

Organismos genéticamente modificados: un desafío científico y social para el siglo XXI

Antonio T. Araujo Soto^{1*}

¹ Colegio de Bachilleres No. 2 Cien Metros "Elisa Acuña Rossetti"

* Dirección para correspondencia: tonorastes@gmail.com

Los organismos genéticamente modificados (OGM) surgieron simultáneamente con la biotecnología moderna en la segunda mitad del siglo XX. Esto fue posible gracias a conocimientos fundamentales como la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN), el desciframiento del código genético y la organización básica de un gen, así como al desarrollo de métodos novedosos, como la fragmentación por endonucleasas, la síntesis química de oligonucleótidos, la secuenciación enzimática de Sanger y la amplificación *in vitro* mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). En conjunto, estos y otros avances proporcionaron los medios necesarios para la creación de los primeros OGM.

El concepto de OGM abarca cualquier modificación al genoma; es decir, no se restringe únicamente a la transgénesis o la introducción de nuevo ADN en un organismo, sino que también se refiere a los cambios para «potenciar» o «inactivar» la expresión de un gen propio. En México, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados define a los OGM de la siguiente manera: "Cualquier organismo vivo, con excepción de los seres humanos, que ha adquirido una combinación genética novedosa, generada a través del uso específico de técnicas

de la biotecnología moderna...” (LBOGM, 2022). Esta definición es similar a la de Organismo Vivo Modificado (OVM) presentada en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica, que indica lo siguiente: “Por organismo vivo modificado se entiende cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna” (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000). Los conceptos de OGM y OVM se conciben ante las posibilidades de la nueva biotecnología y, deben verse también, como opciones narrativas y de comunicación frente a la percepción negativa que a menudo acompaña al término transgénico.

Entre los primeros OGM se encuentran microorganismos, particularmente *Escherichia coli*, bacteria que en la década de 1970 fue modificada para producir insulina humana. Posteriormente, en los años 80, se introdujeron las primeras plantas transgénicas en el ámbito de la alimentación, lo que dio lugar a una controversia que persiste hasta la actualidad. ¿Cuáles son los efectos de los OGM en la salud humana? ¿Cuáles son las consecuencias ecológicas de liberar OGM en el ambiente? Habitualmente, estas dos preguntas dominan la discusión académica y pública sobre los organismos genéticamente modificados.

Sobre las implicaciones ecológicas de los OGM, una preocupación recurrente es el posible flujo genético hacia organismos no modificados. En este sentido, se ha documentado en experimentos de campo la transferencia de transgenes desde arroz cultivado a formas silvestres. Asimismo, se ha detectado material transgénico

en variedades locales de maíz provenientes de Oaxaca, lo que evidencia la ocurrencia de flujo genético de transgenes hacia el ambiente. Aunque se desconoce el impacto exacto de este fenómeno, una posible consecuencia es la formación y persistencia de híbridos que podrían desplazar a las especies nativas. Otra repercusión sería la pérdida de biodiversidad en plantas silvestres e insectos — como los polinizadores— debido al uso excesivo de plaguicidas en cultivos de plantas modificadas para resistir estos compuestos. Por ejemplo, la aplicación de herbicidas asociados a cultivos transgénicos podría estar relacionada con la disminución observada en la abundancia de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). El uso de estos plaguicidas estaría provocando la pérdida del algodóncillo (*Asclepias* spp.), una planta que sirve de hábitat para las larvas de esta mariposa (Tsatsakis *et al.*, 2017).

En México, el debate sobre las posibles consecuencias negativas de los OGM ha incluido las dos posturas prevalentes: la aceptación y el rechazo. Por un lado, investigadores como el Dr. Francisco Bolívar Zapata (IBt, UNAM) y el Dr. Luis R. Herrera Estrella (UGA-Langebio, CINVESTAV) han apoyado la aceptación de los OGM; por otro, investigadoras como la Dra. María Elena Álvarez-Buylla (IE, UNAM) han expresado dudas sobre su seguridad. Cabe destacar que el rechazo de una parte de la sociedad a modificar la estructura genética de un ser vivo se centra especialmente en las plantas que sirven de alimento. En México, el símbolo de esta oposición es el maíz (*Zea mays*).

Pruebas arqueológicas, biológicas y culturales indican que la antigua región de Mesoamérica fue el centro de origen y domesticación del maíz. Las evidencias incluyen estudios con marcadores genéticos (microsatélites) que muestran la relación evolutiva entre el maíz y el teocintle (*Zea mays ssp. parviglumis*). Esta planta, que se encuentra en el estado de Guerrero, es el probable ancestro silvestre del maíz. En la misma región se han hallado granos de almidón y fitolitos (depósitos minerales en tejidos vegetales) de maíz con miles de años de antigüedad, lo que refuerza la teoría de su domesticación en esta zona (Maiti *et al.*, 2022). Además, las culturas mesoamericanas tienen mitos asociados a este cultivo, lo que evidencia un conocimiento ancestral de la planta, algo que no se ha documentado en otras civilizaciones fuera de América.

