

PLANTAS TRANSGÉNICAS: UNA MIRADA CRÍTICA A SU IMPACTO Y BENEFICIOS

María Elena Rodríguez Hernández ^{a§}, Mónica Martínez Ríos ^{a§}, Patricia Nayeli Alva Murillo ^a, Patricia Ponce Noyola ^{a*}

^a Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato, Col. Noria Alta, C.P. 36050, Guanajuato, Gto, México. poncep@ugto.mx

§ Ambos autores realizaron contribuciones equivalentes

Resumen

Las plantas transgénicas son aquellas que han sido genéticamente modificadas para adquirir características nuevas que no se encuentran naturalmente en su especie. Esto tiene como objetivo mejorar su utilidad y productividad, brindándoles ventajas ante las plagas y las condiciones ambientales desfavorables. Además, estas plantas también encuentran aplicación en la producción de vacunas y proteínas terapéuticas. Sin embargo, la utilización masiva de estas plantas presenta desafíos en términos de su impacto en el medio ambiente y la biodiversidad. Por lo tanto, es esencial contar con un sistema regulatorio sólido pero equilibrado, que garantice su seguridad sin ser excesivamente restrictivo. Para asegurar un uso responsable de los cultivos transgénicos en el futuro, es crucial llevar a cabo estudios experimentales que evalúen cuidadosamente tanto los riesgos como los beneficios asociados con su implementación.

Palabras clave: transgen; biodiversidad; OGM (organismo genéticamente modificado); medio ambiente.

TRANSGENIC PLANTS: A CRITICAL LOOK AT THEIR IMPACT AND BENEFITS

Abstract

Transgenic plants are those that have been genetically modified to acquire new characteristics that are not found naturally in their species. This aims to improve their usefulness and productivity, giving them advantages against pests and unfavorable environmental conditions. In addition, these plants also can be applied in the production of vaccines and therapeutic proteins. However, the massive utilization of these plants presents challenges in terms of their impact on the environment and biodiversity. Therefore, it is essential to have a strong but balanced regulatory system, which guarantees safety without being overly restrictive. To ensure responsible use of genetically modified crops in the future, it is crucial to carry out experimental studies that carefully assess both the risks and benefits associated with their implementation.

Keywords: transgene; biodiversity; GMO (genetically modified organism); environment.

1. Introducción

Las plantas transgénicas son el resultado de la modificación genética del genoma de la planta, mediante técnicas de ingeniería genética. Estas técnicas permiten la incorporación de nuevos rasgos en la planta que no se encuentran de forma natural en su especie, para lograrlo se insertan genes adicionales, llamados "transgenes", en el ADN de la planta, los cuales pueden provenir de otras especies vegetales o de organismos completamente diferentes (Rani y Usha, 2013). El objetivo principal de la modificación genética en las plantas es mejorar su utilidad y productividad, en la Figura 1 se muestra, de manera general, el proceso de creación de plantas transgénicas. Al introducir combinaciones específicas de genes es posible obtener características deseables, como una mayor vida útil, mayor producción de proteínas para fines alimenticios o farmacéuticos, un rendimiento más alto, mejor calidad y resistencia a plagas, tolerancia al calor, al frío y a la sequía, es decir, se busca mejorar su capacidad de enfrentar desafíos. Un ejemplo de estas mejoras son las plantas transgénicas empleadas en la producción de vacunas o anticuerpos, conocidas como "planticuerpos" (plantibodies), que resultan especialmente

importantes como fuente ilimitada de anticuerpos monoclonales baratos, usados en terapia humana y animal (Loza-Rubio y Gómez-Lim, 2006; Rani y Usha, 2013). Además, la producción de proteínas terapéuticas en plantas transgénicas ofrece beneficios económicos y cualitativos, y presenta menos riesgos de contaminación por patógenos (Giddings y col., 2000). Por ello, las plantas transgénicas se consideran una alternativa prometedora a los sistemas tradicionales de producción de biofarmacéuticos.

Las primeras plantas transgénicas se reportaron en 1983 (Rani y Usha, 2013), y desde entonces se han expresado un gran número de proteínas recombinantes en diversas especies agronómicas importantes, lo que tiene un enorme potencial para beneficiar a países desarrollados así como a los que están en vías de desarrollo. No obstante, la implementación masiva de organismos genéticamente modificados presenta desafíos para los ecosistemas agrícolas y naturales, ya que contienen productos ajenos con impactos desconocidos en la biodiversidad (Raven, 2010). Por lo tanto, es crucial llevar a cabo estudios experimentales que brinden resultados claros y sin ambigüedades, a fin de evaluar los

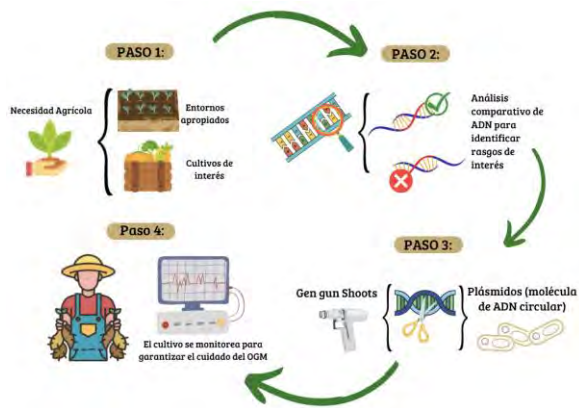


Figura 1. Creación de plantas transgénicas.

