

# Luces y sombras en la investigación con plantas transgénicas

José Pío Beltrán  
1 noviembre, 2006

---

Desde hace diez mil años hemos descubierto formas para cambiar drásticamente las plantas. Las privamos de defensas químicas tóxicas, como en los tomates ancestrales, o de la capacidad de dispersar sus semillas, en el caso de las legumbres. Así, algunas plantas pasaron de ser silvestres a estar domesticadas. En el siglo XX tuvo lugar la Revolución Verde, con un gran aumento de los rendimientos de las cosechas. Para conseguirlo usamos híbridos más productivos que sus líneas parentales, fertilizantes de síntesis, herbicidas y otros plaguicidas; mecanizamos las prácticas agronómicas y aumentamos la superficie de cultivo. Se desarrolló una agricultura capaz de alimentar hoy a seis mil millones de personas, aunque no de manera sostenible, puesto que se vale de muchos recursos naturales y energéticos y es contaminante. La genética nos llevó desde el ADN a comprender la transmisión de caracteres: un gran trasiego de genes subyace a las técnicas de hibridación sexual utilizadas por los mejoradores de plantas. La biología molecular nos permitió aislar ADN en el tubo de ensayo, conocer la secuencia de los nucleótidos que componen los genes, así como cortar y unir el ADN por lugares precisos y valernos de microorganismos para introducirlo en otros organismos. Este método distinto a la fecundación de un óvulo por una célula de esperma constituye la esencia de la ingeniería genética. La bacteria *Agrobacterium tumefaciens* infecta la planta y es capaz de transferirle parte de su información genética. El ingeniero genético sustituye parte de la información que *Agrobacterium* introduciría en la planta por el gen que desea introducir, de forma que éste se incorpora a su genoma. La primera publicación científica sobre una planta modificada

genéticamente apareció en el año 1983<sup>1</sup>: había nacido una herramienta muy precisa para la modificación de las plantas. ¿Podría ser útil para mejorar los rendimientos de las cosechas, utilizando menos recursos y contaminando menos?

Conviene dejar claro de antemano que todas las especies vegetales utilizadas por el hombre para obtener alimentos u otros bienes han sufrido procesos de domesticación y de mejora genética. Por tanto, todas las plantas cultivadas son plantas modificadas genéticamente. Cuando la modificación está mediada por la ingeniería genética hablamos de plantas transgénicas. No es adecuado referirse a las plantas transgénicas como organismos modificados genéticamente (OMG), ya que al hacerlo puede inducirse al error, a veces de forma malintencionada, de que las plantas obtenidas por mejora clásica no han sufrido modificaciones genéticas<sup>2</sup>.

El ingeniero genético modifica de forma precisa la expresión en plantas de uno o varios genes. Aunque dos organismos sean sexualmente incompatibles, puede expresar un gen de uno de ellos en el otro. En las secuencias de ADN hay distintos tipos de información que influyen en la herencia de un carácter concreto. Para cada gen existe una secuencia precisa de nucleótidos que se traducirá en una proteína. Precediendo a esa secuencia hay otra, denominada «región promotora», que informa sobre el nivel de expresión del gen, así como del lugar y del momento en que se expresará. Si disponemos de un gen aislado de una especie vegetal, las técnicas de ingeniería genética nos permiten generar una planta transgénica de la misma especie en la que ese gen se exprese bien en toda la planta, no se exprese en absoluto, bien lo haga en alguna parte de la misma y en momentos del desarrollo concretos. Pero también es posible expresarlo en una planta de otra especie que carecía de él y generar así una planta con ganancia de función. En teoría, es posible sintetizar secuencias de ADN que no han existido en los seres vivos: de hecho, cálculos teóricos dicen que la mayoría de las moléculas posibles de ADN no han existido jamás. Si en el futuro se introdujeran en plantas dichos genes artificiales habría que explorar cuidadosamente sus propiedades y sus efectos.

El análisis genético de las plantas se ha basado en la observación de mutantes de una especie con rasgos dañados y en el uso de abordajes directos para correlacionar ese fenotipo mutante con un gen concreto. Sin embargo, la investigación con plantas transgénicas es una herramienta fundamental para las estrategias denominadas de «genética reversa», que permiten recorrer el camino desde el gen aislado al fenotipo que produce introduciendo el gen en una planta transgénica para desvelar su función a través de su *sobreexpresión* o mediante el bloqueo de la misma. También nos permiten etiquetar genes a nivel molecular mediante la introducción de secuencias («etiquetas») de elementos transponibles (los famosos genes saltarines cuyo descubrimiento le valió el premio Nobel a Barbara McClintock) o mediante secuencias de T-DNA de *Agrobacterium*.

