

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Transgénesis: una aproximación a sus riesgos y beneficios

Liset Caridad Lara O'Farril^{1*} 

¹Centro de Genética Provincial, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

*Liset Caridad Lara O'Farril. lisetlo@infomed.sld.cu

Recibido: 03/03/2020 - Aprobado:16/07/2020

RESUMEN

Introducción: la transgénesis es una de las tecnologías más recientes y polémicas de los últimos tiempos. Consiste en la construcción de nuevas combinaciones de material genético por medio de la inserción de un ácido desoxirribonucleico de interés en un vector que le permita replicarse, mantenerse en las células del organismo receptor y expresarse.

Objetivo: identificar los principales riesgos y beneficios de la transgénesis.

Métodos: se revisó la literatura científica en el período de 2016 hasta 2020. Se utilizaron el Google académico y las bases de datos Pubmed y SciELO. Se revisaron 77 artículos, 30 cumplieron los criterios de inclusión.

Resultados: se identificaron los principales riesgos y beneficios de la transgénesis respecto a plantas (alimentos transgénicos), a animales y al hombre. Los defensores de esta tecnología plantean que una producción transgénica favorecería la producción agrícola y ganadera y la posibilidad de medicamentos y productos médicos; los detractores identifican una serie de riesgos para bienes jurídicos tan importantes como lo son la salud (individual y colectiva), el medio ambiente y la biodiversidad. Se agrega la repercusión negativa de las patentes de las grandes transnacionales.

Conclusiones: la Biotecnología ha permitido el avance científico-técnico y ha procurado una vida mejor, pero no hacer un uso reflexivo y controlado de este conocimiento podría poner en riesgo nuestra vida y la de futuras generaciones. La transgénesis no puede ser catalogada como buena o mala, es solo una herramienta, todo depende del uso controlado, racional, sostenible y consciente que se le de.

Palabras clave: transgénesis; organismos genéticamente modificados

ABSTRACT

Introduction: transgenesis is one of the most recent and controversial technologies of recent times. It consists of the construction of new combinations of genetic material by inserting a deoxyribonucleic acid of interest in a vector that allows it to replicate, remain in the cells of the recipient organism and express itself.

Objective: to identify the main risks and benefits of transgenesis.

Methods: scientific literature was reviewed in the period from 2016 to 2020. Academic Google, Pubmed and SciELO databases were used. Seventy-seven articles were reviewed, 30 of which met the inclusion criteria.

Results: the main risks and benefits of transgenesis were identified with respect to plants (transgenic foods), animals and humans. Proponents of this technology argue that transgenic production would favour crop and livestock production and the possibility of medicines and medical products; opponents identify a number of risks to such important legal assets as health (individual and collective), the environment and biodiversity. The negative impact of the patents of the large transnationals is added.

Conclusions: Biotechnology has allowed scientific-technical progress and has sought a better life, but not making a reflective and controlled use of this knowledge could put our lives and those of future generations at risk. Transgenesis cannot be catalogued as good or bad, it is only a tool, everything depends on the controlled, rational, sustainable and conscious use that is given to it.

Key words: transgenesis; organisms, genetically modified

INTRODUCCIÓN

En los últimos años grandes han sido los avances en el campo de las ciencias, lo que ha devenido, según algunos, en la tercera revolución científica.

La Biotecnología es una de las ciencias que se ha desarrollado a pasos agigantados y que contribuye a los aportes que la Física, la Química y la Informática por su parte le han ofrecido. Su impacto en la salud humana y la animal, en la agricultura y en la industria la revelan como una ciencia transformadora que ha traído enormes beneficios para la humanidad.

La transgénesis es una de las tecnologías más recientes y polémicas de los últimos tiempos; es tema de discusiones todo lo relacionado con los alimentos transgénicos. Unos hablan de presuntos riesgos y enormes posibilidades (los tecno-optimistas); otros, por el contrario, de enormes riesgos y pocas posibilidades (los tecno-catastrofistas). Pero la falta de transparencia informativa y una serie de estrategias poco afortunadas por parte de algunos han propiciado, en gran parte de la opinión pública, un clima de desconfianza y rechazo hacia los alimentos transgénicos.⁽¹⁾

La manipulación genética se inició desde los primeros pasos de la civilización humana, con la revolución del Neolítico, en el que se produce la domesticación de plantas y animales mediante procesos de selección artificial. Simultáneamente se descubrió la utilización de los microorganismos en los procesos de fermentación como la elaboración del pan, la cerveza y los derivados lácteos; sin embargo, la Genética como ciencia comenzó a mediados del siglo XIX, con los estudios de Gregor Mendel.⁽²⁾

En la década del 70 se construyó el primer animal transgénico (ratón) y se fundó la primera empresa de Ingeniería Genética, la *Genentech Incorporated*, que clonó el gen de la hormona somatostatina y que en 1978 construyó una cepa de *Escherichiacoli* (*E. Coli*) productora de insulina humana que sustituyó a las de vaca o cerdo utilizadas hasta el momento.⁽²⁾ En 1980 la Corte Suprema de los Estados Unidos autorizó patentes de OMGs (organismos modificados genéticamente):⁽³⁾ los primeros fueron bacterias modificadas capaces de limpiar

vertidos de petróleo. La posibilidad de patentar materiales biológicos fue un importantísimo incentivo en el desarrollo de compañías biotecnológicas, así se desarrollaron importantes productos como el fabricado por la compañía Chiron que comercializó la proteína de la cubierta del virus de la hepatitis B humano que al ser sintetizada de manera independiente del virus fue utilizada como vacuna desde 1987.⁽²⁾

