



UNIVERSIDAD
DE CHILE

Organismos genéticamente modificados: perspectivas y legislación

Ensayo monográfico

Monografía para la obtención del grado de
Bachiller en Ciencias Naturales y Exactas

Presenta

Iyaray Céspedes Navarro

Bajo la dirección de

Claudia Stange Klein

Santiago, 22 de Diciembre de 2021.

Índice

Índice	1
Resumen	2
Introducción	3
Desarrollo	7
• ¿Por qué estar en contra de los OGMs?	7
1. Medio Ambiente:	7
2. Factor socioeconómico:	9
3. Hambre:	10
4. Implicaciones para la salud humana:	11
• ¿Por qué estar a favor de los OGMs?	12
5. Medio Ambiente:	12
6. Factor socioeconómico:	15
7. Hambre:	16
8. Implicancia para la salud humana:	16
• Legislaciones acerca de los OGMs:	18
9. Unión Europea	18
10. Chile.....	19
Conclusiones	22
Referencias	24
Anexo	35

Resumen

La ingeniería genética es una disciplina que se ha masificado de forma exponencial en el último tiempo. Una de sus aplicaciones más conocidas, es el desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados (OGMs), que corresponden a una temática bastante controversial en el último tiempo, haciendo que la población tome una postura a favor o en contra, cada una con sus respectivos argumentos. Esta dualidad de pensamiento se ve reflejada en la legislación respecto a los OGMs que existe en diferentes países. En el caso de Chile (y en contraste con legislaciones como la del continente europeo (UE), que es bastante más avanzada), no se posee una reglamentación clara que permita la incorporación de estos alimentos al consumo humano, a pesar que en el país se produce una gran cantidad de semillas OGM para su exportación. De acuerdo a la revisión realizada, se puede concluir que los OGMs pueden ser tan “sanos o dañinos” como los alimentos no OGM. Por lo tanto, se debe trabajar en educar a la población respecto al tema y legislar de forma correcta y óptima (basándose en evidencias científicas), respetando el parámetro ético, para tener un mejor desarrollo de la disciplina que, en conjunto con otras medidas, podría ayudar a enfrentar los desafíos de la humanidad a corto y largo plazo.

Palabras claves: Ingeniería genética, Organismos Genéticamente Modificados, Visiones acerca de los OGMs, Legislación de OGMs en Chile y la UE.

Introducción

La ingeniería genética se define como un conjunto de técnicas que permiten aislar y manipular el ADN de una célula para introducirlo en otra, de forma que se modifica su contenido genético (Gómez, 2013). Este concepto es relativamente nuevo, pues, si bien, fue acuñado por primera vez en el Congreso Internacional de Genética de 1932 (donde se define como la aplicación de principios genéticos a la cría de animales y plantas (Crow, 1992)), mucho antes que se postulara el modelo del ADN (Herraez, 2012); no es hasta 1973 (después de varios avances asociados), cuando Stanley N. Cohen, Herbert W. Boyer, Annie C.Y. Chang y Robert B. Helling publican *Construction of Biologically Functional Bacterial Plasmids In Vitro*, que se considera el verdadero inicio de la disciplina, pues, nace uno de los pilares de ella: la técnica de ADN recombinante (Gómez, 2013; Bera, 2009). En aquel artículo, se detallan los experimentos en los que se introdujeron segmentos específicos de ADN en plásmidos para clonar hebras de material genético precisas y previamente seleccionadas (Bera, 2009).

Sin embargo, esta historia comienza mucho antes de lo que cree, ya que, pese a que puede sonar como una disciplina compleja y sofisticada, ha estado presente en la historia de la humanidad desde mucho antes de que se tuviera noción de términos como “gen”, “ADN” o “herencia”, pues, los seres humanos llevan varios siglos “manipulando genéticamente” el crecimiento de plantas y animales para su beneficio (Wolff & Lederberg, 1994). Por ejemplo, en el caso de la agricultura, estas modificaciones se han realizado desde que el ser humano comenzó a explorarla, adecuando la diversidad intraespecífica de las plantas a sus requerimientos de uso y manejo, domesticándolas, generando una dependencia de la planta con respecto al hombre, y difundíéndolas a nuevas regiones geográficas mediante la manipulación de fenotipos y genotipos (Casas et al., 1997).

Obviamente, estos procedimientos fueron realizados casi de forma innata, sin que las personas que lo realizaran tuvieran en cuenta un “sofisticado conocimiento científico”, ya que se realizaron respondiendo a aspectos como la falta de alimentos, presión ambiental o crecimiento de poblaciones humanas; o de lo contrario, como señalan otros autores,

contestando al exceso de alimentos, ya que tendrían la disponibilidad suficiente para experimentar con ellos (Casas et al., 1997).

Pero, con el paso del tiempo y los distintos avances tecnológicos y descubrimientos científicos, se ha convertido en una rama de la ciencia con elevado prestigio, tanto así, que se ha señalado que “si el siglo pasado fue denominado el de la era atómica, este debía denominarse el de la era genómica” (Saro et al., 2012, p. 37). Esto, respaldado por los múltiples avances trascendentales que provienen de esta disciplina y que han contribuido a la humanidad enormemente, como por ejemplo, la creación de la insulina artificial, vital para millones de personas insulino dependientes en el mundo («Human Insulin: Seizing the Golden Plasmid», 1978), la clonación de seres vivos, precedido por la oveja Dolly y seguido de una serie de otros mamíferos, el mejoramiento de plantas generando Organismos Genéticamente Modificados (OGMs) y la producción de vacunas con ARN recombinante (como la desarrollada por la empresa Pfizer para el COVID-19 (Ramírez, 2020). Estas hazañas representan y significan un gran beneficio para la humanidad, auspiciando un futuro prometedor, pues a causa de esto, se pueden desarrollar nuevas terapias, tecnologías, medicina y vacunas para combatir enfermedades, lograr plantas cada vez más resistentes a climas extremos, comprender de mejor forma la historia evolutiva a través del conocimiento del genoma, entre otras aplicaciones que amparan y comprenden a varias disciplinas (Gómez, 2013).

