero ya entonces los agricultores habían sembrado clandestinamente 4 millones de hectáreas de soja transgénica, trayendo de contrabando la semilla desde Argentina, país al que ahora han superado como productores.

Tabla 1. Cultivos transgénicos por países

País	Superficie (10⁶ ha)	Cosecha
EEUU	69,0	maíz, soja, algodón, colza, remolacha, alfalfa, papaya, calabaza
Brasil	30,3	soja, maíz, algodón
Argentina	23,7	soja, maíz, algodón
India	10,6	algodón
Canadá	10,4	colza, maíz, soja, remolacha
China	3,9	algodón, papaya, chopo, tomate, pimiento dulce
Paraguay	2,8	soja
Pakistán	2,6	algodón
Suráfrica	2,3	maíz, soja, algodón
Uruguay	1,3	soja, maíz
Bolivia	0,9	soja

Australia	0,7 algodón, colza
Filipinas	0,6 maíz
Myanmar	0,3 algodón
Burkina F	0,3 algodón
México	0,2 algodón, soja
España	0,1 maíz
Colombia	<0,1 algodón
Chile	<0,1 maíz, soja, colza
Honduras	<0,1 maíz
Portugal	<0,1 maíz
Chequia	<0,1 maíz
Polonia	<0,1 maíz
Egipto	<0,1 maíz
Eslovaquia	<0,1 maíz
Rumanía	<0,1 maíz
Suecia	<0,1 patata
Costa Rica	<0,1 algodón, soja
Alemania	<0,1 patata

Las superficies y cosechas sembradas en los distintos países se consignan en la Tabla 1. La soja, con 75,4 millones de hectáreas, sigue siendo la principal cosecha transgénica durante 2011, seguida por el maíz (51 millones de hectáreas), el algodón (24,7 millones de hectáreas), y la colza (8,2 millones de hectáreas). Desde el punto de vista de los caracteres introducidos por transgénesis, la resistencia a herbicidas, principalmente a glifosato, sigue ocupando el primer lugar (casi el 60% de lo sembrado), habiéndose introducido este carácter en soja, maíz, colza, algodón, remolacha y alfalfa. El segundo lugar lo ocupa la resistencia a insectos basada en la expresión de una proteína de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, proteína Bt o Cry-I, siendo la principal aplicación la resistencia al taladro en el maíz, y de otra variante, Cry-II, que actúa frente a un coleóptero del suelo que ataca a las raíces. La gran novedad es sin duda la rápida difusión entre 2010 y 2011 de variedades con más de un carácter transgénico añadido, hasta ocupar casi 24 millones de hectáreas que representan el 26% de la superficie sembrada con transgénicos.

La biotecnología agraria en España

Dentro de esta descripción a grandes rasgos del marco general, la contribución española ha sido ciertamente modesta, pero nada desdeñable. Nuestro país ha sido desde el principio el principal productor de transgénicos en Europa, lo que está justificado porque es también el principal importador de granos para piensos de todo el continente, principalmente soja y maíz. Consumimos productos cárnicos por encima de la media europea y, por razones climáticas, no disponemos de los pastos que tan abundantes son al norte de nuestras fronteras. No producimos soja, pero sí maíz en zonas en las que estas cosechas son sensibles al taladro, una plaga de insectos que destruye por completo la cosecha en algunas regiones de Aragón, Cataluña o la Mancha. De aquí que el maíz Bt, resistente al taladro, haya tenido una entusiasta acogida en esas regiones.

La moratoria de facto que afecta directamente a Europa ha dañado seriamente la investigación básica en el área y el desarrollo de nuevas aplicaciones. A pesar de todo, las innovaciones potenciales han seguido produciéndose a la par con la investigación básica.

Los laboratorios españoles han incidido, entre otros, sobre los siguientes aspectos aplicados: calidad nutritiva del producto (Victoriano Valpuesta y col.), el acortamiento del tiempo necesario para iniciar la floración en especies leñosas (Luis Navarro y col.; José Miguel Martínez Zapater y col.); tolerancia a factores adversos del suelo, tales como la salinidad (Ramón Serrano y col.; Alonso Rodríguez-Navarro y col.); resistencia a enfermedades (Blanca San Segundo y col.; Antonio Molina y col.); manipulación de la andro-esterilidad (José Pío Beltrán y col.).