La Ingeniería Genética en plantas nació en 1980, cuando se obtuvieron los primeros transgénicos mediante el sistema presente en la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* y el plásmido pTi. Un hito importante en la agricultura transgénica se produjo cuando la Federal Drug Agency declaró que los alimentos transgénicos no son inherentemente peligrosos y que no requieren regulaciones especiales. En 2000, 130 países aprobaron el Protocolo Internacional de Biosanidad que ordena identificar los alimentos transgénicos.⁽²⁾

La transgénesis ha devenido en grandes logros como la terapia génica y la producción de fármacos y alimentos, pero existe un profundo debate a su alrededor debido a las consecuencias negativas que podría provocar a nivel medioambiental ya la salud del hombre y a lo que representa la manipulación de genes humanos con fines muy lejanos a su bienestar lo que frena, de algún modo, el desarrollo de la Genética en este campo.

El objetivo del presente trabajo es identificar los principales riesgos y beneficios de la transgénesis.

MÉTODOS

Para la realización de la presente revisión bibliográfica se priorizaron los artículos publicados entre los años 2016 y 2020, excepto ocho de fecha anterior que se incluyeron por su importancia. Se revisaron artículos en los idiomas español e inglés. La búsqueda de la literatura se ejecutó con los siguientes descriptores: transgénesis, alimentos transgénicos, riesgos de los alimentos transgénicos para la salud humana, transgénesis y enfermedades genéticas, organismos genéticamente modificados. El motor de búsqueda usado fue Google académico, se usaron las bases de datos Pubmed, Scielo y Ebsco. Se identificaron 77 artículos, de los que se seleccionaron 30 por su relación con el presente trabajo: 15 son artículos de revisión, 11 artículos originales, dos tesis doctorales, una tesis de maestría y un libro electrónico.

DESARROLLO

La transgénesis consiste en la construcción de nuevas combinaciones de material genético por medio de la inserción de un ADN (ácido desoxirribonucleico) de interés en un vector que le permita replicarse y mantenerse en las células del organismo receptor y eventualmente expresarse. Mediante esta técnica se puede adicionar, sustituir o inactivar uno o varios genes en un organismo. El conjunto de técnicas moleculares que permiten la manipulación genética recibe el nombre de Ingeniería Genética.⁽²⁻⁴⁾

Este método recombina en el laboratorio material genético que proviene de distintas especies y que jamás se entrecruzarían en la naturaleza. Además de permitir que en un determinado organismo se introduzcan genes exóticos, la Ingeniería Genética obtiene resultados que son, en alguna medida, impredecibles respecto a la fisiología y la bioquímica de los nuevos organismos obtenidos.^(5,6)

Tiene aplicaciones en campos muy diversos como son la producción de compuestos de interés, la terapia génica y la modificación genética dirigida de especies con fines de mejora.⁽⁷⁾

Estas técnicas repercuten abiertamente en la sociedad porque inciden profundamente en diversos aspectos: sociales, éticos, médicos, ambientales, bélicos, religiosos, ideológicos, etc. La sociedad a menudo es reacia a estos cambios que se le pueden antojar antinaturales y peligrosos. Ciertamente la tecnología molecular genética presenta una potencialidad a veces muy superior a los conocimientos de los seres humanos y como cualquier otra técnica puede ser utilizada con fines antisociales. Es deber de los científicos la divulgación de los posibles avances y perjuicios que puedan tener estas tecnologías para que la sociedad decida libremente y con conocimiento de causa la aplicación que desee de ellas, partiendo del principio de que la información contenida en el ADN es un patrimonio que puede y debe ser utilizado para beneficio de la humanidad.^(2,3)

Independientemente de una nutrida discusión en torno a la modificación genética de los alimentos, con importantes consideraciones sobre los riesgos por una parte y los beneficios por la otra, existe una preocupación de organizaciones ecologistas como Green peace, Asociación vida sana, Eco justicia, Amigos de la Tierra, Bakeaz, Acsur y otras organizaciones más radicales, como es el caso de la Red para una América Latina sin transgénicos, por la falta de certeza absoluta de las consecuencias que puede implicar para los consumidores y para el ecosistema dentro del que se desarrollen estos alimentos.⁽⁵⁾

Las principales causas del dilema público entorno a la transgénesis son que actualmente se tienen pocos conocimientos en cuanto a los efectos adversos que podría acarrear a largo plazo para el ecosistema, la salud de los consumidores de alimentos transgénicos y la falta de información fidedigna principalmente. Se hace necesaria la realización de estudios dirigidos a evaluar estas áreas pesar de las limitaciones respecto al tiempo y al objeto de estudio en estos casos, en los que generalmente son animales de experimentación, y muchas veces las dosis de alimentos que se deben usar para llegar a un rango de seguridad son excesivas para el consumo.