No obstante, todo esto debe estar resguardado por un importante margen ético, pues, pese a que pueden significar muchos beneficios para la humanidad, siempre existe el riesgo latente de que puedan ser empleados irresponsablemente, o directamente, mal utilizados. Aunque algunos países han avanzado en la legislación de esta materia para aprovechar las ganancias que trae el uso esta herramienta, existen detractores que se oponen rotundamente a estas nuevas tecnologías (como suele ocurrir con todo aquello innovador en la ciencia). Un ejemplo clásico de esto, corresponde al movimiento en contra de los alimentos transgénicos u OGMs, que mediante argumentos variados, pretenden invalidar los amplios beneficios que pueden tener para la humanidad, entre los que se encuentran productos tan revolucionarios como la producción de tomates morados con más nutrientes (Shukman, 2014), plátanos (Paul et al., 2016) y arroz fortificados para

combatir la deficiencia de vitamina A (Ye et al., 2000)(Ver Tabla II), enfocados esencialmente en disminuir el déficit que existe principalmente en África y cultivos resistentes a la sequía, como es en el caso del maíz, la caña de azúcar y soya, que ya han sido aprobados en algunos países interesados en esta nueva tecnología como Estados Unidos, Indonesia y Argentina, respectivamente), motivados por la preocupación ante el cambio climático, que -entre otras cosas- altera la frecuencia de precipitaciones (ChileBIO, 2019a).

Es por esto, que los movimientos que se oponen al uso de la ingeniería genética, son muy peligrosos, pudiendo significar un gran retroceso en el control de enfermedades (en el caso de los antivacunas), y en el avance de cultivos cada vez más adaptados al clima del planeta (lo cual, podría ser imprescindible en un futuro debido al cambio climático y calentamiento global que azota la tierra y que amenaza los cultivos convencionales).

Estos efectos se pueden evidenciar en un estudio realizado por Gangarosa et al. (1998), en el que se analizó la incidencia de tosferina en países en los que mantuvo una alta cobertura con vacunas contra esta enfermedad y en aquellos donde el plan de inmunización de la población fue interrumpida por movimientos antivacunas. La tosferina es una enfermedad altamente contagiosa, causada por una bacteria llamada *Bordetella pertussis* (Durán et al., 2013), que en 2012 acabó con la vida de alrededor de 300.000 personas a nivel global (Organización Panamericana de la Salud, 2012), no obstante, en los últimos años estas cifras han sido controladas a causa de la implementación de la vacuna.

En el estudio mencionado, se concluyó que la incidencia de tosferina fue de 10 a 100 veces menor en países donde se mantuvo una alta cobertura de la vacuna, en comparación con aquellos donde los programas de inmunización se vieron comprometidos (Gangarosa et al., 1998). Uno de los países afectados por esta última situación es Suecia, donde se llevaba un proceso de inoculación exitoso hasta que profesionales de la salud atribuyeron la disminución de tosferina al progreso económico, social y médico, desestimando la utilidad de la vacuna y finalmente abandonando su aplicación. Esto hizo que la incidencia anual entre 1980 y 1983 aumentara de 3370 a 100000 personas. Algo similar ocurrió en Japón, donde se pasó de tener 0 defunciones

y pocos casos en 1974, a tener una epidemia de más de 13000 casos y 41 muertes cuando se disminuyó la inoculación en un 80% (Gangarosa et al., 1998).

Si bien, en el caso de los movimientos en contra de los alimentos transgénicos la evidencia no es tan ostensible, de igual forma se puede decir que representan un retroceso importante en la generación de alimentos más nutritivos, adaptados al medio ambiente, económicos y duraderos. Por ejemplo, un vegetal fundamental en Bangladesh corresponde a la berenjena, cuyos cultivos sufren daños provocados por insectos, por lo que los agricultores debían aplicar pesticidas de forma excesiva, pudiendo ser desfavorable para su salud. Para esto, se desarrollaron berenjenas modificadas genéticamente para ser resistentes a los insectos (Ver Tabla I), lo cual disminuye el uso de químicos (con un consiguiente ahorro económico) y contribuye a la mejora de la salud del medio ambiente y de los pobladores, al reducirse la exposición a pesticidas (Gruere et al., 2006); se infiere, que si los movimientos anti transgénicos se opusieran a esta medida, podría traer consecuencias tan graves como la muerte de personas y daño al medio ambiente.

Respecto a todo lo anterior, se puede decir que la ingeniería genética puede ser muy beneficiosa para la sociedad, pero existen aún diversos movimientos que se muestran en contra de ellos por diferentes razones, como falta de información, expansión de noticias falsas, e incluso, la poca legislación o pronunciamiento de los gobiernos al respecto, lo que incentiva la creencia de que su uso podría ser potencialmente peligroso.

Es por esta razón, que este trabajo se centra en el análisis de visiones a favor y en contra respecto a la ingeniería genética aplicada a alimentos y vegetales transgénicos (OGM); revisando la legislación y regulación asociada al cultivo y producción correspondientes a diversos países y organismos internacionales; comentando los objetivos de la disciplina y finalmente, examinando cómo se pueden solucionar las problemáticas presentadas mediante la difusión de la información, aumento de regularización de estos procesos, entre otras medidas.

Desarrollo

Se entiende como transgénico a un organismo genéticamente modificado (OGM) definido como: “cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético, que se haya obtenido mediante la aplicación de la tecnología de ADN Recombinante, sus desarrollos o avances; así como sus partes, derivados o productos que los contengan” (Ministerio de Salud de la República de Colombia, 2005). Estos pueden ser de primera y de segunda generación. Los de primera, son aquellos que han desarrollado aspectos como: la resistencia a herbicidas, insectos, sequía y virus, por lo que *benefician directamente al productor*. En cambio, los de segunda generación, corresponden a aquellos que presentan *beneficios más directos para los consumidores*, de forma que estos pueden percibir las ganancias, es decir, tienen mayor cantidad de antioxidantes, vitaminas, etc. (Uauy, 2002). Son principalmente los primeros, los que han sido más masificados y cuyo uso ha crecido de forma exponencial, mientras que los de segunda generación se han abierto paso poco a poco en el mercado (Ver Tablas I y II). Según el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA, por sus siglas en inglés), los cultivos biotecnológicos aumentaron más de 112 veces en los últimos años, pues, en 1996 existían solo 1,7 millones de hectáreas y en 2019, ya habían 190,4; siendo Estados Unidos el país más productivo con una alta plantación de maíz, soja (que es el cultivo transgénico más abundante en el mundo), algodón, alfalfa, canola, remolacha, papas, etc. (ISAAA, 2020).

Este aumento puede explicarse por diversos factores, principalmente, debido a los amplios beneficios que representan (según una amplia mayoría de la comunidad científica), no obstante, existe una gran cantidad de personas y organizaciones que tienen una postura bastante diferente respecto a ellos.

- ¿Por qué estar en contra de los OGMs?