El desarrollo de los métodos de transformación genética de plantas, a partir de 1983, indujo a cambiar de metodología a los investigadores que ya se dedicaban a la genética molecular de plantas y a cambiar de campo a científicos que hasta entonces habían militado en otras especialidades. Bajo el primer supuesto, cambiaron de rumbo las investigaciones que sobre genética vegetal se llevaban a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, mientras que bajo el segundo puede considerarse al grupo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Barcelona, que

empezó a publicar sobre proteínas de endospermo de maíz hacia 1984. Entre los miembros de este segundo grupo –Jaume Palau, Pere Puigdoménech, Montserrat Pagés, María Dolors Ludevid, José Antonio Martínez Izquierdo, Jordi Cortadas– estaban algunos de los principales responsables del vigor actual que estos estudios han alcanzado en Barcelona bajo la gestión de Pere Puigdoménech en los nuevos laboratorios del Centre de Recerca en Agrigenómica (CRAG).

En la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), lo que involucró inicialmente a dos investigadores, acabó implicando a casi un centenar de personas cuando en 1987 se consolidó lo que luego se llamaría Departamento de Biotecnología de la UPM. Fue también en esta universidad donde se realizó la primera venta de este tipo de tecnología en el mercado internacional (primera cesión de derechos de patente y licencia exclusiva en 1989) y donde en 2008 se fundó el Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP), situado en el parque tecnológico de Montegancedo en el que se han integrado grupos de investigación del DB-UPM y del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) y al que se incorporaron también otros grupos procedentes de otras instituciones europeas y españolas.

A mediados de la década de los 90 se inició el proyecto del Centro Nacional de Biotecnología (CNB), que incluía una división de plantas, cuya dirección durante su periodo fundacional (1986-1993) fue desempeñada por Pilar Carbonero, catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid, quien luego sería sucedida por Javier Paz-Ares, graduado y doctorado en dicha universidad. En la división de plantas del CNB, en la que trabajan cerca de un centenar de personas, se investiga sobre factores transcripcionales, estrés abiótico, interacción patógeno-planta, virología, biología del desarrollo y genómica, entre otras líneas.

Otro núcleo numéricamente importante de genética molecular de plantas se inauguró en Valencia en 1995. Se trata del Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), que resulta de la confluencia intelectual de Vicente Conejero y José Pío Beltrán, junto con la cooperación institucional entre la Universidad Politécnica de Valencia y el CSIC. Esta institución ha inaugurado una nueva instalación en 2007. Los estudios sobre interacción patógeno-planta y los de carácter fisiológico, que respectivamente realizaban los fundadores habían

desembocado en un abordaje de genética molecular al principio de la década de los 90. De la vitalidad del IBMCP da una idea el hecho de que se haya pasado de 75 personas en 1994 a unas 250 personas en la actualidad, agrupadas en una treintena de equipos. La lista de líneas de trabajo de este instituto es muy extensa y cubre prácticamente todas las vertientes actuales de la especialidad.

El panorama de la genética molecular de plantas en nuestro país no se restringe a los centros antes mencionados sino que afortunadamente abarca a numerosos laboratorios distribuidos por toda la geografía española. Durante los años 80, los biólogos moleculares de plantas se encuadraban esencialmente en tres sociedades científicas: la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM), la Sociedad Española de Genética (SEG) y la Sociedad Española de Fisiología (SEFV). Sin embargo, a principios de los años 90 se buscó una nueva fórmula para encauzar el intercambio científico en esta especialidad en una serie de reuniones bianuales de Biología Molecular de Plantas que han sido buena prueba de la vitalidad del sector. La idea de esta serie de reuniones fue de Gregorio Nicolás, catedrático de la Universidad de Salamanca, quien ya empezó en los años 80 a abordar la fisiología vegetal desde una óptica molecular.

Seguridad para el ser humano

Hablar de los riesgos de las plantas transgénicas y de los alimentos derivados de ellas – como de los de cualquier otra tecnología, sea la eléctrica o la del acero – no cabe hacerlo más que aplicación por aplicación. De hecho, la aprobación del cultivo y consumo de plantas transgénicas se hace caso por caso, según un riguroso proceso en el que se tienen en cuenta todos los riesgos imaginados, por desdeñables que parezcan. Nunca en la historia de la innovación se han tomado precauciones tan extremas. En todo caso, el cultivo aprobado es sometido a seguimiento y la autorización puede ser revocada en cualquier momento en que surja una alarma fundada.

No existe el riesgo nulo. Toda actividad humana conlleva un cierto riesgo que ha de ser siempre evaluado en función de los beneficios que dicha actividad reporta: la vacuna de la viruela causó problemas serios a algunos individuos, pero salvó millones de vidas. Las aplicaciones de los nuevos avances biológicos pueden

comportar algunos riesgos, pero éstos son evitables mediante la restricción o la prohibición de aquellas aplicaciones que sean peligrosas.

