

Cultivos obtenidos por ingeniería genética

Esteban Hopp
INTA Castelar y FCEyN, UBA

Los organismos genéticamente modificados (OGMs) u organismos transgénicos son aquellos cuyo genoma fue alterado mediante procedimientos de ingeniería genética. Usualmente se les introdujo un gen de otra especie, denominado *transgén*. Ello se puede hacer gracias a la universalidad del ADN (ácido desoxirribonucleico), que almacena la información hereditaria en las células de todos los organismos vivos. Los genes son los segmentos de ADN responsables de la síntesis de las proteínas con las que las células ejecutan sus funciones. Se transmiten de padres a hijos por cruzamiento (verticalmente, por así decirlo), por lo que su transferencia se ve normalmente limitada a aquellos individuos con compatibilidad sexual. La ingeniería genética permite superar esa barrera y transferir genes horizontalmente, es decir, entre especies sexualmente incompatibles. Como los ácidos nucleicos responden a un código común a todos los seres vivos, la información contenida en el gen de una bacteria, por ejemplo, insertado de forma apropiada en el ADN de una planta, resulta compatible con esta.

Las primeras plantas transgénicas se conocieron en 1983. A partir de entonces se logró la transformación de más de 50 especies, incluidos los cultivos de mayor importancia. Sin embargo, esto que hoy se considera una innovación revolucionaria no es otra cosa que la adaptación de un fenómeno propio de las bacterias del suelo del género *Agrobacterium*, pariente del *Rhizobium*. Las de este último género son bacterias beneficiosas, que fertilizan biológicamente varios cultivos, pues fijan nitrógeno atmosférico que luego utiliza la planta para sintetizar sus proteínas. Así, la bacteria evita la necesidad de agregar fertilizantes y, a cambio, obtiene energía, en una relación mutuamente beneficiosa llamada *simbiosis*. Para hacerlo, *Rhizobium* penetra en las raíces de las plantas y forma pequeños tumores llamados nódulos.

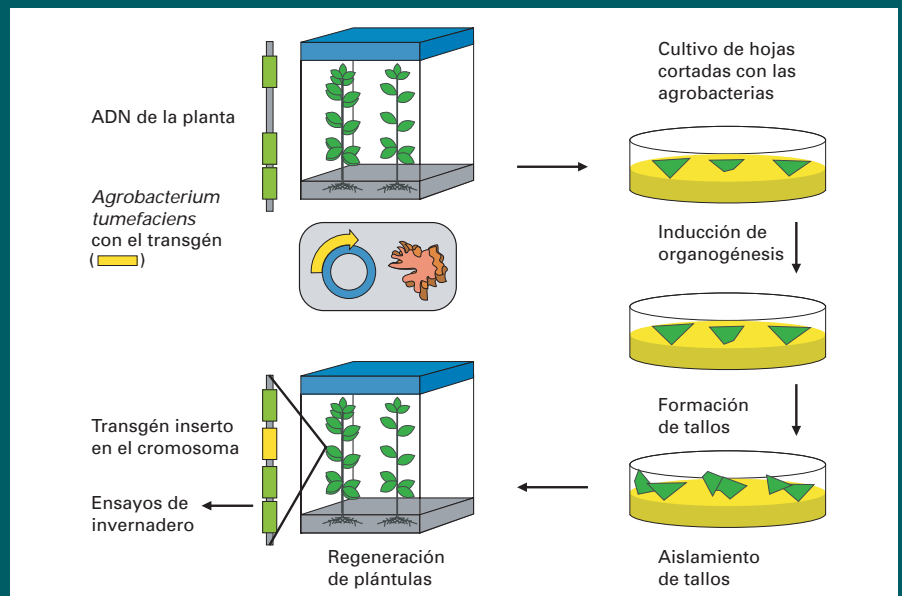
A diferencia de *Rhizobium*, *Agrobacterium* es patógena, porque toma energía sin dar nada a cambio: la especie *Agrobacterium tumefaciens*

causa una enfermedad llamada agalla de corona, que produce tumores grandes, y *Agrobacterium rhizogenes* ocasiona la proliferación de raíces en cabellera. El elemento diferente es un minúsculo cromosoma circular (llamado *plásmido*), que contiene las funciones principales para la fijación de nitrógeno y, también, los genes que causan la virulencia. Tan es así, que se ha logrado obtener plantas transgénicas utilizando *Rhizobium* en vez de *Agrobacterium*, simplemente intercambiando los plásmidos entre ellas. Existen evidencias de que la antigüedad de estos mecanismos naturales de producción de plantas transgénicas por las bacterias del suelo es mayor que la de la especie humana. Es decir, muchas de las plantas que consumimos y otras que no consumimos ya eran transgénicas antes de su uso agrícola.