Según Greenpeace (s. f.-a), las razones se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Medio Ambiente:

Los OGMs generan impactos desconocidos (e incluso, amenazas) en el medio ambiente, pues, una vez que son liberados, no pueden ser controlados ni retirados. Por lo tanto, las consecuencias a las que el grupo apela son las siguientes:

1.1. *Invasión por flujo génico*, pues, el organismo transgénico puede cruzarse con diferentes variantes de su especie o de otras, dando origen a una variante nueva que podría considerarse como invasora, pudiendo generar un gran impacto negativo, ya que causan una amplia degradación de los ecosistemas naturales (Pimentel et al., 2000). Esto también tendría implicancia en la reducción de la biodiversidad que se ha mostrado en los últimos años, pues, el tipo de cultivo promovido por los OGMs fomentaría que se plantaran y cosecharan solamente tipos “exitosos” de semillas (es decir, resistentes y fuertes a todo tipo de plagas), de modo que aquellas que no estén consideradas dentro de este grupo, serán arrancadas, y en consecuencia, dejarán de existir (Garcia & Altieri, 2005).

1.2. *Daño a otros organismos no objetivo, como artrópodos y lepidópteros.*

La preocupación principal, corresponde a las abejas melíferas (*Apis mellifera*). En estudios realizados con una proteína insecticida que se agrega a OGMs (inhibidor de tripsina de soja), se demostró que al añadirla a la dieta de las larvas, se incrementó significativamente la mortalidad, ralentizó su crecimiento y disminuyó la masa corporal en adultos (Brodsgaard et al., 2003). En esta misma línea, estudios realizados por Sagili et al. (2005) demuestran que las abejas alimentadas con un 1% de esta proteína, tuvieron la supervivencia más baja, seguidas de las que consumieron con un 0,5% y luego, las que contenían un 0,1% en su dieta. Por lo tanto, estas abejas serían malas productoras de alimento para sus larvas, amenazando la supervivencia de la colonia, y por lo tanto de la especie (si es que esto se replica a gran escala).

1.2.1. En segundo lugar, otro ejemplo de esto son los OGMs que contienen genes antimicrobianos (Velkov et al., 2005), como el utilizado en perales para combatir una enfermedad llamada *fireblight* (que también afecta a manzanos)(Smith et al., 2019). Un estudio concluyó que también afecta a una especie de hemípteros llamada *Cacopsylla pyricola* (a largo plazo, reduce la población de huevos, ninfas y adultos), que corresponde a la mayor plaga que afecta a perales en Estados Unidos, por lo que, para los agricultores, significaría un beneficio (Puterka et al., 2002); no obstante, demuestra que

así como afecta a esta especie no objetivo, también podría tener implicancias en otras que no son consideradas una plaga.

1.2.2. En tercer lugar, están los OGMs protegidos con una proteína producida por una bacteria llamada *Bacillus thuringiensis* (Bt), como es en el caso del maíz Bt (Hellmich & Hellmich, 2012), papas, y otros cultivos azotados por plagas de insectos (Ver Tabla I). En el primer caso, se demostró que si se deposita su polen en una especie de algodoncillo, aumentó la mortalidad de las larvas de *Danaus plexippus* que es una especie de mariposa monarca muy importante para la polinización (Velkov et al., 2005). Algo similar ocurre con la mariposa cola de golondrina negra (*Papilio polyxenes*), que podría sufrir de efectos subletales adversos (Zangerl et al., 2001). Otro ejemplo son las papas transgénicas portadoras del gen Bt, pues, al administrarlas a roedores, provocó la autodegradación de las células del intestino, ya que atacó directamente a las del sistema inmune (Vázquez et al., 2000; Angulo, 2010).

1.3. *Incentivan el uso masivo de agrotóxicos* (Greenpeace, s. f.-a), especialmente el glifosato (ver sección 4.3) cuya acción es no selectiva (Salazar & Aldana, 2011). Esta es la razón por la que la incorporación de distintas variedades de plantas transgénicas resistentes a este herbicida (Ver Tabla I), fueron un gran aporte, porque permiten que los agricultores se deshagan de plantas afectadas por el glifosato, mientras que sus cultivos de OGMs resistentes a él pueden prosperar (Shaner et al., 2011). Esto trajo como consecuencias que, contrario a lo que se creía, aumentó considerablemente el uso de pesticidas. Entre 1996 y 2011 en Estados Unidos, el uso de herbicidas por hectáreas en cultivos resistentes a glifosato, aumentó en 239 millones de kg en comparación a los “normales”, donde la soya de este tipo representó un 70% del aumento total (Benbrook, 2012). Esta evidencia es más que alarmante, ya que se afirma que esto ha contribuido a la aparición de cultivos no modificados que son resistentes a este herbicida, lo cual desencadenaría que cada vez se necesiten químicos más potentes que podrían ser más perjudiciales para el medio ambiente (Benbrook, 2012).

2. Factor socioeconómico:

El hecho de que la gran mayoría de las semillas transgénicas existentes en el mercado estén patentadas o protegidas (Santamarta, 2004), hacen que el comercio de OGMs sea un oligopolio, donde los agricultores sólo pueden adquirir productos de ellos, e incluso, algunas organizaciones mencionan que estos son obligados, sometidos y sobornados para adquirir estas semillas (Fassbinder, 2013).

Según Santamarta (2004), a mediados de los 2000 el 80% del mercado de las plantas transgénicas estaba controlado por la empresa multinacional Monsanto, seguido por Aventis (perteneciente a Bayer) con un 7%, Syngenta con el 5%, Dow Chemical y DuPont con 3%. Pero actualmente, la situación estaría más estrecha, pues unos años más tarde la empresa Bayer adquirió Monsanto, al igual que Dow Chemical que se unió a DuPont (BBC News Mundo, 2016). Una evidencia del mercado altamente lucrativo de OGM, es que, desde que el uso de la soja transgénica se popularizó en Estados Unidos, los precios de sus semillas subieron rápidamente alrededor de un 200%, mientras que anteriormente, solo se habían incrementado en un 63% (Benbrook, 2012; Greenpeace, 2016). Además, los agricultores deben adquirir cada año las semillas, pues, no se les permite guardarlas, ya que si lo hacen se considera una infracción a las patentes que posee cada empresa (Greenpeace, 2016), por lo que corresponde a un modelo de mercado que solo beneficia a las compañías.

3. Hambre:

Uno de los argumentos más potentes para el uso de OGMs corresponde a que ayudarían a reducir el hambre mundial, no obstante, los movimientos en contra, comentan que esto no es cierto, ya que la mayoría de la superficie agrícola (y de los OGMs) se utiliza para alimentar ganado (Ferreirim, 2016). En adición a esto, las tecnologías más prometedoras que podrían servir para combatir la hambruna en África (el continente más afectado), como por ejemplo, las semillas transgénicas que reducen el uso de agua, o las que aumentarían la capacidad de los cultivos para extraer nitrógeno del suelo, no han tenido resultados exitosos (*GMOs Can't Feed the World*, 2015).