Paso 1: Se elige una planta con un rasgo deseado, como resistencia a enfermedades o mejor calidad nutricional, según necesidades agrícolas. *Paso 2:* Se aísla el gen responsable del rasgo, identificándolo a través de análisis comparativo de ADN. *Paso 3:* Se introduce el gen en el genoma de la planta usando métodos como la biobalística o la transformación genética con *A. tumefaciens*. *Paso 4:* La nueva planta transformada es cultivada y supervisada para asegurar su desarrollo saludable y óptimo (Modificado de Rani y Usha, 2013).

riesgos asociados y los beneficios inminentes de los cultivos transgénicos para el futuro; para garantizar la seguridad de los cultivos transgénicos se requiere un sólido sistema regulatorio que no sea excesivamente restrictivo.

2. Definición y características de las plantas transgénicas

Las plantas transgénicas son aquellas plantas en las que se ha llevado a cabo una modificación genética utilizando tecnología del ADN recombinante para expresar un gen exógeno, también conocido como transgén, o para modificar genes endógenos (Gunaratne y col., 2020). Estos transgenes pueden provenir de la misma especie o de organismos completamente diferentes, e incluso pueden ser genes sintéticos diseñados en el laboratorio.

La modificación genética en plantas se realiza mediante diversas técnicas, siendo las más comunes las que emplean métodos físicos, como el bombardeo de partículas, y la transferencia de genes mediante bacterias. Este último es un proceso natural de transferencia genética entre la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* y las plantas (Lorence y Verpoorte, 2004). Estas bacterias pueden infectar células vegetales al transferir una parte de su propio ADN, que se integra en el genoma de la planta, mediante un plásmido inductor de tumores llamado plásmido *Ti*. Éste plásmido actúa como un vehículo para la transferencia de genes específicos, permitiendo a los investigadores introducir genes de interés en las plantas,

generalmente a través de un proceso llamado "inmersión floral", aunque también pueden usarse los callos en cultivos de tejidos (Rani y Usha, 2013). En la inmersión floral, las plantas con flores se sumergen en una solución de *Agrobacterium* que contiene los genes deseados, y las semillas transgénicas resultantes se cosechan directamente de la planta. Esta técnica se considera más natural y aceptable, y es particularmente eficaz en plantas dicotiledóneas como papas, tomates y plantas de tabaco (Zhang y Yang, 2015).

Otro método muy utilizado es el método "Gene gun shoot" o "biobalística". En este, se emplea una técnica en la que el ADN es ligado a partículas diminutas de oro o tungsteno. Estas partículas cargadas de información genética son disparadas a alta presión hacia las células vegetales con una pistola especial. El impacto resultante permite que las partículas penetren tanto la pared como la membrana celular, liberando el ADN en el proceso. Este material genético se separa de las partículas metálicas y se integra en el núcleo de la célula vegetal, afectando así su composición genética de manera específica. Aunque este método es limpio y eficiente, puede causar daños en el tejido celular, por lo que es un método poco elegido,

especialmente cuando se trata de ciertas plantas (Rani y Usha, 2013).

Los transgenes utilizados en la modificación genética de las plantas pueden tener diversos orígenes. Algunos provienen de especies vegetales relacionadas, lo que se conoce como transferencia intraespecífica, mientras que otros provienen de organismos no vegetales, como bacterias, hongos o incluso animales. Estos transgenes pueden llevar la información genética para distintas características, como la resistencia a herbicidas, insectos o enfermedades, la mejora de la calidad nutricional, la producción de metabolitos de interés, entre otras (Lorence y Verpoorte, 2004).

Otra consideración importante sobre las plantas modificadas es que existe un prerequisite en los cultivos, esto es porque la obtención de plantas transgénicas demanda que los genes introducidos sean puestos en tejidos con la capacidad de incorporar y fusionarse con el nuevo ADN. Para ello se deben someter a un proceso de selección para así identificar los eventos exitosos y dar lugar a plantas con un desarrollo fenotípico normal y reproductivamente viable. Otro punto que considerar es el aspecto económico, ya que es esencial la recuperación de un gran número de plantas con modificaciones genéticas, para

que sea factible económicamente. Abordando los puntos anteriores, a lo largo del desarrollo de los organismos transgénicos se ha observado que los tejidos “embriogénicos” y “meristemáticos” son las opciones más comunes y viables para la generación de plantas transgénicas (Lorence y Verpoorte, 2004).