Además, la manipulación genética de las plantas cultivadas ha tenido como uno de sus objetivos, desde el neolítico hasta la actualidad, la eliminación de algunos riesgos de los productos naturales, tales como la presencia de sustancias tóxicas: la cereza silvestre posee sustancias nocivas que fueron eliminadas por selección gracias a que el sabor amargo asociado a ellas o su toxicidad manifiesta permitían detectar su presencia sin recurrir al análisis bioquímico. Por otra parte, en algunos casos se ha seleccionado a favor de la presencia de sustancias nocivas: en ciertas variedades picantes de pimiento - algunas muy apreciadas - se encuentran concentraciones altas de capsaicina, una sustancia citotóxica que destruye las membranas celulares empezando por las de las propias papilas gustativas.

Entre los posibles riesgos que puedan derivarse de la producción y consumo de productos vegetales transgénicos hay que distinguir los que incidirían de un modo directo en el hombre y los que afectarían de distintas formas al medio ambiente.

Es evidente que las proteínas codificadas por los genes ajenos que se introducen en una planta transgénica - o las sustancias cuya síntesis pueda depender de dichas proteínas - deben carecer de toxicidad para el hombre. Si expresamos en el tomate el gen de la toxina botulínica, incurrimos en un riesgo cierto y de graves consecuencias. De aquí que la aprobación de productos transgénicos deba hacerse caso por caso y que la carencia de toxicidad se deba averiguar en los antecedentes bibliográficos e investigar según ensayos bien establecidos.

Otro aspecto a considerar es la posible alergenicidad de las plantas transgénicas. El polen del ciprés o del chopo, la harina de trigo o de soja, las almendras y otros frutos secos, las frutas, los mariscos y tantos otros alimentos habituales con los que estamos en contacto pueden causar reacciones alérgicas en individuos susceptibles. La introducción de genes ajenos implica añadir nuevos componentes que se irán a sumar a las decenas de miles que ya componen cualquier alimento. Algunos de estos componentes ajenos pueden poseer propiedades alérgicas notables y en ese caso debe evitarse su incorporación por expresión transgénica.

No sólo se excluye transferir genes que codifiquen alérgenos conocidos sino que también se evita, en principio, transferir genes procedentes de organismos de los que se derivan alimentos que producen alergia, a no ser que se demuestre que el gen en cuestión codifica una proteína que no es responsable de la alergia observada.

Finalmente, carece de fundamento en términos reales el miedo a que los genes incorporados al alimento transgénico puedan incorporarse a nuestro propio organismo. Después de todo, llevamos consumiendo durante cientos de milenios células animales que poseen los genes necesarios para fabricar cuernos y no se ha observado ningún ser humano con tal característica.

Seguridad genética

Una preocupación muy generalizada es la de que los genes añadidos a un organismo transgénico se transfieran a otros organismos. Los genes (uno o pocos) foráneos añadidos se incorporan al genoma de la planta que, como ya se ha dicho, contiene entre 20.000 y 30.000 genes. Una vez incorporados, estos genes corren la misma suerte que los preexistentes en el genoma. El flujo génico de unos genomas a otros es muy limitado, pero ocurre en ciertas circunstancias. Veamos en cuáles es improbable y en cuáles no puede descartarse.

No debemos temer la transferencia de genes desde el genoma vegetal - transgénico o no - a los microorganismos del tracto digestivo. No se ha observado dicha transferencia en experimentos especialmente diseñados para tal propósito y, por otra parte, tampoco es ésta de esperar desde el punto de vista teórico. Los genes de resistencia a antibióticos, que se emplean como auxiliares en la ingeniería genética, han sido especialmente señalados en este contexto, ya que de transferirse, interferirían con el uso clínico del antibiótico correspondiente. A pesar de no existir un riesgo objetivo y de que los antibióticos afectados ya no se usan en clínica, se ha acordado no utilizar en el futuro dichos genes y sustituirlos por otros como auxiliares.

Una segunda vía de posible flujo génico a considerar es la transmisión por polen a plantas cultivadas de la misma o de distinta especie y a plantas de especies silvestres. Para que dicha vía opere es preciso que se den las siguientes circunstancias: que el polen sea transportado, que la planta receptora esté en el momento apropiado para ser polinizada, que el polen sea compatible, que la planta resultante sea fértil y que su descendencia sea viable.