Importancia y beneficios de la transgénesis

Los defensores de los productos transgénicos proponen no ya su inocuidad, sino su conveniencia por arrojar importantes beneficios sociales. Una producción transgénica favorecería la producción agrícola y ganadera (cosechas resistentes a plagas o a condiciones climatológicas adversas, multiplicación de cosechas, incremento notable de productos alimenticios que pudieran paliar el hambre y la carestía), la posibilidad de medicamentos y productos médicos, los xenotrasplantes, la selección de razas más productivas y resistentes, etc.⁽⁸⁾

Uno de los avances en este campo es que se convierte a las bacterias transgénicas en potentes biorreactores capaces de sintetizar productos de interés comercial, farmacéutico e industrial. Estos organismos permiten una producción a gran escala y a precios reducidos de proteínas humanas y productos tan variados como son el índigo, el ácido ascórbico, los aminoácidos, los antibióticos, los insecticidas, etc.⁽²⁾

Actualmente se construyen cepas bacterianas que desarrollan capacidades nuevas para el desarrollo de ciertas funciones de interés ecológico y sanitario que son capaces de degradar eficazmente compuestos tóxicos y contaminantes como el petróleo y el tolueno y sus derivados y, en general, productos de gran peligro ecológico y de difícil degradación (biorremediación). La liberación de estos OMGs en el ambiente plantea cuestiones de seguridad, por lo que suelen incorporar mecanismos de suicidio que se disparan una vez finalizada la misión descontaminante.⁽²⁾

La transgénesis ha permitido crear plantas inmunes a la acción de los insectos y permite obtener plantas que no requieran tratamientos insecticidas.^(2,9)

Una de las plantas transgénicas autorizadas en los Estados Unidos es el tomate "Flavr-Savr", al que se le ha inactivado la síntesis de una proteína causante del decaimiento del fruto. En estas plantas los tomates pueden ser recolectados ya maduros, y se mantienen sin decaer durante largos períodos de tiempo, sin necesidad de cámaras frigoríficas. Lógicamente las cualidades organolépticas de estos tomates son superiores a las de los "normales", que tienen que recogerse antes de la maduración y realizarla por medios artificiales.^(2,10)

Respecto a la visión futurista de las plantas transgénicas se habla a favor de la creación de plantas resistentes a metales pesados que sean incorporados en la misma para descontaminar vertidos: plantas frutales con mayor contenido en fructosa; café con el gen de la cafeína inactivado; plantas de lino y algodón con coloración; plantas resistentes a la sequedad y a la alta salinidad o que sean capaces de incorporar nitrógeno sin necesidad de recurrir a abonos, que sus semillas contengan todos los aminoácidos necesarios para la alimentación animal y humana y que incorporen ciertas vitaminas para su consumo en áreas de malnutrición; plantas resistentes a enfermedades víricas y que sinteticen vacunas; árboles de rápido crecimiento, menor contenido en lignina y mayor en celulosa; tabaco sin nicotina y plantas oleaginosas con aceites beneficiosos para el consumo humano, entre otros.^(3,11)

La transgénesis se aplica a todos los organismos con interés comercial.⁽¹²⁾ La empresa Aqua Bounty construyó un salmón atlántico transgénico que incorpora en su dotación genética el ADN codificante de la hormona del crecimiento del salmón real. La incorporación de estos genes ocasiona un crecimiento el doble de rápido que un salmón normal porque llega al tamaño adulto a los 17 meses frente a los 30 que tardan los salmones silvestres o de piscifactoría. Esto abarata enormemente los costes de producción y las características nutricionales y organolépticas son idénticas a las del salmón silvestre; sin embargo, su comportamiento es diferente porque es un animal más voraz y agresivo que sus congéneres no modificados genéticamente. Para evitar la propagación descontrolada de este organismo cuando eventualmente pueda escapar de las

piscifactorías, la construcción ha sido diseñada para que estos animales sean exclusivamente hembras y estériles; sin machos y sin fertilidad difícilmente será posible su reproducción.⁽¹³⁾

Se han construido vacas transgénicas de forma que su leche produzca más caseína, proteína mayoritaria de la leche y base del queso; de esta manera se incrementa la producción de queso a partir de la misma cantidad de leche. Estas vacas transgénicas se obtienen mediante la inserción de genes codificantes de caseína unidos a señales reguladoras que aumentan su expresión en glándulas mamarias. Aunque sean OMGs no se diferencian básicamente de razas que hayan sido obtenidas mediante la selección de un carácter (en este caso leche con alto contenido en caseína). La diferencia estriba en que la selección natural es un proceso largo en el tiempo (siglos), mientras que con las técnicas de transgénesis se puede llegar al mismo resultado en un breve plazo de tiempo (años). Mediante la inserción de ciertos genes víricos en el genoma de los animales se puede conseguir su inmunización a infecciones que disminuyen o incluso aniquilan poblaciones ganaderas, como por ejemplo, la difteria.^(13,14)

A juicio del autor la aplicación de la transgénesis en bacterias y plantas ha constituido un gran reto del que se esperan grandes beneficios pues la propiedad de biorremediación y biodegradación de las bacterias podría usarse a gran escala en un sin número de accidentes que a menudo ocurren, como el citado anteriormente del vertido de petróleo, en los que muchas veces el hombre cuenta con pocas herramientas para controlarlo o pudiera usarse en los casos de contaminación por radiaciones u otras sustancias corrosivas. Respecto a su uso en plantas quizás constituya un camino en el que existen grandes desafíos pues no es menos cierto que la población mundial cada día va en ascenso y la disponibilidad de alimentos se presenta inversamente proporcional a este crecimiento y quizás el uso de alimentos transgénicos podría ser una vía para corregir esta situación, pero para ello primero hay que estar bien seguros de que la salud de los consumidores no corre ningún riesgo y que no se afecten el ecosistema y la biodiversidad porque el desarrollo de la ciencia debe ir encaminado al bienestar de la biosfera y de todos los que la habitamos y no a su destrucción.