Los tejidos embriogénicos son aquellos que tienen la capacidad para revertir al estado totipotente cuando se manejan adecuadamente en entornos de cultivo, se multiplican rápidamente. Las células que han integrado y expresado satisfactoriamente el gen insertado son identificables, pueden aislarse y estimularse para multiplicarse activamente bajo las condiciones elegidas. Sin embargo, estos métodos de cultivo presentan ciertas limitaciones; en primer lugar, la generación y el mantenimiento de tejidos embriogénicos de alta calidad requieren una cantidad significativa de recursos humanos altamente capacitados, por lo cual es de alto costo. En segundo lugar, aunque algunos cultivos de una especie pueden ser manejados exitosamente, la mayoría de ellos siguen siendo difíciles de manipular de esta manera. Adicionalmente, se plantea una tercera preocupación con el uso sostenible de cultivos embriogénicos,

relacionada con la disminución de la fertilidad y el aumento de plantas con anomalías fenotípicas a largo plazo. Para enfrentar estos desafíos, se han planteado protocolos de cultivo de tejidos que minimizan el tiempo en el que los tejidos blanco se encuentran en un estado desorganizado, tanto antes como después de la fase de transformación genética (Lorence y Verpoorte, 2004).

Por otro lado, los tejidos meristemáticos emergen como una alternativa prometedora para la generación de plantas transgénicas, debido a su habilidad de alterar genéticamente todos los genotipos en una especie en particular. Los meristemas comprenden células no diferenciadas que se dividen y se desarrollan para formar todos los tejidos aéreos de la planta, incluyendo las células de la línea germinal. Con la selección y los procedimientos de cultivo apropiados, es viable producir plantas completamente transformadas a partir de los eventos iniciales de transformación (Lorence y Verpoorte, 2004).

Los objetivos principales de la modificación genética en las plantas son variados y dependen de las necesidades y demandas de la agricultura y de la sociedad en general. Uno de los principales objetivos es mejorar las

características agronómicas de las plantas como su rendimiento, resistencia a estrés ambiental y tolerancia a condiciones adversas (Lorence y Verpoorte, 2004). Esto puede ser especialmente útil para hacer frente a los desafíos climáticos actuales como sequías, inundaciones y variaciones de temperatura. Algunos de los cultivos genéticamente modificados que resisten la sequía son el maíz, arroz, algodón y canola, entre otros (Villalobos-López y col., 2022).

Otro objetivo importante es la obtención de plantas resistentes a plagas y enfermedades. La introducción de genes que codifican proteínas insecticidas o que mejoran la respuesta inmunológica de las plantas puede ayudar a reducir la necesidad de utilizar pesticidas químicos y, por lo tanto, disminuir los impactos negativos sobre el ambiente y la salud humana. Tal es el caso de las plantas transgénicas-*Bt* que producen toxinas provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, y que son eficientes en el control de algunos insectos (lepidópteros); entre estos cultivos se encuentran el tabaco, maíz, papa, algodón y soja (Bravo y col., 2012).

La modificación genética también se utiliza para mejorar la calidad nutricional de los cultivos. Por ejemplo, se han desarrollado

variedades de arroz transgénico enriquecidas con vitamina A, lo cual es especialmente importante en áreas donde esta vitamina es deficiente en la dieta (Kobayashi y col., 2023).

3. Beneficios y aplicaciones de las plantas transgénicas

Matin Qaim (Qaim, 2010) destaca varios beneficios de las plantas transgénicas, especialmente dirigidos a las clases económicamente desfavorecidas. Estos beneficios incluyen un incremento en los ingresos familiares. Las plantas modificadas genéticamente tienen el potencial de aumentar la productividad de los cultivos y reducir las pérdidas ocasionadas por plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas. Como resultado, los trabajadores cuya subsistencia depende en gran medida de la agricultura, pueden experimentar un incremento en sus ingresos. Además, la reducción del uso de pesticidas es otro aspecto positivo. Las plantas transgénicas han sido diseñadas para resistir plagas y enfermedades específicas, lo que disminuye la necesidad de aplicar pesticidas y reduce tanto la exposición de los agricultores como el impacto ambiental. Esta característica

contribuye a la sostenibilidad medioambiental al disminuir la dependencia de pesticidas y fortalecer la resistencia a condiciones climáticas adversas.

En términos de seguridad alimentaria, las plantas transgénicas ofrecen beneficios considerables. Al poseer mayor resistencia a plagas y enfermedades, ayudan a mitigar la pérdida de cultivos, lo que a su vez asegura una mayor disponibilidad de alimentos para los consumidores (Qaim, 2010). Asimismo, estas plantas pueden contribuir a mejorar la nutrición de la población. Ejemplificando esta tendencia, el arroz dorado se ha creado como un cultivo biofortificado que contiene niveles incrementados de nutrientes esenciales como hierro, vitamina A y vitamina C (Qaim, 2010; Kobayashi y col., 2023). Este aspecto puede tener un impacto significativo en las comunidades que luchan contra deficiencias nutricionales. Además, otros cultivos como el tomate ha sido objeto de investigaciones para desarrollar variedades biofortificadas, incrementando los niveles de antioxidantes y vitaminas esenciales, como la vitamina C y el licopeno, lo que podría ayudar a combatir deficiencias en la dieta de las poblaciones (Krishna y col., 2019).

Del mismo modo, se han realizado esfuerzos para desarrollar variedades de frijol biofortificado, con la intención de aumentar su contenido de nutrientes, como proteínas de alta calidad, hierro y zinc (Huertas y col., 2023).