Se argumenta que solo en Europa y América del Norte se desperdician alrededor de 280 a 300 kg/año de alimentos per cápita, y en el continente africano, de 120 a 179 kg/año (Gustavsson et al., 2011), lo cual sería suficiente para acabar con el hambre

sin necesidad de utilizar OGMs, por lo tanto, esto evidencia que, más que un problema de escases, el hambre tiene más relación con la mala distribución de los alimentos y la desigualdad.

4. Implicaciones para la salud humana:

La comunidad anti OGMs ha utilizado como su mejor arma este argumento, pues, estos alimentos provocarían importantes daños a la salud de los seres humanos, los cuales, son divididos en los siguientes efectos:

4.1. Alergias, ya que, si bien, se utilizan componentes que son “inocuos” a humanos, existiría la posibilidad de que contengan toxinas, proteínas extrañas y genes alergénicos (Manzur, 2005). Un ejemplo de esto se propone en un estudio realizado por Nordlee et al. (1996), el cual demostró que al tratar una soja transgénica con un gen perteneciente a una albúmina de la nuez de Brasil, se transmite un alérgeno que hace que aquellas personas que son alérgicas a la nuez como tal, presenten reacciones de este tipo, tanto de forma interna como cutánea; algo que no sucede con la soja no transgénica. Esto sucede porque el gen de origen proviene de una variedad alérgena en la planta de origen. Otro caso similar corresponde al del maíz Starlink que contiene la bacteria Bt que le confiere resistencia a diferentes insectos (Bucchini & Goldman, 2002)(Ver Tabla I). Entre 1997 y 2001 ocurrió una gran polémica entorno a su uso, pues, no fue aprobada para consumo humano, debido a que los estudios realizados por la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos), lo consideraron “levemente alérgeno”, ya que, uno de sus genes (Cry9C) sobrevivía a la digestión, pudiendo interactuar con el sistema inmune. No obstante, por error fue filtrada en alimentos, reportándose alrededor de 51 casos que mostraron afecciones gastrointestinales e incluso shocks anafilácticos (Bucchini & Goldman, 2002; Acosta & Guerrero, 2007). De esta misma forma, se han reportado otros casos que incluyen a la bacteria Bt, como alergia de algunos campesinos al polen de los OGMs que la contienen (Manzur, 2005).

4.2. Resistencia a antibióticos, ya que, la primera generación de plantas transgénicas aceptadas en el mercado se produjeron utilizando marcadores resistentes a antibióticos (ARMs, por sus siglas en inglés) para seleccionar los cultivos OGM y

diferenciarlos de los normales en su primera etapa de transformación (Goldstein et al., 2005). No obstante, se determinó que en algunos casos este gen permanece en el producto final; por lo que se infiere que podría traspasarse mediante el consumo de alimentos (otorgándole resistencia a bacterias gastrointestinales) y/o hacia las bacterias del suelo (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2012; Demanèche et al., 2008).

4.3. Como se mencionó en la sección 1.3, una consecuencia directa del uso de OGMs vegetales, corresponde al *aumento del uso de pesticidas* que podrían ser altamente perjudiciales para el ser humano.

Uno de estos, corresponde al ya mencionado Glifosato, en torno al cual existe una gran polémica, pues, sería nocivo para la salud a diversas escalas. Se determinó que un herbicida hecho a base de este componente, llamado *Roundup*, es tóxico para algunas células placentarias humanas en concentraciones incluso más bajas que las recomendadas para uso agrícola (Richard et al., 2005). Otro estudio, demuestra que afecta uno de los sistemas de reparación genómica del ADN (Monroy et al., 2005); y así, se le atribuyen una serie de efectos tóxicos y letales para el ser humano, como problemas respiratorios, gastrointestinales, psicológicos y neurológicos (Aranda et al., 2016).

Estas consecuencias, han causado que la empresa Bayer Monsanto (principal productor de glifosato en el mundo) haya sido multada en repetidas ocasiones por supuestos casos de linfomas causados por el herbicida (Euronews, 2019) y se han recibido más de 48000 demandas por la misma situación (Forbes Staff, 2020).

- ¿Por qué estar a favor de los OGMs?

Estas razones son ampliamente respaldadas por la comunidad científica; tanto así, que un total de 109 laureados con el premio Nobel decidieron mostrar públicamente su apoyo escribiendo una carta, considerando que la acción y la “campaña del terror” contra los OGMs realizada por Greenpeace es “un crimen contra la humanidad” (AgroBio, 2017). Pero, ¿cuáles son realmente los argumentos para estar a favor? y, ¿qué se responde ante lo dicho por los anti OGM?

5. Medio Ambiente:

Contrario a lo que señalan las agrupaciones contra ellos, los OGMs serían altamente beneficiosos para el medio ambiente, pudiendo contribuir a la disminución del cambio climático.

5.1. Flujo génico; como solución a esta problemática, existen las “zonas colchón” y refugios, con el objetivo de impedir que se propaguen los cultivos de OGMs hacia las plantas nativas, ya que podrían originar posibles mezclas invasoras. No obstante, el riesgo de generar una especie involuntariamente se da hasta entre cultivos “naturales” y comerciales no OGM (hoy en día se cultivan preferentemente variedades híbridas mejoradas por técnicas tradicionales), en consecuencia, las plantas originales o “naturales” ya no existen, por lo que es un riesgo que siempre ha estado latente entre las prácticas de los agricultores; y a pesar de ello es algo bastante inusual, pues, por ejemplo, en el Reino Unido ningún híbrido entre cultivos ha resultado invasivo (Greenfacts, s. f.). Además de que los OGMs corresponden a variantes de especies que ya fueron modificadas inicialmente por el ser humano mediante los métodos tradicionales. En adición a esto, ya no existen cultivos nativos resultado de varias especies modificadas, tal como el Teosinte (en el caso del maíz, ya que se han aplicado diversas medidas para su control)(Fuertes et al., 2015)) y la cruce de plantas con otras especies emparentadas da origen a plantas infértiles (como por ejemplo la cruce entre el yuyo (genoma 2n) y la canola (genoma 4n)), lo que, claramente minimiza el riesgo de flujo génico. Por otro lado, no se perdería la biodiversidad, ya que, un OGM sería una variedad adicional a las híbridas ya comercializadas.