Se han creado granjas farmacéuticas⁽¹⁵⁾ en las que se obtienen productos como la hormona de crecimiento humano, la insulina, el interferón, etc; para esto se aísla el ADN codificante responsable y se une a señales de expresión en glándulas mamarias. Los bovinos transgénicos así construidos expresarán el ADN de interés exclusivamente en las glándulas mamarias, con lo que el desarrollo del animal no sufrirá alteraciones porque el producto de interés solo se producirá en la glándula mamaria y se acumulará en la leche y como la composición de la leche es muy sencilla, la purificación del producto de interés será un procedimiento fácil y barato.⁽¹³⁾

Ejemplo de productos generados en granjas biofarmacéuticas son los obtenidos por la empresa BioSidus:

- Eritropoyetina (EPO)
- Filgrastim
- Somatropin

- Lenograstim
- Probióticos intestinales

Otros productos transgénicos creados por la industria farmacéutica son:

- 1,34 hormonas paratiroidea: droga anabólica para el tratamiento de la osteoporosis con alto riesgo de fractura
- Estreptoquinasa: enzima trombolítica utilizada en el tratamiento del infarto del miocardio, la embolia y la trombosis
- Interferón 1b: indicado para la esclerosis múltiple
- FSH (Folicle Stimulatin Hormone): indicada en la infertilidad
- Alfagalactosidasa: enzima para la terapia de reemplazo en la enfermedad de Fabry
- Beta glucocerebrosidase: enzima para terapia de reemplazo en la enfermedad de Gaucher tipo I
- Rituximab: anticuerpo monoclonal quimérico en el tratamiento del linfoma no Hodgkin y la artritis reumatoide
- Entanercept: tratamiento de la artritis reumatoide.

Además se trabaja en la producción de péptidos con actividad antibiótica en la leche de bovinos transgénicos.⁽¹³⁾

La terapia génica es otro de los grandes aportes. La transgénesis en la línea germinal humana está prohibida en las legislaciones de todos los países, es decir, no está permitida la modificación genética de células reproductoras o de embriones bajo ningún concepto; sin embargo, se puede realizar la manipulación genética de células somáticas (células que mueren con el individuo y que no se perpetúan al no formar parte de la línea reproductiva). Así se abre una poderosísima herramienta para la corrección de defectos genéticos hereditarios causantes de diversas enfermedades mediante la sustitución del gen defectuoso por una copia del gen "sano".^(2,16)

Una terapia anticancerígena en fase de estudio es la inserción en las células del tumor de genes que tras su expresión transforman un compuesto inocuo en uno de carácter tóxico que mata a las células. Así que la administración de este producto no afectaría a las células del individuo sino que solo mataría a las células transgénicas (tumoraes).⁽²⁾ La transgénesis se ha usado en el estudio de síndromes genéticos o enfermedades crónicas,^(17,18) así como en el trasplante de órganos de animales a humanos, el llamado xenotrasplante.

Mediante la inserción de determinados genes en ratones y animales de otras especies se pueden estudiar, a ciencia cierta, las enfermedades, saber cómo funcionan y probar diferentes tratamientos hasta encontrar el mejor.⁽¹⁹⁻²¹⁾

En opinión del autor un hito cardinal en la transgénesis ha sido su aplicación en la industria biofarmacéutica, la terapia génica y el estudio de la fisiopatología de varias enfermedades, lo que ha contribuido a salvar y aumentar la calidad de vida de muchas personas, con el inconveniente de que no todos tienen acceso a estos recursos y de que, en la mayoría de los casos, los que tienen el dinero suficiente son los únicos en disfrutarlos y quedan miles de personas que hoy día mueren por falta de tratamientos como el caso de los que padecen de errores innatos del metabolismo y necesitan terapias de reemplazos inaccesibles por sus altos costos. Es una necesidad, más que obligación, transferir tecnologías a países

subdesarrollados con el objetivo de salvar vidas humanas y satisfacer sus necesidades básicas. Respecto a la edición de genes en humanos esta debe ir encaminada a resolver lo concerniente al tratamiento de enfermedades sufridas por el hombre y no en vista de crear superhombres con fines eugenésicos, se debe respetar la no modificación de nuestra línea de células germinales y trabajar solo en la línea de células somáticas para evitar modificar el genoma de los hombres del futuro.

Riesgos y efectos negativos de la transgénesis

Los detractores de los productos transgénicos identifican una serie de riesgos para bienes jurídicos tan importantes como lo son la salud (individual y colectiva), el medio ambiente y la biodiversidad. En este sentido la Ingeniería Genética alteraría todas las limitaciones que la propia naturaleza pone para la relación entre organismos de especies alejadas o no emparentadas. Se argumenta que la manipulación operada en un producto transgénico no solo puede afectar a la salud del ser humano que los usa o consume sino al medio ambiente (afecta a la flora cuando se trata de productos vegetales) o a la biodiversidad (por eliminar especies o invadirlas).⁽²²⁾

Desde una perspectiva ecológica hay una seria preocupación a la introducción de transgénicos en la naturaleza.⁽²³⁾ Por un lado existe la posibilidad de que los genes puedan transferirse de unas plantas a otras, con lo que podría causarse un caos ecológico si se extendieran sin control ciertos genes, como por ejemplo gen codificante de Bt (*Bacillus Thuringiensis*), porque ocasionaría la desaparición de los insectos con los inimaginables efectos que esta situación tendría sobre la vida en la tierra; sin embargo, estos genes no son nuevos, existen y están presentes en la naturaleza, y no se transfieren de unas especies a otras, sino que existe una importantísima contención biológica para la propagación de genes entre especies,⁽²⁾ pero el peligro de expansión de un carácter entre plantas de la misma especie (transgénicas y no transgénicas) es real a través de polinizaciones cruzadas.⁽²⁴⁾

Los miedos a los posibles efectos destructores sobre la salud de las personas y sobre el medio ambiente han ocasionado una restricción importantísima de su utilización en la agricultura, con ciertas excepciones que son cultivados intensamente sin que se haya detectado efecto adverso alguno.⁽²⁾

Es importante destacar que una vez que se decida utilizar los cultivos transgénicos las personas a cargo deben realizar un uso consciente y responsable de ellos y tomar una serie de medidas de contención para evitar el escape al medio del polen de plantas transgénicas que pudiera conllevar a la polinización cruzada y a la pérdida de la biodiversidad producto de la migración de genes o del flujo de genes, lo que amenaza la extinción de especies salvajes o criollas.