Otro aspecto importante es la fitorremediación donde se busca la purificación de suelos contaminados y que ha encontrado en las plantas transgénicas una poderosa herramienta, ya que estas pueden tener la capacidad de extraer y tolerar metales pesados y otros contaminantes del suelo, abriendo nuevas perspectivas para la descontaminación ambiental.

Uno de los avances más relevantes es la fitoextracción, un proceso en el cual las plantas -incluyendo hiperacumuladoras como *Thlaspi caerulescens*- pueden extraer metales tóxicos del suelo (Cherian y Oliveira, 2005). Sin embargo, muchas de estas plantas tienen un tamaño pequeño, lo que limita su eficacia. Aquí es donde desempeña un papel fundamental la ingeniería genética, permitiendo transferir genes de plantas hiperacumuladoras a plantas de mayor tamaño y producción. Se han explorado diversas estrategias para mejorar la capacidad de producción de las plantas transgénicas en este proceso, como 1) las metalotioneínas,

que son proteínas con capacidad de unirse a metales como cadmio, cobre y zinc, 2) las fitoquelatinas que desempeñan un papel crucial al atrapar metales pesados en las plantas y 3) el glutatión, que ha demostrado su importancia en la detoxificación de metales pesados (Cherian y Oliveira, 2005).

Otro enfoque importante e innovador es la producción de vacunas, anticuerpos, biofarmacéuticos y otro tipo de terapias y medicinas, mediante la generación y uso de plantas transgénicas (Giddings y col., 2000; Loza-Rubio y Gómez-Lim, 2006).

Un ejemplo de esto es en el campo de la terapia con anticuerpos, gracias a la utilización innovadora de las plantas como sistemas de producción de anticuerpos monoclonales, se ha experimentado una revolución y avance hacia nuevos y mejores tratamientos. Si bien, algunos estudios se han centrado en expresar anticuerpos para la resistencia a virus en plantas y en la inmunomodulación, existen enfoques que se dirigen exclusivamente a la utilización de las plantas para producir anticuerpos terapéuticos con el propósito de ser utilizados como terapias para diversas enfermedades en animales y humanos (Giddings y col., 2000; Warzecha y Mason, 2003; Loza-Rubio y Gómez-Lim, 2006). La estructura modular de

los anticuerpos permite intercambiar dominios o incluso insertar regiones adicionales, dando lugar a anticuerpos quiméricos. Esta y muchas otras razones ponen a las plantas transgénicas como una excelente fábrica para producir nuevos anticuerpos, que se pueden emplear en terapias exitosas. Para satisfacer la creciente demanda de producción de anticuerpos a gran escala, las plantas podrían surgir como una alternativa viable al uso de la tecnología de hibridomas, cultivos de células mamíferas transgénicas y levaduras o bacterias. Aunque la expresión transgénica de anticuerpos es un desafío complejo, las plantas han demostrado ser capaces de producir diferentes anticuerpos de longitud completa y fragmentos de manera económicamente viable (Giddings y col., 2000; Warzecha y Mason, 2003; Loza-Rubio y Gómez-Lim, 2006).

Hasta ahora, se han expuesto los posibles beneficios y ventajas que tienen las plantas transgénicas, si nos detenemos hasta aquí es inminente que los transgénicos pueden ser llamados el futuro de la medicina, la bioremediación de suelos, la seguridad alimentaria, la agricultura, la industria textil, la industria energética, la investigación científica, etc. Pero a partir de todas las ventajas que conllevan los transgénicos,

existe su contraparte englobada en sus desventajas y posibles preocupaciones, la cual también exige una revisión exhaustiva, para poder discernir las consecuencias de incorporar los transgénicos a la vida diaria.

4. Desafíos y aspectos de interés ambientales

En contraste, respecto a los beneficios, Bawa y Anilakumar (2013) y Espinoza-Escalante (2018), mencionan ciertos aspectos de interés sobre la seguridad alimentaria; existe la inquietud de que los alimentos transgénicos puedan tener efectos negativos para la salud humana. Aunque varios estudios han demostrado que los alimentos transgénicos aprobados son seguros para el consumo humano, todavía persisten inquietudes sobre posibles efectos a largo plazo o interacciones desconocidas con la biología humana (Bawa y Anilakumar, 2013; Espinoza-Escalante, 2018).

Para el medio ambiente existe la preocupación de que los cultivos transgénicos puedan cruzarse con especies silvestres relacionadas, llevando a la propagación de genes modificados y creando "supermalezas" resistentes a herbicidas. Además, también se ha planteado la posibilidad de que los genes

modificados puedan afectar a organismos no objetivo en el ecosistema (Bawa y Anilakumar, 2013).

Respecto al control corporativo y dependencia de los agricultores, existe inquietud sobre la propiedad de las semillas transgénicas y la dependencia que los agricultores pueden tener de las grandes corporaciones agrícolas que desarrollan y controlan estas semillas. También se plantea la preocupación de que la adopción generalizada de cultivos transgénicos pueda llevar a la pérdida de diversidad genética y la desaparición de variedades tradicionales de cultivos (Bawa y Anilakumar, 2013; CONAHCYT-CIBIOGEM, 2017).