5.2. Daño a otros organismos no objetivo;

5.2.1. Posible daño a abejas melíferas (*Apis mellifera*). Si bien, el inhibidor de tripsina de soja es perjudicial para esta especie (y por esta misma razón, su uso no está permitido), se ha demostrado que las proteínas Cry provenientes de Bt son completamente seguras e incluso inocuas para ellas, por que poseen una alta especificidad (Riedl et al., 2006). Ver ejemplos en 5.2.3.

5.2.2. OGMs con genes antimicrobianos; como se ha comentado anteriormente, los estudios demuestran que estos podrían ser perjudiciales, por lo que aún están en desarrollo, y ninguno de ellos ha sido aprobado (ISAAA, s. f.).

5.2.3. OGMs resistentes a insectos con genes Cry de *Bacillus thuringiensis* (Bt); pese a lo dicho por los anti OGM, otros estudios demuestran que en realidad la mortalidad de los organismos no objetivo a causa de las proteínas Cry presentes en los OGMs, es muy baja, después de todo, están en el ambiente de forma natural. Por ejemplo, una investigación realizada con preparaciones puras del microorganismo (en concentraciones mayores a las encontradas en polen y néctar transgénico) y con 14 especies de insectos, demostró que solo 4 de ellas tuvo una mortalidad superior al 50%, lo cual no difiere demasiado de la población control (sobre la que no se aplicó la bacteria); con esto se concluye que la proteína expresada en el algodón transgénico es específica para lepidópteros, por lo que el riesgo para insectos beneficiosos no lepidópteros, es prácticamente insignificante (Sims, 1995; Velkov et al., 2005). Por lo tanto, la verdadera preocupación estaría en aquellos organismos lepidópteros que no son objetivo y son beneficiosos; sobre esto, un estudio realizado por Wraight et al. (2000) donde se analizó la incidencia de la bacteria sobre la mariposa cola de golondrina negra (*Papilio polyxenes*), concluye que, si bien se presenta una alta mortalidad en las primeras etapas del desarrollo de la especie, es muy probable que esta no haya sido causada por el polen transgénico, sino que por la depredación por artrópodos. De este modo, se puede decir que es factible que los cultivos Bt afecten a especies no objetivo, pero en una proporción pequeña y no mayor a la que se daría normalmente por el medio ambiente y el propio hábitat en el que viven las especies. Por otra parte, respecto a la incidencia sobre la mariposa monarca, se demostró que efectivamente las larvas criadas en hojas espolvoreadas con polen de maíz Bt, crecen más lento, comen menos y sufren mayor mortalidad que las de criadas en hojas vacías o con polen normal (Losey et al., 1999). Sin embargo, esto podría ser causado por otro factor, pues, existen muchos autores que respaldan el hecho de que los cultivos Bt son inocuos para *Danaus plexippus*, porque el mecanismo de acción de esta bacteria es bastante específico y su acción se incrementa notablemente en presencia de pH alcalino (Rausell et al., 2004), por lo que no afectaría a otros lepidópteros

que no cuenten con esta característica, como es en el caso de las mariposas monarca (ChileBIO, 2018).

Por lo tanto, los cultivos Bt no representarían una amenaza mayor que aquellos factores que afectan a estos insectos normalmente, aunque se deben hacer una mayor cantidad de estudios para asegurar su inocuidad.

5.3. Uso masivo de agrotóxicos; contrario a lo que expresado por el movimiento anti OGM, según el estudio realizado por Brookes & Barfoot (2016), demuestran que desde 1996 el uso de pesticidas en áreas de cultivos transgénicos se ha reducido en 581,4 millones de kg. De todas maneras, si existe un posible aumento de pesticidas no es responsabilidad de las empresas ni de las plantas, sino que es de los agricultores y la desinformación y desconfianza que podrían presentar ante esos cultivos, por lo que hace falta concientizar e informar mejor a la población acerca de la naturaleza de estas plantas.

6. Factor socioeconómico:

Según Brookes & Barfoot (2016), se ha podido disminuir el gasto de los agricultores, pues, para controlar los cultivos se suelen usar herbicidas que hacen que retroceda el crecimiento de cultivos no sanos y por ende, se tenga que invertir una mayor cantidad de dinero en recuperarlos. No obstante, los cultivos tolerantes a herbicidas evitan este problema, produciendo plantas de mejor calidad y que pueden significar más ganancias para los agricultores. De esta misma forma, las plantas resistentes a insectos, reducen el uso de energía, porque ya no se necesitan maquinarias costosas para realizar fumigaciones masivas.

Por otra parte, los agricultores en ningún momento se ven obligados a comprar a grandes compañías; de hecho, solo en Estados Unidos existen más de 200 empresas independientes de semillas (Hubbard, 2009), ya que las comercializadoras y laboratorios multinacionales “licencian sus semillas GM a otras semilleras independientes” (ChileBIO, 2021) que producen sus propias semillas, por lo tanto, estos productores son libres de los precios que manejan en su mercado. En el caso de Chile, ChileBIO (2021) señala que el SAG indica que existen más de 1700 semillas convencionales, de las que alrededor de 1000 no tienen patente, siendo de uso libre para los agricultores.

7. Hambre:

Según la Organización de las Naciones Unidas los OGMs pueden significar una gran ventaja para mitigar el hambre mundial (Jamil, 2009), ya que, si bien, se considera que estos no son milagrosos y que, obviamente su incorporación no acabará inmediatamente con este problema, su implementación complementada con otras medidas como la disponibilidad y distribución adecuada de alimentos, podría ayudar a alimentar a los casi diez mil millones de personas que se esperan para 2050 (Organización de las Naciones Unidas, 2020). Además, se debe considerar que cada vez existe menos superficie de tierra arable y las condiciones climáticas varían constantemente producto del calentamiento global, por lo que, cultivar OGMs podría ser una gran solución a estas problemáticas, debido a que son más productivos que los normales, y que se pueden crear variedades resistentes y adaptadas al cambio climático.

Por otro lado, si bien, en el mundo existe una gran cantidad de alimentos que bien distribuida alcanzaría para acabar con el hambre mundial, y la cantidad de vitamina A que contienen los vegetales y frutas debería ser suficiente para los habitantes de países con hambruna, las políticas implementadas en estos lugares son tan escasas y deficientes, que hacen que el foco sea fortificar alimentos como el arroz o los plátanos, ya que la dieta de estas personas se basa en estos productos (Larrión, 2002)(Ver Tabla II). Además, si estas tecnologías no han podido ser completamente exitosas, ha sido principalmente por la objeción de personas y organizaciones anti OGM que han realizado acciones repudiables como la destrucción de los campos de cultivo del arroz dorado, impidiendo que se puedan desarrollar efectivamente (Johnson, 2016).