Desde el punto de vista económico-social es muy probable que se cree una dependencia económica de los agricultores a las grandes empresas que comercializarían las plantas transgénicas y los productos relacionados. Como por ejemplo, la Monsanto Company, multinacional estadounidense productora de agroquímicos y biotecnología destinados a la agricultura, con sede en San Luis, en el estado Missouri, ha construido plantas de soja resistentes al herbicida

glifosato que son comercializadas junto con el propio herbicida, de modo que los campos cultivados con estas plantas pueden ser tratados con glifosato para eliminar las malas hierbas porque las plantas de interés son resistentes a este producto.⁽²⁾

Los transgénicos se diseñaron desde un modelo de producción industrial que tiende a la monopolización del mercado agrícola. Muchos plantean que se crearon para servir a las corporaciones; los gobiernos de todo el mundo se encuentran continuamente presionados por esas gigantescas compañías que buscan todo tipo de facilidades para vender masivamente y a cualquier costo social y ambiental sus mercancías.⁽²⁵⁾

Las secuencias transgénicas están patentadas,⁽²⁶⁾ no son públicas sino que tienen dueño, pertenecen a corporaciones particulares y, al contaminar los cultivos de maíz nativos, por ejemplo, que son bienes públicos, sus semillas pueden ser intercambiadas sin restricciones de título de propiedad. Lo anterior abre la posibilidad de que ese recurso público se vuelva privado, y eso tendría consecuencias muy importantes para el mantenimiento a largo plazo de la diversidad. La introducción de este paquete tecnológico aumenta la dependencia de los agricultores respecto a las grandes empresas transnacionales proveedoras de semillas e insumos agrícolas.^(25,27)

La concentración y la explotación privada de estas tecnologías en manos de un pequeño conjunto de empresas transnacionales podría no solo generar las condiciones para que haya abusos de posición dominante por parte de las empresas (precios excesivamente altos de las semillas o los agroquímicos), sino también hacer que la investigación en OGMs se oriente exclusivamente en función de los criterios de rentabilidad privada de las firmas al ignorar las necesidades de los agricultores o mercados que no sean atractivos desde el punto de vista económico.⁽²⁵⁾

Existen casos de campesinos que han sido demandados y encarcelados por empresas como la Monsanto por haber utilizado, sin darse o no cuenta, sus productos "legalmente patentados" sin autorización. Un ejemplo es el de la familia Thomassen, de Louisiana, Estados Unidos, que fue demandada por más de un millón de dólares por Monsanto después de que, sin saberlo, sembraron algodón transgénico de esa empresa. La familia compró semillas sin marca y no sabían que estaban usando semillas patentadas de Monsanto, por lo que perdieron la demanda y tuvieron que declararse en bancarrota.⁽²⁸⁾

La mercantilización de la vida se ha hecho presente con el advenimiento de las patentes biotecnológicas de las grandes transnacionales; hoy los seres humanos somos capaces de reprogramar las células y crear especies que antes no existían de acuerdo a intereses económicos, sociales, políticos y culturales. Estas patentes constituyen una amenaza para la comunidad científica pues los que no tienen acceso a ellas no pueden reproducir estas investigaciones, ni tan siquiera utilizarlas; además crean una mayor dependencia de los campesinos y países subdesarrollados a los países ricos y a las transnacionales porque se han creado mecanismos moleculares que impiden la reutilización de las semillas para las cosechas sucesivas y el campesino tiene que pagar regalías al creador o la mejorador de estos OGMs.

Entre los riesgos a la salud humana está el uso de los herbicidas como el glifosato, que se considera un herbicida sistémico de amplio espectro debido a que se propaga a lo largo de la planta, desde las hojas a las raíces o viceversa. El 80% de los cultivos modificados genéticamente, particularmente de maíz, soya, canola, algodón y remolacha, están dirigidos específicamente a la introducción de genes resistentes al glifosato. El mecanismo de acción del glifosato se basa en inhibir la enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), que es la penúltima enzima en la síntesis de aminoácidos aromáticos en la ruta del ácido shikímico, lo que impide la formación de triptófano, tirosina y fenilalanina (aminoácidos esenciales). Se presume que este no es dañino para los seres humanos debido a que esta vía metabólica está ausente en ellos; sin embargo, está presente en las bacterias del intestino, que desempeñan un papel importante en la digestión, la síntesis de vitaminas, el metabolismo de xenobióticos, la homeostasis del sistema inmune y la permeabilidad del tracto gastrointestinal. Los residuos que se encuentran en diversos alimentos disminuyen los niveles de citocromo P450 (que metaboliza sustancias tanto endógenas como exógenas) de un 45 a un 54% luego de una exposición de 90 días.⁽²⁹⁾ Ambos efectos actúan sinérgicamente para el desarrollo de diversas enfermedades incluidos los trastornos gastrointestinales, la diabetes, la depresión, el autismo, la infertilidad, el cáncer y el Alzheimer; su aparición se relaciona al tiempo de exposición.⁽³⁰⁾