Los científicos reemplazaron los genes patógenicos de los plásmidos de las agrobacterias por genes de interés agronómico, y el proceso de infección natural en el suelo por una infección controlada en el laboratorio, para así regenerar plantas a partir de las células

genéticamente modificadas. En paralelo, investigaron la posibilidad de transferir directamente genes a células individuales. En medios apropiados, las células sometidas a *electroporación* (la aplicación de un alto voltaje por tiempos infinitesimales) permiten el pasaje de ADN a través de su membrana exterior. Incluso fue posible valerse de pequeñísimas jeringas para inyectar ADN, el que puede integrarse a un cromosoma y garantizar así su presencia en cada una de las células de la planta que se regenera a partir de las inyectadas.

Pero dado que la regeneración de células aisladas es laboriosa, se buscaron otros métodos para superar la barrera física que crea la pared celular. Uno es cubrir con ADN microproyectiles de tungsteno u oro capaces de atravesar la pared celular y transportarlo hasta el núcleo de la célula. Así, se pudo regenerar plantas con mayor eficiencia. Este método (llamado *biolístico*) se utiliza para transformar plantas para las que el camino del *Agrobacterium* no es adecuado, como sucede con ciertos



La barra vertical negra (arriba, izquierda) representa parte de un cromosoma de una planta; sus porciones verdes indican 3 de sus genes. A su derecha, después de la flecha, se muestra un cultivo de plantas en condiciones asépticas (sobre un gel de agar en vez de tierra). El rectángulo con las esquinas redondeadas (centro) esquematiza la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*: la forma rosada en su interior sería el cromosoma principal y el círculo, el plásmido en el cual se insertó el transgén a transferir a la planta. Se cortan algunas hojas de las plantas con un bisturí y se las sumerge en un recipiente con las bacterias. Estas nadan hacia las heridas producidas por el bisturí, atraídas por un compuesto que libera la planta. Cuando la bacteria entra en contacto con una hoja, se produce el ingreso del transgén en la planta. Luego las hojas se colocan en un medio con hormonas vegetales que inducen la formación de tallos (organogénesis) a partir de las células transformadas. Esos tallitos se trasplantan a cajas o frascos que les permiten echar raíces. Las plantas transgénicas tienen, en uno de sus cromosomas, un gen adicional, transferido por la bacteria.



Hoja de un maíz transgénico (izquierda) con resistencia al herbicida fosfinotricina (PPT), también llamado glufosinato de amonio, BASTA® o Liberty®, comparada con una hoja de maíz convencional. La primera muestra una variedad transgénica desarrollada por el INTA con el fin de dotarla de resistencia al virus que provoca el mal de Río Cuarto del maíz. Foto gentileza Dalia Lewi (Instituto de Genética, INTA Castelar).

cereales (maíz y trigo, por ejemplo).

La primera ola de OGMs liberada al mercado se caracterizó por tener ciertas características agronómicas, como resistencia a plagas, enfermedades y herbicidas. La segunda, aún no disponible comercialmente, beneficiará más a los consumidores que a los productores, pues permitirá disponer de alimentos con aceites más saludables, más ricos en aminoácidos esenciales, o libres de compuestos que causen alergia o perjudiquen la buena nutrición. Esta segunda ola, más que apuntar a que se disponga de mayor cantidad de comida, se propone alimentar más saludablemente. La tercera procuraría conseguir efectos medicinales (mediante vacunas orales, por ejemplo) y ambientales, como la recuperación de ambientes contaminados por residuos industriales con plantas especialmente diseñadas para descontaminarlos (bioremediación o fitoremediación).

Si bien se cree que los OGMs actuales (pertenecientes a la primera ola) solo favorecen a los productores del campo bajando sus costos, han proporcionado también beneficios ambientales. En el caso de las plantas con resistencia a plagas, redujeron las aplicaciones de insecticidas (en el algodón) y proporcionaron granos más sanos (en el maíz). Esas plantas sufren menos ataques de hongos productores de toxinas, que perjudican la salud humana. Para la soja con tolerancia a herbicidas, el efecto ambiental favorable se relaciona con la facilidad

de su cultivo por siembra directa, que permite recuperar suelos erosionados y otros efectos en cadena, empezando por la captación de dióxido de carbono (gas de efecto invernadero) del aire que queda almacenado en la materia orgánica del suelo.