Las plantas transgénicas han brillado con luz propia en los laboratorios durante las últimas décadas y han permitido el progreso rápido en la comprensión de la biología de las plantas. Hemos desentrañado el circuito de genes reguladores responsables del control de la transición floral y del desarrollo de flores y frutos, de forma que es posible planificar el tiempo de floración de las cosechas y la modificación de caracteres como el color, el aroma o el valor nutritivo. La biología del desarrollo

de las plantas ha pasado de ser una disciplina descriptiva a otra en la que se visualizan modelos computerizados para procesos de la importancia de la embriogénesis, la formación de hojas o la especificación celular en las raíces.

## ¿UN NEGOCIO DE LAS MULTINACIONALES?

El gran potencial de las plantas transgénicas no pasó inadvertido para los mejoradores vegetales y las empresas productoras de semillas. Hay cultivos obtenidos tras tediosos cruces sexuales que no es viable seguir mejorando por la dificultad de añadir un nuevo carácter sin eliminar otros que también se requieren o porque el carácter deseado no existe en el patrimonio genético de la especie. La ingeniería genética hace posible esta mejora. La mayor parte de las plantas transgénicas comercializadas en la actualidad han incorporado uno o dos caracteres: resistencia a insectos y/o tolerancia a herbicidas mediante la expresión constitutiva de dos genes. Existen plagas de insectos que causan daños de importancia en maíz o algodón para las que no existen genes de resistencia dentro de estas especies. Aislamos, pues, los genes Bt, que poseen propiedades insecticidas, de cepas bacterianas de *Bacillus thuringiensis*, y los transferimos a estas plantas. En otros casos, se han introducido genes en plantas de soja o de colza para que sean capaces de tolerar la acción de un herbicida y permitir así la disminución y el uso más racional de dichos productos. Esto se produce en un contexto de globalización económica en el que un grupo muy reducido de empresas multinacionales tiene el control efectivo del mercado de semillas, sean éstas transgénicas o mejoradas por tecnologías clásicas. Las primeras cosechas de plantas transgénicas han sido el blanco de las críticas y de las iras de los ecologistas del mundo desarrollado. Por su parte, el consumidor asiste con curiosidad al debate entre empresas de semillas y ecologistas sobre estos nuevos cultivos de primera generación que no resultan más baratos que los tradicionales, no incorporan mejoras en su valor nutritivo y que, aparentemente, benefician sólo a agricultores y suministradores de semillas.

## LOS ECOLOGISTAS Y EL DEBATE SOCIAL

En el *Diccionario de Socioecología* de Ramón Folch pueden leerse un conjunto de ensayos cortos sobre ecología y «ecologismos». La primera es una ciencia que estudia las relaciones de los organismos con su ambiente y entre sí. Bajo la denominación de «ecologismos» conviven una serie de colectivos que rechazan el modelo socioambiental imperante en la sociedad postindustrial. El ecologismo resultante, el que percibe la sociedad, se convierte, en palabras de Folch, en un movimiento profético -casándrico- caótico y desordenado con un profundo contenido ético que trata de devolver a los humanos su carácter de seres solidarios y dependientes del resto de la biosfera. Algunas actitudes de los ecologistas se separan del carácter heurístico de la ecología, asemejándose a prédicas religiosas<sup>3</sup>. Es más, en mi opinión, y respecto del debate social sobre los transgénicos,