8. Implicancia para la salud humana:

8.1. Alergias:

Se ha constatado que la probabilidad de que una persona sea alérgica a un OGM no es mayor a la que tiene el alimento en su forma “natural” y además, su regulación es exhaustiva, tanto así, que no se han encontrado alérgenos en aquellos utilizados en consumo humano (Xu, 2015). Es por esto que el maíz Starlink provocó reacciones alérgicas, pues, los expertos advirtieron que podría causar esta clase de reacciones

y por ello lo prohibieron para humanos. No obstante se introdujo accidentalmente a la dieta producto de la polinización cruzada, pues se plantó maíz transgénico demasiado cerca de cultivos normales. Algo similar ocurre con la soja transgénica tratada con el gen de albúmina de una nuez de Brasil; en ambos casos, los productos controversiales no estaban aprobados para consumo.

8.2. Resistencia a antibióticos:

En primer lugar, estos eventos puede suceder tanto para genes de resistencia a antibióticos como para cualquier otro gen que se encuentre en alimentos frescos como frutas y verduras, lo cual por tanto no es un tema exclusivo de los OGMs, pues, el ADN recombinante (utilizado en OGMs) es procesado de la misma manera que el ADN común y corriente (que presentan las frutas y verduras “comunes”) en el organismo (Jonas et al., 2001).

En segundo lugar, para que un evento de esta naturaleza ocurra, debe existir un gran grado de homología entre el ARN del donante y el genoma bacteriano del receptor; por lo que es casi improbable que ocurra en un entorno abierto, ya que implica que el gen no fue destruido por enzimas estomacales (a pH 2.0) e intestinales (en el caso de los alimentos consumidos en estado fresco, pues, en un alimento cocido el ADN se denatura), sobrevivió al ambiente intestinal y fue adquirido completamente por un organismo bacteriano altamente compatible, lo que significa que este gen ofreció ventajas selectivas para este último (Jonas et al., 2001; Goldstein et al., 2005). Si es que este evento fuera común, el epitelio expresaría constantemente genes extraños y las células madre humanas contendrían genes con una alta homología con los de las plantas, y no se ha reportado evidencia de ninguno de dos casos, por lo que el miedo existente hacia este aspecto, es más bien infundado por las comunidades anti-OGM (Jonas et al., 2001). No obstante, dado que el riesgo (aunque sea mínimo) sigue existiendo, se debe evaluar en cada uno de los OGMs aprobados (y también en alimentos comunes y corrientes), la posibilidad de que ocurran intercambios de esta naturaleza (entre genes de los alimentos frescos y microbiota estomacal e intestinal), de forma de verificar científicamente el riesgo, y disminuirlo (y si es que fuera demasiado ínfimo, se podría aprobar el producto y recomendar medidas preventivas a los consumidores, como el cocer el verduras antes de consumir).

8.3. Aumento de uso de pesticidas:

Como se señaló anteriormente (punto 5.3) se estima que en realidad se ha disminuido el uso de agrotóxicos. No obstante, los efectos del glifosato son bastante controversiales, pues existe una gran cantidad de estudios que demuestran sus efectos adversos para la salud (Salazar & Aldana, 2011); tanto así, que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud, en 2015 cambió su estatus de “seguro” a “posible carcinógeno”, lo que significa que no existen pruebas contundentes que descarten que signifique un riesgo (Kogevinas, 2018). Es por esto, que urge encontrar alternativas más seguras a este agrotóxico y financiar estudios que establezcan definitivamente la forma en la que los OGMs se relacionan con los pesticidas y si realmente estos representan un riesgo a la salud humana.

- Legislaciones acerca de los OGMs:

Las visiones acerca de los OGMs difieren bastante, lo que se ve reflejado en la legislación que existe en diferentes partes del mundo respecto al tema.

9. Unión Europea

Comenzó a legislar a los OGMs en los inicios de los años 90, siendo una de las primeras comunidades políticas que hizo esta acción (Comisión Europea, 2004). Es en el reglamento 258 de 1997 *sobre nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios*, donde se precisa que para internarlos se debe evaluar el riesgo medioambiental que significaría su liberación (Reglamento 258 de 1997). No obstante, este documento se enfoca en los productos que contienen restos de OGMs en el ADN, no en los OGMs propiamente tales (Urrutia, 2008).

Es en 2001 que se decreta que para comercializar los productos que contienen OGMs, se debe presentar una notificación a la autoridad que incluya una propuesta de envasado y etiquetado donde se indique su procedencia, y se ofrezca una forma de que el público acceda al registro del producto (Directiva 2001/18 del Consejo, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente).

Luego, en el Reglamento 178 de 2002, se crea la *Autoridad Europea de Seguridad*, que tiene como función: facilitar asesoramiento y apoyo científico, asegurar que el público reciba información fiable y objetiva, y emitir dictámenes científicos sobre piensos y alimentos provenientes de OGMs para diversas normas sanitarias, por lo que, los estados miembros deben cooperar con esta entidad para minimizar el riesgo medioambiental que puede significar la intromisión de estos organismos (Reglamento 178 de 2002). Posteriormente, en el Reglamento 1829 de 2003, se describe el procedimiento a seguir con piensos con vegetales modificados genéticamente, donde aquellos que contengan OGMs autorizados por la Autoridad Europea de Seguridad, pueden circular; no obstante, el resto debe respetar los requisitos de seguridad establecidos (Reglamento 1829 de 2003).

En 2004, ya habían 18 OGMs autorizados por la UE para comercializarse, siendo en su mayoría, variedades de semillas de soja, algodón, remolacha y arroz (Comisión Europea, 2004). Esto ha ido aumentando a lo largo del tiempo, pues, en Abril de 2021 la cifra estaba en 60 (OCU, 2021), por lo que podría continuar masificándose. Además, pese a que los OGMs están rotulados en este continente, no incluye a aquellos que tienen como ingrediente secundario a animales que fueron alimentados en su crianza con OGMs, por lo que la presencia de ellos podría ser aún mayor.

10. Chile

El panorama respecto a los OGMs es bastante particular y contradictorio, pues, pese a que el país exporta una gran cantidad de semillas OGM no se tiene una normativa clara respecto a su uso interno (ya que los proyectos normativos presentados se han retirado, o presentan vacíos), lo que ocasiona que los agricultores no puedan utilizarlas y que la investigación, aunque sea promovida, no entregue (o no pueda continuar) los resultados esperados (Sánchez & León, 2016; USDA Foreign Agricultural Service, 2014).

