

Froylán Mario Espinoza Escalante



# Biotecnología para la agricultura moderna

Desde la perspectiva científica y económica, primero se repasa la historia de los alimentos transgénicos; después se revisan los principales cultivos transgénicos y su impacto económico a nivel nacional e internacional; finalmente, se analizan brevemente sus efectos en la salud y el ambiente.

Se estima que para el año 2050 la población mundial se incrementará en un tercio y demandará un aumento en la producción agrícola de hasta 70%; en particular, crecerá dos veces el consumo actual de carne. Además, la demanda de alimentos y cultivos forrajeros se duplicará en los próximos 50 años. En 2008 el Banco Mundial calculó que al año mueren alrededor de 10 millones de personas por hambre y enfermedades alimentarias (Dixon y Tilson, 2010). En 2013 el artículo periodístico de Manuel Ibáñez para el diario español *El País* tenía el siguiente encabezado: “842 millones de hambrientos en un mundo en el que hay comida para todos. El principal problema no es la producción del alimento, sino la distribución y el acceso a éste”. Para resolver dicho asunto, es necesario remontarse un poco a la historia de los cultivos transgénicos.

Todo comienza por la biotecnología, una ciencia que ha revolucionado al mundo con sus prácticas y que ha sido una herramienta de las compañías multinacionales para generar grandes beneficios, y quizá también problemas a la humanidad, tales como una mayor deforestación por la agricultura intensiva, un crecimiento demográfico desmesurado o algunos efectos en las poblaciones de insectos benéficos. En el siglo pasado los científicos decidieron agrupar la información científica y las tecnologías productivas que utilizan a los seres vivos (*bio*) o sus derivados en una sola disciplina, que denominaron biotecnología; si bien es una ciencia antigua que data de varios miles de años, hasta hace poco se le conoce con este nombre. Así, muchos procesos conocidos actualmente y otros tantos por descubrir han crecido cobijados por una nueva generación de conocimientos para proveer diversos bienes y servicios a la humanidad. En su rama médica y farmacéutica, la biotecnología se enfoca en la producción de medicamentos mediante microorganismos o células animales cultivados en laboratorio, así como por síntesis química; en el

ámbito alimentario, se encarga de generar alimento suficiente y saludable, además de que ha logrado transformar las técnicas agrícolas hasta ahora conocidas –incluido el uso de microorganismos o sus productos derivados– para incrementar la producción vegetal y asegurar cosechas cada vez más generosas y plantas cada vez más resistentes a los embates del clima, las plagas y las enfermedades, como las malezas.

En particular, esta última área (la biotecnología vegetal) ha logrado superar a la tecnología química convencional. Por ejemplo, en 1931 el científico alemán Carl Bosch recibió el Premio Nobel de Química por lograr la producción industrial de amoníaco, un fertilizante que permitió la **revolución verde**. Aunque su intención original era producir explosivos para la guerra, este descubrimiento impactó enormemente a la agricultura. El amoníaco, un fertilizante esencial para el crecimiento de las plantas y, en consecuencia, para mejorar la producción agrícola, podía fabricarse en grandes cantidades dejando de lado los procesos naturales de su producción, debidos a las descargas eléctricas que ocurren durante las tormentas y a los microorganismos presentes en la tierra. Así, el descubrimiento de Bosch, más allá de la aplicación bélica, transformó la agricultura al permitir la producción de mayores cantidades de alimento. Con esto fue posible satisfacer las necesidades de hasta 4.5 personas con una sola hec-

tárea de cultivo en 2008, cuando 100 años antes sólo se podía alimentar a dos personas por la productividad en la misma área sembrada. Se estima que para 2008 el nitrógeno amoniacal habría sostenido a 48% de la población mundial, la cual se calculaba en alrededor de 6 000 millones de personas. De no haberse logrado el proceso de Bosch, la población habría aumentado menos de 30% de lo que se incrementó en realidad, lo cual implicaría que la población actual difícilmente superaría los 4 000 millones de personas; pero de acuerdo con el Banco Mundial, en 2015 la población ya superaba los 7 300 millones de personas. No obstante, el uso excesivo de los fertilizantes nitrogenados también provoca efectos ambientales adversos, como eutroficación, efecto invernadero y lluvia ácida; además, el consumo de aguas subterráneas o cultivos con una alta concentración de nitratos tiene efectos negativos en la salud humana (Liu y cols., 2014).

**Revolución verde**

En el siglo XX, un incremento significativo en la productividad agrícola, la cual se fue consiguiendo al aumentar el rendimiento de los cultivos sin incrementar el área de siembra.