Otra preocupación es el posible impacto de los cultivos transgénicos en los insectos beneficiosos y los polinizadores. Aunque las plantas transgénicas pueden contener toxinas que matan plagas específicas, también pueden afectar a insectos benéficos como las abejas y otros polinizadores necesarios para la polinización de cultivos y el mantenimiento de la biodiversidad. La pérdida de polinizadores puede tener consecuencias graves en los ecosistemas y en la producción agrícola (Cherian y Oliveira, 2005; Vandame y Vides-Borrell, 2016).

Asimismo, el uso de plantas transgénicas puede llevar a la homogeneización genética en los sistemas agrícolas. La adopción generalizada de variedades transgénicas puede resultar en una reducción de la diversidad genética de cultivos, lo que los hace más vulnerables a enfermedades, cambios climáticos y otros eventos imprevistos. Además, esta homogeneización puede aumentar la dependencia de las grandes empresas de biotecnología y restringir la participación de los agricultores en el desarrollo de variedades adaptadas a sus necesidades locales.

5. Regulación y seguridad de las plantas transgénicas

Gregory Conko examinó la aplicación del principio de precaución en la regulación de plantas transgénicas y cuestionó su validez y efectividad (Conko, 2003). El principio de precaución propone tomar medidas cautelares ante la posibilidad de un daño grave o irreversible, incluso en ausencia de evidencia científica concluyente. En el contexto de los cultivos transgénicos, argumenta que este enfoque excesivamente precautorio ha llevado a regulaciones excesivas y obstáculos innecesarios para la comercialización de estos

cultivos; el investigador analiza los fundamentos científicos, éticos y regulatorios del principio de precaución y argumenta que, en el caso de los cultivos transgénicos, las pruebas científicas disponibles no respaldan la necesidad de regulaciones tan estrictas; ya que las regulaciones basadas en el principio de precaución han llevado a la adopción de medidas desproporcionadas y han limitado la innovación y los beneficios potenciales de los cultivos transgénicos. Conko concluye en la necesidad de un enfoque más equilibrado que tome en cuenta tanto los riesgos como los beneficios potenciales de los cultivos transgénicos, y que se base en evidencia científica sólida en lugar de un enfoque excesivamente precautorio (Conko, 2003).

Los fundamentos científicos del principio de precaución generalmente implican la idea de que, en situaciones donde hay incertidumbre científica, es importante tomar medidas para prevenir posibles daños graves o irreversibles. Esto implica la consideración de posibles riesgos, aunque no haya pruebas científicas concluyentes. Los fundamentos éticos del principio de precaución suelen girar en torno a la responsabilidad de proteger la salud humana y el medio ambiente, incluso en ausencia de certeza absoluta. Se argumenta que es éticamente correcto evitar el riesgo

potencial de daño. En términos de fundamentos regulatorios, el principio de precaución ha sido incorporado en diferentes legislaciones y regulaciones en todo el mundo. Se utiliza como un marco para tomar decisiones de política pública relacionadas con tecnologías y actividades que podrían tener impactos significativos en la salud humana y el medio ambiente.

En México, existe la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), el cual es un órgano del Poder Ejecutivo Federal que se encarga de establecer las políticas relativas a la seguridad de la biotecnología respecto al uso seguro de Organismos Genéticamente Modificados (OGMs) en México. Existe un reglamento de la comisión (RLBOGMs), el cual tiene como función facilitar y detallar su implementación. A continuación, se describen algunas de sus funciones CONAHCYT-CIBIOGEM. (2017)

I. Formular y coordinar las políticas nacionales de bioseguridad de OGMs, así como proponer a las dependencias competentes la incorporación de dichas políticas en los programas sectoriales.

II. Coordinar, dar seguimiento y evaluar la ejecución de las políticas nacionales de Bioseguridad de OGMs.

III. Promover y propiciar la colaboración de manera coordinada de sus integrantes, para el cumplimiento de la Ley y de los objetivos de la CIBIOGEM (2017).

IV. Promover el fortalecimiento de la capacidad de las instituciones cuyas actividades se relacionen con los OGMs, para el cumplimiento de los objetivos de la Ley y de las demás disposiciones aplicables.

V. Definir las posiciones de México en materia de bioseguridad de OGMs y presentar, a través de la delegación designada, dichas posiciones ante los organismos y foros internacionales correspondientes.

VI. Coordinar la organización de las delegaciones y representaciones mexicanas en los eventos y ante los organismos internacionales en la materia, sin perjuicio de la participación que corresponda a la Secretaría de Relaciones Exteriores.

VII. Analizar y, en su caso, proponer la concertación de instrumentos jurídicos internacionales relativos a los movimientos transfronterizos internacionales de OGMs.

VIII. Promover en el ámbito internacional bilateral, regional y multilateral, el intercambio de información en materia de OGMs.

IX. Promover, con la participación que corresponda a la CONABIO, el establecimiento de un banco de datos sobre la presencia y distribución de especies silvestres relacionadas con los OGMs que se pudieran liberar, así como mecanismos de monitoreo y evaluación del impacto al ambiente, a la salud humana y animal, derivados de la liberación, producción y consumo de OGMs y productos que los contengan.