Sin embargo, la difusión comercial de OGMs vegetales, al igual que aquellos de uso medicinal, conlleva una serie de riesgos, pero, por razones mayormente extracientíficas, los primeros fueron percibidos en forma diferente de los segundos por la opinión pública. Las inquietudes, algunas genuinas, otras no tanto, pueden agruparse en 3 categorías:

a) Sus efectos sobre la salud humana y animal (toxicidad, alergenicidad, transferencia horizontal de resistencia a antibióticos, ingestión de ADN foráneo que modificaría nuestra constitución genética, utilización de secuencias de ADN de origen viral).

b) Sus consecuencias ambientales (daño a especies ajenas al proceso, como la mariposa monarca; aparición de insectos resistentes; que el cultivo se convierta en una super maleza; que haya flujo de genes desde cultivos a malezas; que las proteínas transgénicas se difundan en el ambiente; que disminuya la biodiversidad y otros semejantes).

c) Preocupaciones de tipo político, económico o social: concentración de beneficios monopólicos en empresas, particularmente multinacionales; limitación de acceso a la biodiversidad genética por un patentamiento concebido como apropiación comercial no ética; avasallamiento del derecho de agricultores; acrecentamiento de brechas sociales y productivas entre productores pequeños y grandes; crecimiento de una agricultura industrial poco sustentable, en detrimento de prácticas que lo sean; dificultades de la coexistencia con la agricultura orgánica.

La experiencia acumulada en 20 años de comercialización masiva del primer producto derivado de un OGM, la insulina humana, y en 10 años de cultivos, no parece indicar que las inquietudes se puedan fundar genéricamente en la tecnología. Es decir, un OGM no conlleva riesgo por ser tal, si bien podría tenerlo por el transgén específico que tenga incorporado. Debido a ello, los organismos nacionales e internacionales de análisis y regulación estudian caso por caso el producto final. Por ejemplo, los riesgos de soja con

resistencia a herbicidas son distintos de los de maíz con el mismo transgén incorporado por ingeniería genética, o de los de soja con otro transgén. Es más, los sistemas regulatorios suponen razonablemente que una soja resistente a un herbicida como resultado de acciones de ingeniería genética tiene idénticos riesgos ambientales que una obtenida por métodos convencionales. La experiencia confirmó plenamente dicho supuesto. Los riesgos alimentarios se evalúan de acuerdo con procedimientos bien establecidos y aceptados internacionalmente. Además de analizar su toxicidad y su degradación en jugos gástricos sintéticos, se realizan pruebas de equivalencia entre alimentos derivados del cultivo convencional y otros preparados con el OGM.

Si bien el riesgo de que los transgenes se incorporen por cruzamiento a otras plantas de la misma especie o de especies relacionadas demostró ser real, los perjuicios, según se encontró, fueron más comerciales que ambientales. En Canadá, los genes de resistencia a herbicidas de la colza transgénica se transfirieron a colzas cultivadas y silvestres, que pudieron ser controladas con otros herbicidas. Otro riesgo de ocurrencia muy probable es que el uso generalizado de plantas resistentes a plagas y herbicidas conduzca a que la selección natural de origen a insectos y malezas capaces de superar dicha resistencia, riesgo que podría reducirse combinando monitoreos con prácticas de manejo poblacional de plagas y malezas. En todo caso, la incidencia real de estos riesgos está muy lejos de obligar a la consideración de un abandono de los cultivos OGMs. Por otro lado, se comprobó que, a pesar de la demora en la liberación al uso de OGMs –desarrollados por instituciones públicas– con caracteres que favorecen a los productores pequeños (cuyo ejemplo más importante es el arroz dorado con vitamina A), estos productores también se beneficiaron notablemente al cultivar los OGMs de primera generación.



Esteban Hopp
Doctor en ciencias biológicas, UBA.
Profesor titular, FCEyN, UBA.
Investigador principal INTA
Investigador de la Comisión de investigaciones científicas de la provincia de Buenos Aires.
ehopp@correo.inta.gov.ar