Es en 1997 cuando se redacta el decreto 977 que aprueba el reglamento sanitario de alimentos y menciona que todos los eventos biotecnológicos modificados deben ser autorizados por el Ministerio de Salud, siguiendo la norma técnica basada en evidencia científica (Ministerio de Salud, 1997). Asimismo, a finales de ese mismo año se publica una resolución por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 1997) que autoriza el uso en

alimentación animal de maíz transgénico con resistencia a herbicidas (Roundup y Basta), lepidópteros y macho esterilidad. Esta normativa, se mantiene vigente hasta la fecha, por lo que corresponde a uno de los pocos alimentos autorizados para consumo (animal) en el país.

En 2001, se dictamina una resolución exclusiva para la introducción al medio ambiente de organismos vegetales vivos (OVV) modificados de propagación, que reconoce que, si bien, pueden representar un aporte, su introducción al medio podría afectar a la diversidad biológica e interferir el desarrollo silvoagropecuario, los recursos naturales, el medio ambiente y a la salud humana (SAG, 2001). Es por este motivo, que se establece que todo OGM que se quiera incorporar al medio ambiente, deberá ser estudiado por el SAG, que realizará un análisis de riesgo para comprobar que no cause efectos adversos (SAG, 2001). Por lo tanto, todas las semillas producidas en el país son para exportación, y deben contar con autorización del SAG para su internación inicial y fiscalización.

Por otra parte, en 2005 se crea el Comité Técnico de Organismos Genéticamente Modificados (OGMs), cuyo objetivo es asesorar al SAG en materias relativas a estos ejemplares (SAG, 2005). Esta comisión sesionaría de forma ordinaria solo dos veces al año (y extraordinariamente las veces que lo requieran), con la función de proponer el marco regulatorio, estrategias, directrices y lineamientos que se deben implementar y reforzar frente al avance biotecnológico (SAG, 2005). Esta resolución fue derogada en el año 2015 y restringe las facultades del Comité, mencionando que asesorará al Director Nacional del SAG en **OGM de uso veterinario** (SAG, 2015). En el año 2006 se promulga la Ley 20116, que establece que está estrictamente prohibida la liberación de OGMs hidrobiológicos (y la realización de otras actividades sin autorización), cuyo incumplimiento será sancionado con una multa de 500 a 5.000 UTM, o incluso, dependiendo del grado de la infracción, podría dictaminarse presidio menor en grado medio (Ley 20116, 2006).

Actualmente, la ley vigente corresponde a la 19300 (modificada por la ley 20417), que establece que los proyectos de desarrollo, cultivo o explotación de diversas áreas, que utilicen OGMs con fines de producción y en áreas no confinadas, deberán someterse al sistema de evaluación del impacto medioambiental, a excepción de aquellos que presentan un comprobado bajo riesgo (Ley 19300, 1994). Asimismo, el decreto 40 de

2012, establece la misma máxima anterior, pero clarifica que “se entenderá que no tienen fines de producción aquellas actividades y proyectos que utilicen organismos genéticamente modificados con fines de investigación” (Ministerio del Medio Ambiente, 2012, p.19). Por lo tanto, en el país se pueden realizar investigaciones y plantaciones con autorización, pero no se menciona si es posible liberarlas al mercado, por lo que esta legislación presenta vacíos que impiden el desarrollo óptimo que podría llevar a Chile a alcanzar grandes avances en la materia. Por ejemplo, mientras en la UE se comenzó a plantear la posibilidad de etiquetar los OGMs a inicios del siglo XXI, en Chile solo se han tenido propuestas que no han sido exitosas. Verbigracia, en el año 2006 se presentó un proyecto de ley para el rotulado de OGMs, que si bien, fue aprobada por la cámara de diputados (Radio Cooperativa, 2006), en el senado no tuvo la misma suerte, ya que en la ley 20606 que establece los parámetros de rotulación para los alimentos, no se menciona algo al respecto (Ley 20606, 2015). Esto podría ser una gran falta, pues, un estudio realizado por la Universidad de Vermont y la Universidad de Purdue, estima que la oposición a los OGMs cayó en un 19% luego de la implementación de las etiquetas obligatorias (ChileBIO, 2019b).

Conclusiones

Los OGMs (y la biotecnología en general) corresponden a útiles herramientas que pueden contribuir a la ciencia y al mundo abriendo posibilidades para enfrentar los desafíos de la humanidad, tales como: el cambio climático, el hambre, la sequía, las enfermedades, etc. No obstante, se debe hacer un correcto uso de estos, de forma que se mantenga siempre un marco ético para resguardar la integridad humana y la buena praxis.

Además, los gobiernos deben procurar corregir los vacíos legales presentes en la ley actual, de forma que se puedan aprovechar correctamente los beneficios que podría significar el uso de esta tecnología. En esta misma línea, la labor de los científicos (y también de los gobiernos) es divulgar, procurar el acceso fácil a la información y visibilizar los beneficios que podrían tener los OGMs (sobretudo los de 2da generación, ya que tienen una utilidad más tangible para los consumidores), de modo que la población pueda mejorar su percepción acerca de estos alimentos, ya que, la mayoría está en contra porque posee poco conocimiento al respecto y se informa mediante medios que difunden falsedades y prejuicios, y presentan experimentos alterados y poco regularizados que manipulan los resultados de forma de perjudicar a los OGMs. Un ejemplo de esto es el caso de un estudio realizado por el bioquímico Árpád Pusztai, que consistió en una investigación en la que concluyó que papas OGM que contenían el gen para la lectina *Galanthus nivalis* eran tóxicas, pero finalmente se descubrió que el experimento era defectuoso y poco riguroso, por lo que las conclusiones extraídas de él eran inválidas (Key et al., 2008). No obstante, gran parte de la población se quedó con el revuelo inicial, y hasta el día de hoy existen grupos anti OGM que utilizan este ejemplo como un fundamento válido.

Los OGM son sanos o tan perjudiciales como los alimentos que consumimos normalmente (que son producto de miles de años de ingeniería genética “natural” y la domesticación hecha por el humano). Se ha evidenciado que aquellos que presentan algún peligro, en ningún caso son liberados para ser comercializados, por lo que mientras se mantenga un marco regulatorio acorde a las nuevas tecnologías, que respete la ética y que, al mismo tiempo, permita realizar investigaciones de forma legal y segura, los OGM pueden contribuir de forma activa a la sociedad.