X. Dictaminar, con la participación que corresponda al Consejo Consultivo Científico, sobre el establecimiento de zonas libres de OGMs para los efectos que establece la Ley, debiendo contener la opinión que emita la CONABIO.

XI. Definir y acordar los estudios y las consideraciones socioeconómicas que deban realizarse para conocer los efectos de los OGMs que se liberen al ambiente en el territorio nacional, y establecer los mecanismos para realizar la consulta y participación de los pueblos y comunidades indígenas asentadas en las zonas donde se pretenda liberar OGMs, en su caso, en

coordinación con las autoridades competentes.

XII. Notificar, por conducto de la Secretaría Ejecutiva, las solicitudes de permisos de liberación al ambiente de OGMs a los gobiernos de las entidades federativas en las que se pretenda llevar a cabo dicha actividad, a fin de que puedan emitir sus opiniones en los términos de Ley.

XIII. Promover programas para la transferencia tecnológica y para la investigación científica que impliquen el uso de OGMs.

El reglamento complementa y hace operativos muchos de los preceptos que establece la Ley y el Protocolo de Cartagena, que ha sido firmado por el gobierno de México, como es el caso de los permisos para actividades con OGMs, la resolución de solicitudes y su vigencia, las autorizaciones, la reconsideración de las resoluciones negativas, la revisión de los permisos y las autorizaciones, las importaciones y exportaciones de OGMs, las comisiones internas de bioseguridad, los comités técnicos científicos, las zonas restringidas, sistema nacional de información sobre bioseguridad, del seguimiento a la información sobre bioseguridad, del registro del Sistema

Nacional de Bioseguridad (SNB), las listas de OGMs, la inspección y vigilancia, las medidas de seguridad o de urgente aplicación así como de las infracciones y sanciones (CONAHCYT-CIBIOGEM, 2017)

En el caso de plantas transgénicas, el Reglamento indica que para tener el derecho de elección sobre la tecnología que se quiera utilizar para producir alimentos, esta tecnología esté asociada una regulación tal que, si esta forma de producción involucra el uso de cultivos genéticamente modificados, se haga de manera que se garantice la protección del ambiente, la salud humana, y la sanidad acuícola, vegetal y animal.

No está demostrado que los transgénicos van a resolver los problemas alimentarios del país, tampoco está demostrado que no van a contribuir a su resolución, es más, aún no se sabe en qué medida pueden contribuir, estos solo representan una opción más de producción como en los casos de otros cultivos transgénicos que ya se utilizan en México.

Para el caso de algodón y soya genéticamente modificados que se han sembrado en México, se tienen datos que, aunque preliminares, indican una disminución en el uso de pesticidas y herbicidas, respectivamente.

Existen diferentes maneras de producir alimentos como son la agricultura convencional de alto insumo con variedades mejoradas, agricultura con variedades criollas adaptadas localmente, agricultura orgánica, uso de variedades genéticamente modificadas, etc. ¿Qué tanto las diferentes formas de producción van a contribuir a resolver los problemas alimentarios del país va a depender de varios factores, entre otros el acceso a estas formas de producción, las zonas donde se quieran y puedan aplicar diferentes tecnologías y los niveles de producción que se alcancen con las mismas. El gobierno de México no puede cerrarse de entrada a ningún tipo de producción, se debe poder elegir una manera de producir alimentos que sea adecuada a diferentes condiciones, capacidades de producción y vocación de suelos (CONAHCYT-CIBIOGEM, 2017)

6. Evaluación de riesgos y beneficios

La evaluación de riesgos y beneficios de las plantas transgénicas es un tema que ha generado un amplio debate en la sociedad y la comunidad científica. A medida que la tecnología de modificación genética se ha vuelto más accesible y común, es crucial

comprender y analizar cuidadosamente los posibles riesgos y beneficios asociados con ella.

La evaluación de riesgos y beneficios para las plantas transgénicas implica analizar y sopesar los posibles peligros y desventajas, así como las ventajas y beneficios asociados con el uso de estas plantas modificadas genéticamente.

En México, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y su Reglamento contienen disposiciones aplicables a las distintas actividades relacionadas con los OGMs, y tienen por objeto regular las actividades de utilización confinada; liberación experimental, en programa piloto y comercial; la comercialización, la importación y la exportación de OGMs, a fin de evitar riesgos a la salud humana, animal y acuícola, al medio ambiente y a la diversidad biológica. En México la siembra de maíz GM en fase experimental y piloto, al igual que para todos los otros cultivos de OGMs, está asociada a estrictas medidas de bioseguridad, de monitoreo y vigilancia por parte de las autoridades competentes para evitar el flujo de genes u otros posibles riesgos que puedan ser resultado de la siembra de OGMs sobre la biodiversidad del ambiente de liberación y/o

sobre otros cultivos convencionales cercanos CONAHCYT-CIBIOGEM. (2017)

En la evaluación de riesgos, se investiga la capacidad de las plantas transgénicas para sobrevivir y propagarse en el entorno natural, así como la posibilidad de que puedan causar daños al medio ambiente, incluyendo la contaminación genética de especies silvestres (Bauer-Panskus y col., 2020. Esta se basa en la evaluación de los rasgos genéticos introducidos y en la determinación de si esos rasgos tienen el potencial de ser perjudiciales para los ecosistemas y la biodiversidad de éstos.