A pesar del tiempo transcurrido, el debate sobre el maíz transgénico y los OGM en general está lejos de concluir, ya que en su aceptación o rechazo confluyen perspectivas diferentes e intereses regionales. Por ejemplo, en el primer semestre de 2024, varias notas periodísticas informaron sobre la controversia que México mantenía con Estados Unidos para evitar la importación de maíz transgénico proveniente de aquel país, mientras que en China se había autorizado el uso de varios cereales modificados genéticamente (Reuters, 2024). En ambos casos, uno de los argumentos principales para estas acciones es la seguridad alimentaria, que implica contar con alimentos suficientes y seguros para cubrir las necesidades de una nación.

Es importante mencionar que existen otros ejemplos igualmente controvertidos sobre el uso de OGM, como la aplicación de mosquitos modificados para controlar la malaria y la modificación de cerdos como donantes xenogénicos (donantes de una especie diferente al receptor) para los seres humanos (Dong *et al.*, 2022; Fischer *et al.*, 2018).

Sin duda, el debate en torno a la modificación genética dirigida de organismos continuará en los próximos años. Sin embargo, esta situación no debe considerarse negativa, ya que la diversidad de puntos de vista contribuye al avance del conocimiento y a la resolución de problemas. En lo que respecta a este tema, la demanda de precaución y regulación en la manipulación de organismos debe incentivar las mejores prácticas de investigación en grupos públicos y privados, sin frenar la creatividad, pero teniendo en cuenta los beneficios reales y considerando escenarios ecológicos y de salud afines con los objetivos de sustentabilidad de la época. Además, es fundamental mejorar la comunicación hacia la sociedad sobre el trabajo que se realiza en ciencia y tecnología relacionado con los OGM, porque el interés y la investigación en este tema continúan y nuevas metodologías se están desarrollando para manipular el ADN.

Edición genética y CRISPR-Cas

En el siglo XXI, la investigación sobre la modificación genética de organismos avanzó sustancialmente con la implementación de la técnica CRISPR-Cas. Como

sucede con todo gran avance, este método innovador de edición genética fue el resultado del esfuerzo colectivo de muchas personas a través del tiempo. Su descubrimiento inicial se debe a Yoshizumi Ishino y sus colaboradores en *Escherichia coli*, aunque fue un hallazgo inesperado. Por esta razón, Ishino no comprendió su papel como sistema inmunitario. Fue el investigador Francisco Martínez Mojica quien propuso su función en la protección de bacterias y arqueas. En otras palabras, Martínez Mojica dilucidó su papel como un sistema de defensa contra virus o plásmidos. Esta hipótesis fue posteriormente confirmada experimentalmente por Rodolphe Barrangou y Philippe Horvath mediante estudios con la bacteria *Streptococcus thermophilus* (Lander, 2016).

El sistema CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) está compuesto por una serie de secuencias repetidas —palindrómicas— cortas, que se encuentran separadas por otras secuencias genéticas (espaciadores) provenientes de genomas externos. Cuando un procariota experimenta la invasión de un virus o un plásmido, las secuencias que conforman el sistema CRISPR se transcriben en un ARN precursor largo (*pre-crRNA*), el cual es rápidamente dividido en fragmentos más pequeños (*crRNA*), que se ensamblan con proteínas llamadas Cas. Este complejo de ribonucleoproteína se une al virus o plásmido invasor —cuando los *crRNA* son complementarios a fragmentos de nucleótidos del agente externo— y lo neutraliza cortando su material genético.

Existen diversas variantes de las proteínas Cas, las cuales se agrupan en dos grandes clases. El sistema más conocido para la edición genética utiliza la proteína Cas9, que corresponde al sistema de clase 2 (Barrangou y Horvath, 2017).

La comprensión del funcionamiento básico de este sistema de defensa tomó varios años. Sin embargo, su potencial aplicación en salud y alimentación fue rápidamente reconocido por distintos grupos de investigación, que se apresuraron a pasar del conocimiento básico a su aplicación práctica. Fueron las investigadoras Jennifer A. Doudna y Emmanuelle Charpentier, así como Virginijus Siksnys (de forma independiente), quienes comprobaron la viabilidad de utilizar el sistema CRISPR-Cas9 como herramienta para editar el ADN *in vitro* (Lander, 2016). Más adelante, la edición de genes en células de mamífero (ratón y humanas) se demostró con los trabajos publicados de Feng Zhang y George Church en 2013.

El sistema CRISPR-Cas9 se considera un gran logro en la ciencia del siglo XXI. Su descubrimiento nos recuerda que aún desconocemos numerosos aspectos de los seres vivos, y que explorarlos abre posibilidades increíbles. Como ejemplo, CRISPR-Cas9 ha sido utilizado en terapia génica y en la creación de nuevos OGM. En este último caso, se ha trabajado intensamente en cultivos de interés humano para conferirles características mejoradas, como mayor valor nutricional, resistencia a condiciones de estrés ambiental y tolerancia a patógenos. Por ejemplo, trigo y tomates resistentes a infecciones fúngicas, arroz y maíz tolerantes a períodos de sequía, y naranjos resistentes al cancro de los cítricos, una enfermedad bacteriana (Chaudhary *et al.*, 2022).