■ **¿Qué son los cultivos transgénicos?**

■ En virtud del aumento acelerado de la población y debido a su “creciente necesidad” de alimento, la ciencia agrícola se ha visto obligada a modificar sus métodos. La inclusión de más hectáreas de suelo y mayor volumen de agua para los cultivos es algo insostenible desde el punto de vista ambiental. Los impactos ecológicos ya se han dejado ver y significan un riesgo para la economía de los agricultores, quienes enfrentan factores ambientales tan diversos como el cambio climático o la erosión de los suelos. Actualmente se plantea la necesidad de utilizar menos superficie de tierra y volumen de agua, con un menor riesgo económico; los biotecnólogos han propuesto estrategias para evitar estas pérdidas desastrosas y asegurar el alimento para todos (Dixon y cols., 2010).

Para lograr el objetivo indicado, los científicos de la biotecnología vegetal recurrieron a herramientas genéticas con el fin de controlar las plagas y enfermedades, y así poder repercutir en una mayor productividad en menos superficie mediante la manipulación del material genético contenido en el ADN. La alteración de las plantas al introducir genes de



otras especies permitió el surgimiento de los cultivos transgénicos, que ahora tienen una mayor resistencia ante el estrés ambiental o las plagas y enfermedades.

Por ejemplo, para promover la resistencia a herbicidas se obtiene un fragmento del ADN de *Agrobacterium* sp. (una especie de bacteria que se encuentra normalmente en el suelo) y se introduce en las plantas de cultivo. La resistencia lograda por lo general es al glifosato, conocido comercialmente como Roundup Ready o RR. Este compuesto químico penetra a través de las hojas de las plantas y bloquea la síntesis de aminoácidos aromáticos en especies susceptibles, lo cual provoca su desecación. El herbicida se aplica en el periodo que antecede y en el que sigue a la aparición de las malezas; los cultivos que se han modificado para obtener esta característica y que se encuentran en el mercado de semillas son la soya, el maíz y el algodón (Funke y cols., 2006). Pero la principal desventaja de este tipo de modificaciones radica en la aplicación excesiva de herbicida por parte de los productores, y los posibles riesgos a la salud de las especies animales, incluidos los humanos. Los reportes siguen siendo contradictorios a este respecto; sin embargo, se ha establecido un límite de 175 mg/kg de peso corporal/día como dosis de glifosato sin efectos adversos en conejos. El artículo de Mesnage y cols. (2015) ofrece una extensa revisión al respecto.

Por otro lado, la tolerancia a herbicidas e insectos agrupa principalmente a plantas de maíz y algodón, que además de tolerar los herbicidas incluyen genes de otra especie bacteriana encontrada en la naturaleza, llamada *Bacillus thuringiensis* (mejor conocida como Bt), a la cual se le extrae la información para producir una toxina cristalina (denominada toxina cry por su nombre en inglés: *crystal toxin*). Cuando las larvas de los insectos –sean o no una plaga del cultivo– consumen la hoja de las plantas genéticamente modificadas con esta característica, la toxina se activa en el tracto digestivo alcalino del insecto y se difunde a través de su hemolinfa (el equivalente a la sangre en humanos y otras especies animales), provoca perforaciones en todo el sistema digestivo y, en consecuencia, la muerte por inanición. La desventaja de estas modificaciones es que no distinguen



entre especies de insectos benéficas y plagas, lo cual afecta a las poblaciones de insectos polinizadores.

De particular importancia comercial es la bacteria Bt, reconocida por primera vez en 1901 por el japonés Shigetane Ishiwata al encontrarla como responsable de la flacidez del gusano de la seda. En 1911 nuevamente fue descubierta, ahora por el alemán Ernst Berliner; el nombre *B. thuringiensis* var. *berliner* se debe a que su descubrimiento fue en la región de Thüringen. Hasta 1976 era la única especie reconocida como nociva para los insectos, capaz de eliminar las larvas de algunos lepidópteros, como mariposas y mariposillas. Actualmente se conocen más variedades capaces de eliminar otras clases de insectos; por ejemplo, la bacteria Bt variedad *aizawai* se ha utilizado para combatir las larvas de *Spodoptera* spp., y la variedad *israelensis* se ha utilizado para combatir las larvas de especies de mosquito en vegetales de hoja verde, como la lechuga, y también en pepino, tomate, pimiento y berenjena. La mayor ventaja de la bacteria Bt es que se puede aplicar de manera externa a la planta sin necesidad de hacer una modificación genética, y los efectos pesticidas son equiparables con aquellos casos en los que se modifica la planta de manera interna (Kegley y cols., 2016).