La evaluación de beneficios, por otro lado, se centra en los posibles efectos positivos de las plantas transgénicas en la agricultura y en la sociedad en general. Se reconoce que las plantas transgénicas pueden aumentar la productividad agrícola, mejorar la resistencia a enfermedades y plagas, y reducir la necesidad de pesticidas y otros productos químicos agrícolas.

Existe una peculiar importancia de evaluar adecuadamente los posibles riesgos ambientales asociados con las plantas modificadas genéticamente (PMG) que pueden ser capaces de sobrevivir y reproducirse fuera de los cultivos. Estas PMG

persistentes pueden tener el potencial de afectar negativamente el equilibrio ecológico y la biodiversidad (Bauer-Panskus y col., 2020).

Respecto a los métodos empleados en la evaluación de riesgos de las PMG persistentes, se implica la necesidad de analizar cuidadosamente los rasgos genéticos introducidos en las plantas transgénicas para determinar si tienen el potencial de ser perjudiciales para el medio ambiente. Además, existen preocupaciones sobre el flujo genético, es decir, la transferencia de genes de plantas transgénicas a especies silvestres relacionadas (Bauer-Panskus y col., 2020).

El análisis de riesgos también incluye la evaluación de la capacidad de dispersión de las PMG persistentes, tanto a través del aire como por medio de la propagación vegetativa. Además, se estudia el potencial de las PMG para convertirse en malezas agrícolas y colonizar ecosistemas naturales (Bauer-Panskus y col., 2020).

7. Conclusiones

Las plantas transgénicas representan una vanguardia científica en la manipulación

genética de los organismos vegetales. A través de la introducción de genes provenientes de diversas fuentes, se logra conferir características específicas a estas plantas. Este proceso de modificación genética se materializa mediante técnicas sofisticadas como la transformación genética y la transferencia mediada por agrobacterias, lo que permite una manipulación precisa y dirigida de su genoma.

El propósito fundamental detrás de la ingeniería genética en plantas es la mejora de sus propiedades agronómicas, la fortificación de su resistencia contra plagas y enfermedades, y la optimización de su calidad nutricional. Estos avances han abierto la puerta a cosechas más productivas, cultivos más resistentes a adversidades climáticas y alimentos más ricos en nutrientes esenciales para la salud humana.

No obstante, es imperativo abordar la implementación de plantas transgénicas con la debida precaución y una regulación rigurosa. La consideración primordial radica en salvaguardar la integridad del entorno ambiental y la diversidad biológica. La liberación de organismos modificados genéticamente debe ser supervisada de cerca para mitigar riesgos potenciales y garantizar

que los beneficios derivados de estas plantas sean equitativos y sostenibles a largo plazo.

En última instancia, las plantas transgénicas encarnan un fascinante capítulo en la investigación biotecnológica, agrícola, textil y médica. Su potencial para revolucionar la seguridad alimentaria, el desarrollo sostenible y la exploración científica es innegable. Sin embargo, este poder innovador conlleva una responsabilidad ética y científica, exigiendo una evaluación minuciosa de los riesgos y beneficios involucrados en su empleo y una guía normativa que asegure que los avances tecnológicos se traduzcan en un mundo mejor y más equitativo para las generaciones presentes y futuras.

Las preocupaciones ambientales asociadas con el uso de plantas transgénicas, como la transferencia de genes a especies silvestres, la resistencia a plagas, la pérdida de diversidad genética y el riesgo de impactos ambientales no previstos concluyen en la necesidad de investigaciones exhaustivas y monitoreo continuo para evaluar y mitigar dichos riesgos. El debate y la controversia en torno al uso de plantas transgénicas se basan en desafíos y preocupaciones relacionadas con la transferencia génica, el uso de herbicidas, el impacto en los insectos benéficos y la homogenización genética. Sin embargo,

también se deben considerar los beneficios potenciales, como la eficiencia en el uso de recursos y el aumento de la productividad agrícola. Es fundamental implementar una regulación adecuada, una evaluación de riesgos rigurosa y un monitoreo constante para garantizar que el uso de plantas transgénicas sea seguro y sostenible desde el punto de vista ambiental.

La regulación y seguridad de las plantas transgénicas han sido objeto de debates y controversias. Mientras algunos defienden el principio de precaución como un enfoque adecuado para mitigar los posibles riesgos, otros, como Gregory Conko (2023), argumentan que las regulaciones basadas en este principio han sido excesivas y han limitado la innovación y los beneficios potenciales de los cultivos transgénicos. Es fundamental encontrar un equilibrio entre la protección de la salud y el medio ambiente y el fomento de la innovación agrícola, y basar las decisiones regulatorias en evidencia científica sólida.