Exposiciones prolongadas al glifosato se asocian a la infertilidad porque inducen modificaciones a nivel endometrial, aumentan el número de células del estroma y disminuyen los valores séricos de progesterona. El estudio en ratas mostró malformaciones, alteraciones neuronales y cardíacas en embriones, así como la muerte de células germinales y testiculares.⁽³⁰⁾ En otros estudios se ha encontrado la producción de necrosis y apoptosis en células de la placenta humana, del embrión y del cordón umbilical al igual que de tejidos endocrinos y daños al ADN y a órganos que participan en la desintoxicación del organismo.⁽²⁹⁾

Otra de las enzimas inhibidas por el glifosato es la aromatasas, que participa en el metabolismo del estrógeno. Debido a su acción como disruptor endocrino puede imitar al estrógeno uniéndose a sus receptores, por lo que tiene la capacidad de acelerar el crecimiento de células de cáncer de mama en cultivo de tejidos.⁽³⁰⁾

Recientemente, los científicos han encontrado restos del peligroso químico glifosato en la orina de casi una de cada dos personas.⁽³⁰⁾

Otro riesgo importante de la transgénesis es que gran parte de las transferencias genéticas y de las multiplicaciones de genes son mediadas por vectores, los que portan consigo algunas particularidades indeseables: en ocasiones provienen de virus patógenos, de plásmidos bacterianos y de otros elementos genéticos móviles (transposones) con capacidad para insertarse en el genoma celular receptor y dañarlo; pueden transgredir las barreras entre especies, generar resistencia antibiótica y aún superar los mecanismos de defensa que le permitirían al organismo receptor identificar y destruir el ADN extranjero. Los riesgos anotados son difíciles de cuantificar y, de alguna manera, son los que permiten diferenciar este procedimiento inédito del procedimiento convencional o tradicional.⁽⁵⁾

Gran parte de la controversia sobre los alimentos genéticamente modificados gira en torno de hasta que punto son un riesgo y si vale la pena correrlo. Entre los riesgos y las preocupaciones en esta área están los siguientes:

- Alergias: los genes codifican proteínas y algunas de estas pueden provocar alergias.

Son diversas las consecuencias de las alergias a los alimentos y la especial sensibilidad a éstos. Una reacción severa es el choque anafiláctico. Hay consecuencias menos severas, entre las que se encuentran la miliaria común y los efectos de malestar generalizado o gastrointestinal como diarrea o estreñimiento. La sensibilidad a los alimentos puede durar desde horas hasta días y pasar inadvertida por los exámenes de rutina utilizados para detectar alergias.

Un ejemplo del efecto alergénico de los transgénicos fue el caso del intento de obtención de una soja transgénica con genes de la nuez de Brasil. La proteína principal de la nuez contiene un potente alérgeno que ocasionó que se suscitara alergia a la soja por parte de las personas que son sensibles a la proteína de la nuez de Brasil, a pesar de que las evaluaciones hechas con anterioridad a la comercialización de la soja mostraron resultados negativos. Por esa razón, el intento de obtención de una nueva soja tuvo que ser abandonado.

- Resistencia a antibióticos: para probar el éxito de la modificación genética practicada, en gran parte de los casos, se utilizan genes marcadores que tienen la característica de ser resistentes a algún antibiótico y se ha demostrado que fragmentos de ADN pueden transferirse a la flora intestinal humana nativa.

Adicionalmente es importante destacar que la transferencia de resistencia antibiótica a los microorganismos que se desarrollan en el sistema intestinal es particularmente riesgosa en el caso de los grupos de alto riesgo.

Una mutación en un gen de resistencia a un determinado antibiótico puede generar resistencia a todos los antibióticos de una misma familia; esta propiedad es transmitida a las siguientes generaciones. La situación sería extremadamente grave para individuos con inmunodeficiencia, ya sean personas con VIH (síndrome de inmunodeficiencia humana), leucemia o enfermos de cáncer que reciben radioterapia.

- Preocupaciones por el uso de virus en las modificaciones genéticas: como es sabido, en la construcción de los alimentos genéticamente modificados se insertan también secuencias genéticas de virus para activar los genes de interés introducidos (conocidos como promotores); sin embargo, los efectos que estos fragmentos de virus pueden tener para la salud de los consumidores han sido poco estudiados.

- Otros: los efectos tóxicos de los alimentos transgénicos pueden llegar a ser severos e, incluso, letales. Si bien no es muy probable que se comercialice un alimento dañino, cantidades imperceptibles de ciertas sustancias que escapen a las pruebas de rutina de laboratorio o que no se encuentran contempladas en estas pueden acarrear efectos negativos a partir de su presencia y eventual acumulación en el organismo humano. Este fue el caso del suplemento alimentario L-triptófano obtenido a partir de la bacteria *Bacillus amylolique faciens* genéticamente modificada que ocasionó una condición denominada mialgia eosinofílica, síndrome caracterizado por graves dolores musculares (mialgia) y

por un incremento anormal de los leucocitos (eosinofilia), que provocó la muerte de al menos 37 personas, además de daños permanentes a 1 500 individuos en los Estados Unidos entre 1989 y 1991.⁽⁵⁾

- Posibilidad de alterar el contenido nutritivo: un estudio independiente encontró que una variedad de soya transgénica específica contenía menores cantidades de fitoestrógenos que lo esperado. Si bien es cierto que los cambios en calidad y cantidad de nutrientes en los alimentos se presentan de forma natural, es preocupante el desconocimiento o la falta de evidencia que se tiene sobre los efectos que estas variaciones puedan tener sobre los organismos porque la manipulación genética hace que se acumulen en mayor cantidad estas variaciones al reducirse la posibilidad de alternar variedades que podrían subsanar las alteraciones precitadas.⁽⁵⁾

CONCLUSIONES

La Biotecnología ha permitido el avance en el campo científico-técnico y ha procurado una vida mejor, pero al no hacer un uso reflexivo de este conocimiento se podría poner en riesgo la vida y la de futuras generaciones.