Otra característica de los cultivos transgénicos es la resistencia a los virus, que se confiere también a

través de mecanismos de modificación del material genético; por ejemplo, actualmente en el mercado se encuentran semillas de papa resistentes a dos tipos de virus que provocan serios daños al cultivo. También está la tolerancia a la sequía, como en el caso del café, la lechuga, la soya, el maíz, la papa y el tomate. Asimismo, se ha conferido una nueva característica a las manzanas para que no se oscurezcan y se ha logrado reducir el contenido de cafeína en el café. El incremento en el contenido de ácido oleico de la soya y la mejora en la composición de ácidos grasos en el girasol, debido a que estos ácidos grasos (aceites) son un componente importante para el desarrollo del tejido cerebral y para combatir enfermedades cardiovasculares, son otros usos médicos e industriales importantes. Incluso se han incorporado agentes antivirales en el plátano para combatir la hepatitis B en humanos (ISAAA, 2016).

■ **La importancia económica de los transgénicos**

De acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), en la década de 1940 el gobierno mexicano y la Fundación Rockefeller financiaron el proyecto del doctor Norman Borlaug (en ese entonces director del Programa de Cooperación para la Investigación y Producción de Trigo en México) con la intención de obtener variedades de trigo de alto rendimiento, capaces de resistir el hongo de la roya de los tallos, lo cual causaba pérdidas significativas en los cultivos de trigo en México y el mundo. Así, las primeras variedades del programa de Borlaug eran tan productivas que la gran cantidad de grano hacía que el tallo se doblara y se rompiera por su peso. Esto fue solucionado después de **hibridar** sexualmente con una variedad enana japonesa; de esta manera se obtuvieron variedades resistentes a la roya, de tallo corto y de alto rendimiento. Entre 1940 y 1960 el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) desarrolló dos variedades de trigo de alto rendimiento que casi duplicaron la producción en México, India y Paquistán, con lo que se inició la revolución verde de los países en vías

de desarrollo. Se dice que gracias a las diversas variedades de trigo obtenidas por Borlaug, se salvó la vida de 1 000 millones de personas, lo que lo hizo acreedor del Premio Nobel de la Paz en 1970. Actualmente México ocupa el lugar 26.º a nivel mundial en producción de trigo. En 2012 la Sagarpa reportó que en el país se produjeron más de 3 millones de toneladas de este grano; sin embargo, para satisfacer las demandas de la población fue necesario importar más de 4.5 millones de toneladas ese mismo año.

Un caso más reciente, que data de hace poco más de una década, es el del algodón resistente a insectos; éste se siembra en la Comarca Lagunera y el norte de México, donde el ataque de insectos es la mayor amenaza para su producción. Para esta región el cultivo de algodón es una tradición que se remonta al siglo XIX; de acuerdo con la Sagarpa, fue a partir de 1860 cuando la producción de algodón se transfirió al norte del país. Según la página oficial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), en México se siembra algodón y soya transgénicos desde hace más de 20 años.

El 3 de febrero de 2016, la Sagarpa y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) reconocieron de manera oficial a Baja California y Sonora como zona libre de gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*) y de picudo del algodonerero (*Anthonomus grandis*), dos de las plagas más importantes del algodón. Esto demuestra que el tema de los transgénicos no es un asunto nuevo en México; ni tampoco en el mundo. El Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA) informó que en 2016 a ni-



**Hibridación**

Apareamiento o cruce de dos individuos de distinta constitución genética, sean diferentes variedades o especies, para conseguir reproducir en la descendencia alguno de los caracteres parentales.



vel mundial se tuvieron 185.1 millones de hectáreas de cultivos transgénicos, con Estados Unidos, Brasil y Argentina a la cabeza; México ocupó el lugar 17.º, con una superficie dedicada de aproximadamente 100 000 hectáreas (97 000 dedicadas a algodón y 4 000 a soya). No obstante, en 2017 la Senasica revocó la autorización para el cultivo de soya transgénica (CEDMA, 2017). Se calcula que se generaron 167 800 millones de dólares estadounidenses adicionales en ingresos de 1996 a 2015. Los principales países con ganancias económicas en dicho periodo debido al uso de cultivos biotecnológicos fueron Estados Unidos, Argentina, India, China, Brasil y Canadá.

#### **El debate sobre los transgénicos**

 A pesar de su impacto económico, los transgénicos siguen siendo un tema de debate a nivel mundial. Actualmente en México continúa la discusión sobre el uso de los transgénicos, aun cuando se cultiva algodón transgénico, lo cual lo pone en el lugar 17.º

de entre las 30 de 194 naciones que siembran transgénicos (entre ellas Estados Unidos y Brasil). Por su parte, de acuerdo con el exsecretario de la Sagarpa, José Eduardo Calzada Rovirosa, China es partidaria de comprar maíz blanco a México (alrededor de 1.5 millones de toneladas) porque tiene la garantía de que no es transgénico. Adicionalmente, resalta el caso de Francia, que apostó por los transgénicos y posteriormente declinó en contra de ellos. En esta misma línea, en marzo de 2016 un magistrado federal ordenó a la Sagarpa abstenerse de otorgar permisos de liberación o siembra de maíz transgénico hasta nuevo aviso, con lo cual se detiene todo proceso comercial de este cultivo en México (CONACYT-CIBIOGEM, 2017; ISAAA, 2016).