Es importante destacar que la edición genética no es sinónimo de transgénesis, ya que no implica necesariamente la inserción de genes exógenos. Las transformaciones realizadas con la tecnología CRISPR-Cas9 consisten en cambios de base o en el reemplazo de secuencias dentro del genoma del propio organismo, con el propósito de modificar la actividad de un gen de manera específica (reactivándolo o inactivándolo, o bien aumentando o disminuyendo su expresión). No obstante, se trata de una manipulación a la información genética de un organismo.

En este contexto, es oportuno reflexionar sobre el riesgo de revivir una crónica ya conocida; una historia en la que la sociedad se opone al uso de estas nuevas tecnologías y sus productos.

Investigación y educación frente a la incertidumbre

Para afrontar la incertidumbre que generan los organismos genéticamente modificados (OGM) o los organismos vivos modificados (OVM), es crucial realizar investigaciones, pero también es fundamental prestar atención a la educación. En el siglo XXI, se habla y se escribe sobre la alfabetización digital, pero se dice poco acerca del analfabetismo científico en un mundo transformado por la ciencia.

Comprender y abordar las causas que generan el rechazo a la manipulación genética es esencial para utilizar estos biodesarrollos en la resolución de problemas. Ejemplo de esto es su aplicación en la producción de biomoléculas, como la insulina, o en el estudio de los efectos de las alteraciones en el ADN. Además, mejorar nuestra comprensión de esta área de la ciencia —como de otras— puede actuar

como un contrapeso frente a la difusión de información tergiversada. Cabe recordar que, durante la pandemia de COVID-19, se compartió información errónea que confundía elementos de las vacunas contra el SARS-CoV-2 y la modificación genética. Esto generó desconfianza en algunos sectores de la población, quienes asumieron que las vacunas eran un medio para modificar el ADN de las personas y causarles daño (Agencia SINC, 2021).

Igualmente, la investigación y la educación son clave para garantizar el cuidado de la biodiversidad, así como el respeto a la cultura de una nación. En el contexto de México, surge la interrogante: ¿puede el desarrollo de OGM propios y culturalmente adaptados ofrecer al país un mayor control sobre estos organismos, tanto en términos de bioseguridad como económicos? Además, ¿podría contribuir a impulsar actividades productivas y aprovechar el capital humano formado en diversas instituciones?

El siglo XXI plantea retos en materia de salud, alimentación y medio ambiente, y en este contexto los OGM representan tanto una promesa como un desafío. No obstante, más allá de discursos polarizados, es necesario fomentar una cultura científica que permita a la sociedad comprender los alcances y límites de estas tecnologías, que seguirán avanzando con aplicaciones que podrían alcanzar pronto a los seres humanos.

Referencias

Agencia SINC (2021, diciembre 13). No, las vacunas contra la COVID-19 no cambian tu ADN. *Agencia SINC*. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/No-las-vacunas-contra-la-covid-19-no-cambian-tu-ADN>

Barrangou R and Horvath P (2017). A decade of discovery: CRISPR functions and applications. *Nature Microbiology* 2:17092. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.92>.

Chaudhary M, Mukherjee TK, Singh R *et al.* (2022). CRISPR/Cas technology for improving nutritional values in the agricultural sector: an update. *Molecular Biology Reports* 49(7):7101–7110. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07523-w>.

Dong S, Dong Y, Simões ML and Dimopoulos G (2022). Mosquito transgenesis for malaria control. *Trends in Parasitology* 38(1):54-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.08.001>.

Fischer K, Kind A and Schnieke A (2018). Assembling multiple xenoprotective transgenes in pigs. *Xenotransplantation* 25(6):e12431. DOI: <https://doi.org/10.1111/xen.12431>.

Lander ES (2016). The Heroes of CRISPR. *Cell* 164(1-2):18–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.12.041>.

Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). Art. 3, XXI 11 de mayo de 2022 (México).

Maiti RK, González Rodríguez H, Aruna Kumari CH, Begum S and Rajkumar D (2022). *Origin, Evolution, and Domestication of Maize*. En Maiti RK *et al.* (Eds.), *Advances in Maize Science. Botany, Production, and Crop Improvement* (pp. 29-48). Apple Academic Press, Florida, E.U.

Reuters (2024, mayo 8). Aprueba China el primer trigo modificado genéticamente. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2024/05/08/ciencia-y-tecnologia/aprueba-china-el-primer-trigo-modificado-geneticamente-1785>.

Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000). *Protocolo de Cartagena sobre la Diversidad Biológica. Textos y anexos*. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Tsatsakis AM, Nawaz MA, Tutelyan VA *et al.* (2017). Impact on environment, ecosystem, diversity and health from culturing and using GMOs as feed and food. Food and Chemical Toxicology 107(Pt A):108–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.033>.

Manuscrito aceptado