muchos ecologistas traicionan el contenido ético de sus planteamientos. Sus fines, que pueden ser compartidos por amplios sectores sociales, no justifican en modo alguno los medios utilizados para oponerse radicalmente a la ingeniería genética. En una sociedad –la del primer mundo– ahíta de alimentos, intentan asustar a los ciudadanos con supuestos riesgos graves para la salud y para el medio ambiente por el consumo de transgénicos. No existiendo el «riesgo cero» en ninguna tecnología, desde el punto de vista de la salud y la nutrición hay consenso entre los científicos sobre el hecho de que los alimentos transgénicos son los mejor evaluados y los más seguros de que nunca haya dispuesto la humanidad. Respecto de los riesgos medioambientales, ni es serio alertar sobre riesgos generalizados de los transgénicos ni declararse taxativamente a favor o en contra de ellos. Hay que analizar caso por caso, exigir de los poderes públicos información, legislaciones y desarrollos normativos para que los consumidores podamos elegir libremente si queremos o no consumir transgénicos sin publicidades engañosas por parte de las empresas y sin coacciones oportunistas de colectivos radicales. La defensa de los puntos de vista del movimiento ecologista debería basarse en el debate sobre los planteamientos de la economía de mercado globalizada y, por supuesto, en favorecer los intereses de los ciudadanos evitando todos los riesgos innecesarios, también los derivados del consumo de alimentos producidos por la agricultura ecológica respecto de la que no suelen exigirse los controles que garanticen la seguridad de su consumo. Mientras el cultivo de transgénicos continúa creciendo a nivel mundial (un 10% de aumento en superficie en 2005) ocupando ya noventa millones de hectáreas en veintiún países, todos tendremos que hacer frente al riesgo de atraso tecnológico que corre la Unión Europea debido a la marea antitransgénica que impulsa el movimiento ecologista. Por si fuera poco, las naciones pobres en las que habitan la mayoría de los ochocientos millones de personas que hoy pasan hambre, están apostando por los transgénicos desarrollados por organismos públicos, como no podría ser de otra forma<sup>4</sup>.

La mayor parte de las críticas ecologistas a los cultivos actuales se refieren a prácticas abusivas de la agricultura intensiva, independientemente de que las plantas cultivadas sean transgénicas o no lo sean. En ambos casos, lo que hay que combatir es la práctica abusiva, no el cultivo *per se*, de la misma forma que el desarrollo urbanístico abusivo que se da en la actualidad en el Mediterráneo español no debiera conducirnos al repudio de las técnicas de construcción o de las propias viviendas.

Sorprende a veces la división de opiniones sobre las plantas transgénicas que se observa entre los científicos. Conviene recordar que lo que une a los científicos es la utilización de un método que les permite plantear hipótesis de trabajo que luego someten a prueba experimental. Pero, más allá del método, la filiación pública o privada del científico, es decir, quién paga su salario, podría ser motivo de discrepancias en torno a los transgénicos. Las investigaciones en ingeniería genética son caras, los recursos son limitados y los científicos compiten por ellos. El campo de especialización también puede condicionar su posición. Es el caso de los mejoradores «clásicos» de plantas, colectivo que llevó a cabo la Revolución Verde. Este grupo podría ver peligrar su posición de prestigio social por la llegada de los ingenieros genéticos que, con descaro y muchas veces falta de rigor, prometen resolver lo que ellos no pudieron. Por su parte, es lógico que los estudiosos de la biología de sistemas como los genéticos de poblaciones y los evolutivos insistan en la importancia de realizar estudios que permitan predecir las implicaciones de la liberación de transgénicos para el medio ambiente e, incluso, su

posible impacto en la evolución. Por tanto, solicitan el uso de fondos de manera prioritaria. No es extraño, pues, que existan opiniones diferentes sobre los transgénicos y prioridades distintas entre la propia comunidad científica.

## LA PRÓXIMA GENERACIÓN

Conscientes de las críticas de determinados grupos sociales del primer mundo y de las dudas de los ciudadanos, los fogones de las empresas de agroalimentación dirigen sus esfuerzos a la producción de moléculas de interés farmacológico y de alimentos funcionales en plantas transgénicas. Se produce ya en plantas la hormona del crecimiento humano, la albúmina del suero humano, vacunas contra el virus de la hepatitis B, la alfa amilasa de uso industrial, la elastina, la avidina, el colágeno humano, vacunas multicomponentes contra la toxina del cólera y otros enteropatógenos, la proteína insecticida Bt, la tripsina bovina o anticuerpos en algas. En breve dispondremos de la segunda generación de plantas transgénicas con mayor valor nutricional. De hecho, está intentándose la producción de alimentos que, además de su valor nutritivo, aporten algún componente importante para la salud del consumidor. El exponente más claro de este tipo de plantas es el denominado «arroz dorado», desarrollado por Ingo Potrykus, modificado por ingeniería genética para producir carotenoides y suplir así la deficiencia en Vitamina A de más de ciento veinte millones de personas malnutridas. El arroz sólo posee parte de la ruta metabólica que produce la provitamina A. Potrykus y sus colaboradores introdujeron en el mismo los genes que codifican los enzimas fitoeno sintasa y licopeno ciclasa (ambos aislados del narciso) y la fitoeno desaturasa (aislado de *Erwinia uredovora*), completando así dicha ruta metabólica. Esta variedad transgénica se ha incorporado a los programas de mejora genética tradicional del Internacional Rice Research Institute de Filipinas para transferir esta característica a las variedades autóctonas de uso en China, India, sureste asiático, África y América Latina.