Además del debate político y económico, los transgénicos son una fuente rica para la discusión social. El 30 de junio de 2016, 109 ganadores del Premio Nobel (no todos científicos) hicieron pública una carta a favor de la seguridad de los alimentos transgénicos y en ella acusan a organizaciones como Greenpeace de oponerse a las innovaciones biotec-

nológicas en la agricultura. Esta ONG respondió que los transgénicos no son la solución al problema del hambre, ya que hay alimento suficiente para dar de comer a todo el mundo; esto mismo fue reafirmado por el asesor especial para la FAO en España, Ignacio Trueba (Ibáñez, 2013). Por otro lado, Nodari y Guerra (2004) comentan que existe una serie de contradicciones por parte de las empresas productoras y comercializadoras de semillas transgénicas, las cuales provocan que los consumidores prefieran ser precavidos y no consumirlos. En su resumen ponen de manifiesto el riesgo de los transgénicos para la salud humana, como el uso de antibióticos en los alimentos y el incremento en la resistencia de microorganismos causantes de enfermedades, así como el riesgo de reacciones alérgicas al consumir estos alimentos en cantidades grandes; sin embargo, sigue la necesidad de contar con más estudios para determinar el nivel de riesgo para los humanos.

En el aspecto ambiental, Nodari y Guerra (2004) plantean tres tipos de riesgos ecológicos: la alteración de la dinámica de poblaciones, la transferencia de material genético y la contaminación de alimentos y del ambiente. En contraparte, otros investigadores aseguran que los cultivos transgénicos no presentan riesgos para los diferentes hábitats naturales. Por ejemplo, Vandame y Vides Borrell (2016) mencionan que la presencia de cultivos transgénicos en México representa particularmente dos riesgos en el contexto de la producción de miel: primero, porque afectan negativamente a las poblaciones de abejas y, segundo, porque reducen significativamente la compra y exportación de miel por la contaminación con polen transgénico.

Así, la respuesta final sobre los transgénicos sigue aún en la balanza de los juicios científicos, industriales, públicos y políticos. Mientras unos apoyan el uso masivo de cultivos transgénicos, otros responden sobre el grave riesgo que representan para la salud humana y el ambiente.

**Froylán Mario Espinoza Escalante**

Universidad Autónoma de Guadalajara.  
froymario@edu.uag.mx

**Lecturas recomendadas**

CONACYT-CIBIOGEM (2017), *Preguntas frecuentes*. Disponible en: <<http://www.conacyt.mx/cibiogem/index.php/preguntas-frecuentes>>, consultado el 8 de mayo de 2017.

Dixon, G. R. *et al.* (2010), *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*, Dordrecht, Springer.

Funke, T. *et al.* (2006), “Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops”, *PNAS*, 103 (35): 1310-1315.

Ibáñez, M. (2013), “842 millones de hambrientos en un mundo en el que hay comida para todos”, *El País* (en línea). Disponible en: <[http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/11/20/actualidad/1384943787\\_905265.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/11/20/actualidad/1384943787_905265.html)>, consultado el 8 de mayo de 2017.

ISAAA (2016), *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016*. ISAAA Brief No. 52, Ithaca, ISAAA. Disponible en: <<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf>>, consultado el 23 de agosto de 2018.

Kegley, S. E., B. R. Hill, S. Orme y A. H. Choi (2016), *PAN Pesticide Database*, Oakland, Pesticide Action Network. Disponible en: <<http://www.pesticideinfo.org>>, consultado el 23 de agosto de 2018.

Liu, C. W., Y. Sung, B. C. Chen y H. Y. Lai (2014), “Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.)”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4):4427-4440.

Mesnager, R., N. Defarge, J. Spiroux de Vendômois y G. E. Séralini (2015), “Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits”, *Food and Chemical Toxicology*, 84:133-153.

Nodari, R. O. y M. P. Guerra (2004), “La bioseguridad de las plantas transgénicas”, en *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: Un debate abierto*, Santiago de Chile, Organización de las Naciones Unidas, pp. 111-122.

Vandame, R. y E. Vides Borrell (2016), “Miel y cultivos transgénicos en México, evidencias de contaminación y principio de precaución”, *Ciencias*, 118-119: 94-101.