La transgénesis no puede ser catalogada como buena o mala, es solo una herramienta en la que todo depende del uso controlado, racional, sostenible y consciente que se le de.

No es menos cierto que la población en el planeta va en crecimiento y que los recursos con que se cuentan no son suficientes para alimentar a toda esta masa poblacional, por lo que se debe buscar la forma en que las nuevas tecnologías sean aprovechadas en este sentido, es decir, si se tiene una agricultura más productiva y se incrementan los rendimientos de las explotaciones, pero a la vez si se evitan la destrucción del medio ambiente y los daños a la salud humana, por lo que se necesita la educación de agricultores, empresarios y consumidores.

Es necesario acabar con los efectos negativos que traen consigo las patentes biotecnológicas que producen la mercantilización de la vida, frenan el desarrollo científico en muchos casos e incumplen con el principio de que la información contenida en el ADN es un patrimonio que puede y debe ser utilizado para beneficio de la humanidad.

Es pertinente brindar una información válida de las alternativas que ofrece la transgénesis, lo que permitirá la participación libre de las personas en la toma de decisiones. Los consumidores tienen derecho a recibir información veraz sobre los productos que van a consumir, sobre los beneficios de los que podrían gozar y los posibles daños que podrían sufrir. De este modo cuentan con toda la información necesaria para optar entre consumirlos o no.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mora Sánchez JM. Algunas implicaciones éticas y jurídicas de los transgénicos. Opinión Jurídica [Internet]. 2003 [citado 08/01/2020];2(3):87-96. Disponible en: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/opinion/article/view/1337/1359>

2. Tormo Garrido A. Fundamentos de la transgénesis. Reduca [Internet]. 2012 [citado 08/01/2020];5(4):1-30. Disponible en: <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/978/984>
3. Montanari AL. Estudio del proceso de apropiación por patentes de la tecnología de transgénesis vegetal en argentina [tesis de Maestría]. Argentina: FLACSO; 2014 [citado 08/01/2020]. Disponible en: https://flacso.org.ar/wp-content/uploads/2013/07/Montanari_Ana-C09-10.pdf
4. Capó Martí MA. Aspectos ecogenéticos y legislativos aplicados a la transgénesis de animales y alimentos [tesis doctoral]. España: Universidad Complutense de Madrid; 2016 [citado 08/01/2020]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/38902/1/T37692.pdf>
5. Aparisi Miralles A. Alimentos transgénicos y derecho humano a la salud. Cuad Bioét [Internet]. 2004 [citado 08/01/2020];15(53):59-76. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/324039903.pdf>
6. Nogueira Furtado R. Gene editing: the risks and benefits of modifying human DNA. Revbioét [Internet]. 2019 Apr-Jun [citado 08/01/2020];27(2):223-33. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-80422019000200223&script=sci_arttext&tlng=en. <https://doi.org/10.1590/1983-80422019272304>
7. Fuentes F, Reynolds E, Lewellis SW, Venkiteswara G, Knaut H. A plasmid set for efficient bacterial artificial chromosome (BAC) transgenesis in Zebrafish. G3: Genes, Genomes, Genetics [Internet]. 2016 [citado 08/01/2020];6(4):829-834. Disponible en: <https://www.g3journal.org/content/6/4/829>. <https://doi.org/10.1534/g3.115.026344>
8. Lacadena Calero JR. Historia "Nobelada" de la Genética (1900-2016). Concepto y Método. Segunda Addenda [Internet]. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2016. Disponible en: <http://segenética.es/jrl/Historia-nobelada-JRLacadena.pdf>
9. Rousselière D, Rousselière S. Is biotechnology (more) acceptable when it enables a reduction in phytosanitary treatments? A European comparison of the acceptability of transgenesis and cisgenesis. PLoS One [Internet]. 2017 [citado 08/01/2020];12(9):e0183213. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0183213>. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183213>
10. Héctor Ardisana E, Pérez Álvarez S, Moreira Macías R, Millet Gaínza B. Perspectivas futuras e impacto social de las biotecnologías vegetales. Alternativas [Internet]. 2016 [citado 08/01/2020];17(2):44-51. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7371191.pdf>. <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v17i2.116>
11. Gómez-Tatay L, Aznar J. CRISPR-Cas9. El mayor avance en técnicas de edición genética requiere una reflexión Ética. Cuad Bioet [Internet]. 2019 [citado 08/01/2020];30(99):171-185. Disponible en: <http://aebioetica.org/revistas/2019/30/99/171.pdf>
12. Tonelli F, Lacerda S, Tonelli F, Costa G, Franca LR, Resende R. Progress and biotechnological prospects in fish transgenesis. Biotechnol Adv [Internet]. 2017 Nov [citado 08/01/2020];35(6):832-844. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975017300617>. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.06.002>
13. Gutman GE, Lavarello P. Desarrollo reciente de la moderna biotecnología en el sector de la salud humana. Argentina: CEUR-CONICET; 2010. Disponible en: <http://ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/MBenSHDocumento2.pdf>