Los antioxidantes tocotrienoles y tocoferoles (vitamina E) no se sintetizan en los mamíferos, por lo que son componentes esenciales en su dieta. Se han aislado genes capaces de iniciar la síntesis de tocotrienol y se ha expresado en plantas transgénicas de maíz, consiguiendo multiplicar por seis su contenido en tocotrienol, proporcionando su consumo un mayor nivel de antioxidantes.

Recientemente, se ha aislado el gen de tomate que codifica una enzima clave para la síntesis de ácido clorogénico, que es una flavona que previene la aparición de arteriosclerosis y se ha expresado en múltiples copias en tomates transgénicos. Por otra parte, es sabido que las proteínas de las legumbres son deficientes en aminoácidos esenciales, azufrados mientras que las de los cereales tienen bajo contenido en isoleucina y lisina. Se ha conseguido desarrollar una variedad transgénica de arroz que sintetiza faseolina, una proteína de reserva de la judía, con lo que se aumenta su contenido en lisina. Se han mejorado, de igual modo, las legumbres mediante la expresión de genes que codifican proteínas ricas en el aminoácido azufrado metionina provenientes de arroz, maíz y girasol. ¿Deberíamos renunciar a equilibrar el contenido en aminoácidos de las proteínas de los cereales y las leguminosas, las dos fuentes más importantes de proteínas vegetales, porque son especies que no

pueden cruzarse sexualmente entre sí? ¡Claro que no! También se ha abordado la mejora de la composición nutricional de los aceites. En 2006 se espera la primera liberación comercial de plantas de algodón modificadas genéticamente, con altos contenidos de ácidos oleico y esteárico y bajos niveles de palmitato, dirigidas a la producción de margarinas. Basta repasar el listado de las aplicaciones en curso para ser optimistas, desde el punto de vista del consumidor, sobre los objetivos y logros de esta segunda generación de plantas transgénicas.

Hemos visto cómo las plantas transgénicas muestran su luz y sus réditos en los laboratorios y cómo el sector de la producción de alimentos trata de incorporar la ingeniería genética a sus técnicas de mejora de los cultivos. Ni los científicos ni las empresas productoras de alimentos tienen como fines inmediatos la solución de problemas vergonzosos como el hambre en el mundo. Ni siquiera la ingeniería genética u otras tecnologías capaces de aumentar la producción de alimentos de forma más respetuosa con el medio ambiente garantizan la resolución del problema que, según la FAO, se agravará en el futuro inmediato. Recomendaría leer, también a los ecologistas, el informe *Agricultural Biotechnology* de la FAO, donde se valora con objetividad el potencial y los riesgos de la ingeniería genética de plantas<sup>5</sup>. No parece que alternativas de producción como la de la agricultura orgánica vayan a contribuir a la solución global de nuestros problemas, esto es, producir más alimentos utilizando menos recursos<sup>6</sup>. Mientras tanto, nuestra sociedad, la del mundo desarrollado, disfruta de una alimentación excesiva y que origina, por una parte, enfermedades metabólicas como las cardiovasculares o la diabetes y, por otra, desarreglos psicológicos como la anorexia, la bulimia o la más reciente ortorexia u obsesión por el consumo de alimentos supuestamente sanos como los de la agricultura orgánica<sup>7</sup>. Para afrontar estos problemas, todavía encontramos muchas sombras.

---

1. Michael W. Bevan, Richard B. Flavell y Mary-Dell Chilton, «A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation», en *Nature*, núm. 304 (1983), pp. 184-187.

2. Paul Gepts, «A comparison between crop domestication, classical plant breeding and genetic engineering», en *Crop Science*, núm. 42 (2002), pp. 1780-1790.

3. Jorge Riechmann, *Transgénicos: el haz y el envés*, Madrid, Catarata, 2004.

4. Joel I. Cohen, «Poorer nations turn to publicly developed GM crops», en *Nature Biotechnology*, núm. 23 (2005), pp. 27-33.

5. *The State of Food and Agriculture: Agricultural Biotechnology, Meeting the Needs of the Poor?* Roma, FAO, 2004.

6. Colin MacIlvain, «Organic: Is it the future of farming?», en *Nature*, núm. 428 (2004), pp. 792-793.

7. Francisco García Olmedo, «Ortorexia: la obsesión por los alimentos naturales», en *Revista de Libros*, núm 96 (diciembre

de 2004), pp. 26-27.