La evaluación de beneficios debe considerar los posibles impactos negativos, como la dependencia excesiva de un solo cultivo transgénico, la pérdida de diversidad genética y los posibles efectos a largo plazo en la salud humana y animal (Rani y Usha, 2013).

Esta evaluación implica un análisis cuidadoso de los posibles peligros y desventajas ambientales, así como de los beneficios agrícolas y sociales. Es importante tener en cuenta tanto los aspectos positivos como los negativos antes de tomar decisiones relacionadas con la implementación y uso de plantas transgénicas.

Referencias bibliográficas

- Bauer-Panskus, A., Miyazaki, J., Kawall, K., y Then, C. (2020). Risk assessment of genetically engineered plants that can persist and propagate in the environment. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00301-0>
- Bawa, A. S., y Anilakumar, K. R. (2013). Genetically modified foods: safety, risks and public concerns-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1035-1046. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1>
- Bravo, A., Gómez, I., Porta, H., García-Gómez B.I., Rodríguez-Almazan, C., Pardo, L., y Soberon, M. (2013). Evolution of *Bacillus thuringiensis* Cry toxins insecticidal activity. *Microbial Biotechnology*, 6(1), 17-26. doi:10.1111/j.1751-7915.2012.00342.x
- Cherian, S., y Oliveira, M. M. (2005). Transgenic Plants in Phytoremediation: Recent Advances and New Possibilities. *Environmental Science and Technology*, 39(24), 9377-9390. <https://doi.org/10.1021/es051134l>
- CONAHCYT-CIBIOGEM. (2017). *Funciones de la CIBIOGEM*. <http://www.conahcyt.mx/cibiogem/cibiogem>
- Conko, G. (2003). Safety, risk and the precautionary principle: rethinking precautionary approaches to the regulation of transgenic plants. *Transgenic Research*, 12(6), 639-647. <https://doi.org/10.1023/b:trag.0000005157.45046.8e>
- Espinoza-Escalante, F.M. (2018). Biotecnología para la agricultura moderna. *Ciencia*, 69(4), 1-6
- Giddings, G., Allison, G., Brooks, D., y Carter, A. (2000). Transgenic plants as factories for biopharmaceuticals. *Nature Biotechnology*, 18(11), 1151-1155. <https://doi.org/10.1038/81132>
- Gunarathne, V., Gunatilake, S. R., Wanasinghe, S. T., Atugoda, T., Wijekoon, P., Biswas, J. K., y Vithanage, M. (2020). Phytoremediation for E-waste contaminated

sites. En M. N. V. Prasad, M. Vithanage, y A. Borthakur (Eds.), *Handbook of Electronic Waste Management* (pp. 141-170). Butterworth-Heinemann.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00005-X>

Huertas, R., Karpinska, B., Ngala, S., Mkandawire, B., Maling'a, J., Wajenjeche, E., Kimani, P.M., Boesch, C., Stewart, D., Hancock, R.D., y Foyer, C. H. (2023). Biofortification of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with iron and zinc: Achievements and challenges. *Food and Energy Security*, 12(2), e406.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fes3.406>

Krishna, R., Karkute, S. G., Ansari, W. A., Jaiswal, D. K., Verma, J. P., y Singh, M. (2019). Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: status and way ahead. *Biotechnology*, 9(4), 143.

<https://doi.org/10.1007/s13205-019-1665-0>

Kobayashi, K.; Wang, X.; Wang, W. (2023). Genetically Modified Rice Is Associated with Hunger, Health, and Climate Resilience. *Foods*, 12, 2776. <https://doi.org/10.3390/foods12142776>

Loza-Rubio, E. y Gómez-Lim, M.A. (2006). Producción de vacunas y otros compuestos

biológicos en plantas transgénicas. *Veterinaria Mexicana*, 37 (4),441-455.

Lorence, A., y Verpoorte, R. (2004). Gene transfer and expression in plants. *Methods Molecular Biology*, 267, 329-350. <https://doi.org/10.1385/1-59259-774-2:329>

Qaim, M. (2010). Benefits of genetically modified crops for the poor: household income, nutrition, and health. *Nature Biotechnology*, 27(5), 552-557. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.07.009>

Rani, S., y Usha, R. (2013). Transgenic plants: Types, benefits, public concerns and future. *Journal of Pharmacy Research*, 6(8), 879-883.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.08.008>

Raven, P. H. (2010). Does the use of transgenic plants diminish or promote biodiversity? *New Biotechnology*, 27(5), 528-533.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.07.018>

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

Villalobos-López, M.A.; Arroyo-Becerra, A.; Quintero-Jiménez, A.; Iturriaga, G. (2022). Biotechnological Advances to Improve Abiotic Stress Tolerance in Crops. *International Journal of Molecular Science*, 23, 12053. <https://doi.org/10.3390/ijms231912053>

Warzecha, H., y Mason, H. S. (2003). Benefits and risks of antibody and vaccine production in transgenic plants. *Journal of Plant Physiology* 160(7), 755-764. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01125>

Zhang, Y., y Yang, S. (2015). Methods for construction of transgenic plant expression vector: a review. *Chinese Journal of Biotechnology*, 31(3), 311-327.