14. Garrels W, Talluri TR, Apfelbaum R, Carratalá YP, Bosch P, Pöttsch K, et al. One-step multiplex transgenesis via sleeping beauty transposition in Cattle. *Sci Rep* [Internet]. 2016 [citado 08/01/2020];6:21953. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4764937/>. <https://dx.doi.org/10.1038/srep21953>
15. Bevacqua RJ, Fernández-Martin R, Canel NG, Gibbons A, Texeira D, Lange F, et al. Assessing Tn5 and Sleeping Beauty for transposition altransgenesis by cytoplasmic injection into bovine and ovine zygotes. *PLoS One* [Internet]. 2017 [citado 08/01/2020];12(3):e0174025. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5354444/>. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0174025>
16. Marfany G. Interrogantes y retos actuales de la edición genética. *Rev Bioét Der* [Internet]. 2019 [citado 08/01/2020];47:17-31. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n47/1886-5887-bioetica-47-00017.pdf>
17. Laugsch M, Sergiy Velychko M, Richter C, Zimmer A, Klink B, Schröck E, et al. Functional restoration of gp91phox-oxidase activity by BAC transgenesis and gene targeting in X-linked chronic granulomatous disease iPSCs. *Mol Ther* [Internet]. 2016 Apr [citado 08/01/2020];24(4):812–822. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4886927/>
18. Gude NA, Firouzi F, BroughtonKM, Ilves K, NguyenKP, PayneCR, et al. Cardiac c-kit biology revealed by inducible transgenesis. *Rev Circ Res* [Internet]. 2018 Jun [citado 08/01/2020];123(1):57–72. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6192707/>. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.311828>
19. Astell KR, Sieger D. Zebrafish in vivo models of cancer and metastasis. *Cold Spring Harb Perspect Med* [Internet]. 2020 Aug [citado 01/09/2020];10(8):a037077. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31615862/>
20. Iver A, Subramanian L, Tole S. Organotypic explants of the embryonic rodent hippocampus: An accessible system for transgenesis. *Bio Protoc* [Internet]. 2018 Mar [citado 08/01/2020];8(6):e2764. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5884433/>. <https://dx.doi.org/10.21769/BioProtoc.2764>
21. López P, Giles K, Dugger B, Oehler A, Condello C, Krejciova Z, et al. A novel vector fortransgenesis in de rat CNS. *Acta Neuropathol Commun* [Internet]. 2017 [citado 08/01/2020];5(84):1-14. Disponible en: <https://actaneurocomms.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s40478-017-0484-y>
22. Bachmann Fuentes RI. Evaluación de riesgos derivados de los organismos modificados genéticamente y la adopción de medidas de emergencia en el marco de la Unión Europea. *RCDA* [Internet]. 2019 [citado 08/01/2020];10(1):1-45. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/rcda/article/view/359764/451787>
23. Reyes Rodríguez M. Transgénesis en plantas: miradas diferentes. *Rev Órbita Científica* [Internet]. 2018 [citado 08/01/2020];24(102):[aprox. 6 p.]. Disponible en: <http://revistas.ucpejv.edu.cu/index.php/rOrb/article/view/484/716>
24. Oviedo-Bolaños K, García-González J, Solano-González S, Martínez-Debat C, Sancho-Blanco C, Umaña-Castro R. Detección de p35S indicador transgenicidad en alimentos y algodón. *Agron Mesoam* [Internet]. 2020 [citado 01/09/2020];31(1):209-221. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v31n01_209.pdf
25. Casquier J, Ortiz R. Las semillas transgénicas: ¿un debate bioético? *Derecho PUCP* [Internet]. 2012 [citado 01/09/2020];(69):281-300. Disponible en: <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r31737.pdf>

26. Rojas Arias AC. Estudio del efecto del genotipo vegetal, cepa de *Agrobacterium tumefaciens*, y casete de expresión, en la expresión de la tolerancia a glifosato en variedades colombianas de soya [tesis doctoral]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia;2017 [citado 08/01/2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/59344/1/1032360429.2017.pdf>
27. Lopez Baroni M. Las tres Europas ante la encrucijada genómica. *Rev Bio Der* [Internet]. 2019 [citado 08/01/2020];47:77-92. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v31n01_209.pdf. <https://doi.org/10.1186/s40478-017-0484-y>
28. González Cruz J. La industria transgénica: Expropiación de la vida. *Nómadas* [Internet]. 2011 [citado 08/01/2020];30(2):217-232. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/NOMA/article/view/36585/35418>
29. Peña Ahues NL, Gutiérrez Cárcamo FM, Alvayero Henríquez GM, González Batarse RI, Garzona Jiménez EA. Consumo y regulación de alimentos transgénicos contaminados con Glifosato y su repercusión en la salud. *Rev SScientifica* [Internet]. 2017[citado 08/01/2020];15(1):35-39. Disponible en: https://redib.org/Record/oai_articulo1443585-consumo-y-regulaci%C3%B3n-de-alimentos-transg%C3%A9nicos-contaminados-con-glifosato-y-su-repercusi%C3%B3n-en-la-salud
30. Serpa I, Calvo K, Torres Monserrat V, Carbonaro M, Martínez MA, Rodríguez M, et al. Efectos del glifosato sobre el endometrio de ratas hembras. *Reproducción* [Internet]. 2015 [citado 08/01/2020];30(1):14-25. Disponible en: http://www.samer.org.ar/revista/numeros/2015/Numero_1/6_7_8.pdf

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara no tener conflicto de intereses.