En el caso de plantas no transgénicas de la misma especie, el riesgo es desdeñable si son autógamas (autofertilizables), y medible, si no lo son. Si la semilla es híbrida, como en el maíz, no hay riesgo de transmisión a la descendencia, por lo que basta con rodear la parcela de maíz transgénico con varias filas de maíz no transgénico, para que las parcelas próximas no reciban polen transgénico por encima de los límites legales. De todas formas, existen soluciones tecnológicas que, por así decirlo, pueden hacer inviable el polen en plantas distintas de la transgénica.

No hay posibilidad de que el polen transgénico fertilice plantas cultivadas de otras especies y, aunque de forma restringida, sí la hay de que lo haga a especies silvestres taxonómicamente próximas. Como ya hemos dicho, una vez incorporado a un genoma, el gen foráneo corre la misma suerte que el resto de los miles de genes de dicho genoma. La transferencia a otras especies ocurre con muy baja frecuencia y hay que distinguir entre distintas situaciones.

Si la planta es alógama (polen transportado por el viento o por insectos), se pueden dar circunstancias de distinta probabilidad según la mayor o menor facilidad con que se produzca la fertilización cruzada entre flores distintas de la misma especie. Así por ejemplo, la colza representa una situación de probabilidad más baja que la alfalfa. En Canadá se han sembrado varios millones de hectáreas de colza transgénica y se lleva a cabo un seguimiento exhaustivo. Hasta ahora no hay motivo para la alarma

La posibilidad de que se generen “supermalezas” al hacer las plantas cultivadas resistentes a ciertos herbicidas carece de fundamento, aunque la maleza que recibiera el gen de resistencia no sería controlable por el herbicida concreto en la parcela de cultivo, pero no le supondría ventaja alguna fuera de ella. Por otra parte,

es muy improbable que la adición de uno o pocos genes a una planta cultivada la asilvestren. Como se ha discutido ya, el proceso de domesticación es complejo y supone cambios radicales en el genoma, por lo que en esencia no es reversible por la introducción de características agronómicas adicionales.

Se han expresado dudas sobre la estabilidad y localización de los genes foráneos que se incorporan a una planta transgénica. Esto no son más que problemas técnicos de fácil solución que en ningún caso suponen un riesgo. Si debe someterse a un escrutinio cuidadoso la incorporación de genes que codifican proteínas de virus, ya que, aunque confieren resistencia al virus, pudieran en algunos casos dar lugar a cepas virales recombinantes.

Seguridad medio-ambiental

Aparte de los flujos génicos que acabamos de considerar, el riesgo que las plantas transgénicas podrían suponer para el medio ambiente tiene dos vertientes principales: la inducción de resistencia a los productos transgénicos por parte de los patógenos y de las plagas que se quieren controlar con dichos productos y los posibles daños de la planta transgénica a otros organismos que entren en contacto con ella.

La posible inducción en un organismo de resistencia al principio activo que se usa para combatirlo es un problema común a los antibióticos, a los productos fitosanitarios convencionales y, por supuesto, a las plantas transgénicas. El uso de estrategias de aplicación que retrasen al máximo la aparición de dicha resistencia es de interés tanto para la empresa de semillas como para el agricultor.

En cualquier caso, la posibilidad de aparición de resistencia no justifica dejar de usar un sistema de protección mientras funcione, del mismo modo que el que un antibiótico vaya a dejar de ser eficaz no implica que no lo usemos mientras pueda salvar millones de vidas. Debemos usarlo con buen juicio para alargar su vida útil. En el caso de las plantas transgénicas, se sigue una estrategia de refugios no transgénicos que dificultan la aparición de resistencia y, por otra parte, es importante recordar que pueden ser un elemento más en la lucha integrada.

Los posibles daños que las plantas transgénicas resistentes a un determinado organismo puedan causar a otros organismos que entren en contacto con ellas han sido objeto de debate. En particular, ha dado mucho que hablar el caso concreto del maíz transgénico resistente al taladro europeo y los daños potenciales a la mariposa monarca. Si se fuerza a dicha mariposa a consumir dosis altas de polen de maíz transgénico su viabilidad es menor que si consume polen no transgénico. Sin embargo, la mariposa no consume maíz ni polen en condiciones de campo, ya que vive de una planta euforbiácea, y los daños cuando está próxima a los campos de maíz son mínimos. En contraste, el tratamiento con productos químicos desde una avioneta le afecta significativamente y, si se renuncia a tomar medidas protectoras, los taladros pueden destruir por completo la cosecha de maíz.