Actualmente los desafíos de la disciplina están enfocados en perfeccionar las técnicas existentes, y en el desarrollo de otras estrategias no genéticamente modificadas, como en el caso de la edición de genes, que puede eliminar, sustituir o mutar un gen específico, utilizando elementos como oligonucleótidos (ODM), y otras técnicas como CRISPR/Cas, ZFN, TALENs y SSNs (Kumar et al., 2020). También, se está comenzando a trabajar más en los cultivos de 2ª generación, ya que estos representan beneficios directos para los consumidores, haciendo más plausible que sus dudas y temores se disipen (Uauy, 2002). Por otro lado, se están desarrollando productos aún más ambiciosos, como las plantas resistentes al ambiente espacial, pensando en futuras colonizaciones a planetas vecinos y satélites (ChileBIO, 2020b). Pero antes de pensar en aquello, primero se debe mejorar la percepción en la tierra, abriéndole la puerta a los OGMs y a sus beneficios.

Referencias

- Acosta, O., & Guerrero, C. (2007). Alimentos transgénicos y alergenicidad. *Revista de la Facultad de Medicina*, 55(4), 251–269.
- AgroBio. (2017, 16 junio). *Más de 100 Premios Nobel firman carta contra Greenpeace y su oposición a los OGM*. Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola. <https://bit.ly/3ARnm0l>
- Alfalfas WL. (2019). *Preguntas Frecuentes – Alfalfas WL – Agvance – Mejores semillas producto de la investigación*. <https://bit.ly/30mqogB>
- Angulo, N. (2010). Manipulación Genética de los alimentos. Controversias Bioéticas para la Salud Humana. *Comunidad y Salud*, 8(2), 69–76.
- Aranda, G. S., Valenzuela, A., García, D. M., & Almeida, J. E. (2016). Efectos del glifosato sobre la salud humana. *El Centauro*, 8(11), 71–86. <https://doi.org/gz8m>
- Arruda, M. A. Z., Galazzi, R. M., de Campos, B. K., Herrera, M. A., Arruda, S. C. C., & Azevedo, R. A. (2016). Soybean as a Food Source: Comparative Studies Focusing on Transgenic and Nontransgenic Soybean [La soya como un recurso alimentario: estudios Comparativos Enfocándose en Soya Transgénica y No Transgénica]. En *Genetically Modified Organisms in Food: Production, Safety, Regulation and Public Health* (pp. 3–10). Elsevier.
- BBC News Mundo. (2016, 14 septiembre). *¿Cuál es exactamente el interés del gigante Bayer en Monsanto, el mayor productor de semillas del mundo?* <https://bbc.in/3DCKOjL>
- Benbrook, C. M. (2012). Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. – the first sixteen years [Impactos de cultivos modificados genéticamente en el uso de pesticidas en Estados Unidos – los primeros dieciséis años]. *Environmental Sciences Europe*, 24(1). <https://doi.org/gddc7t>
- Bera, R. (2009). The story of the Cohen–Boyer patents [La historia de las patentes Cohen–Boyer]. *Current Science*, 96(6), 760–763.
- Brodsgaard, H. F., Brodsgaard, C. J., Hansen, H., & Lövei, G. L. (2003). Environmental risk assessment of transgene products using honey bee (*Apis mellifera*) larvae [Evaluación del riesgo medioambiental de los productos transgénicos utilizando larvas de abeja melífera]. *Apidologie*, 34(2), 139–145.

- Brookes, G., & Barfoot, P. (2016). GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2014 [Cultivos genéticamente modificados: impactos mundiales socio-económicos y medioambientales 1996-2014]. *Dorchester, UK: PG Economics*.
- Bruening, G., & Lyons, J. (2000). The case of the FLAVR SAVR tomato [El caso del tomate FLAVR SAVR]. *California Agriculture*, 54(4), 6–7. <https://doi.org/ggx4vd>
- Bucchini, L., & Goldman, L. R. (2002). Starlink corn: a risk analysis [Maíz Starlink: un análisis de riesgo]. *Environmental Health Perspectives*, 110(1), 5–13. <https://doi.org/dwix7d>
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., & Zárata, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Botanical Sciences*, 61, 31. <https://doi.org/qz8p>
- ChileBIO. (2014, 25 noviembre). *Todo lo que debes saber sobre la nueva papa genéticamente modificada Innate*. <https://bit.ly/3Dx8sOt>
- ChileBIO. (2016, 16 diciembre). *FDA aprueba piña transgénica rosada alta en licopeno (anti-cancerígeno) como segura para consumo*. <https://bit.ly/2YEo1EO>
- ChileBIO. (2018, 7 diciembre). *Los cultivos transgénicos son seguros para las mariposas monarca*. <https://bit.ly/3mKfh8v>
- ChileBIO. (2019a, 12 agosto). *Etiquetado de transgénicos reduciría la oposición a estos alimentos*. <https://bit.ly/3oQxfsL>
- ChileBIO. (2019b, 30 agosto). *Como los cultivos transgénicos pueden aportar a la lucha contra la sequía*. <https://bit.ly/3GbCqc4>
- ChileBIO. (2020a, mayo 21). *Científicos japoneses desarrollan berenjena transgénica con 30 veces más pro-vitamina A*. <https://bit.ly/3IFmvVE>
- ChileBIO. (2020b, 3 julio). *Cómo los cultivos genéticamente modificados pueden ayudarnos a colonizar el espacio*. <https://bit.ly/30wfGnH>
- ChileBIO. (2021, 16 febrero). *¿Están las grandes empresas obligando a los agricultores a cultivar transgénicos?* <https://bit.ly/3p711Lt>
- Comisión Europea. (2004). *Preguntas y respuestas sobre la reglamentación relativa a los OMG en la UE*. European Commission. <https://bit.ly/3arUvEX>

Congreso de la República de Chile (Marzo 01, 1994). Ley 19300. *Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente*. DO. <http://bcn.cl/2s13l>

Congreso de la República de Chile (Marzo 07, 2006). Ley 20116. *Modifica la ley nº 18.892, general de pesca y acuicultura, con el fin de prohibir o regular, en su caso, la importación o cultivo de especies hidrobiológicas genéticamente modificadas*. DO. <http://bcn.cl/2neml>

Congreso de la República de Chile (Noviembre 15, 2015). Ley 20606. *Sobre composición nutricional de los alimentos y su publicidad*. DO. <http://bcn.cl/2gefz>

Crow, J. F. (1992). Sixty years ago: the 1932 International Congress of Genetics [Sesenta años atrás: el Congreso Internacional de Genética de 1932]. *Genetics*, 131(4), 761–768. <https://doi.org/gz8r>

Decreto 977 de 1997 [Ministerio de Salud]. Aprueba Reglamento Sanitario de los Alimentos. 13 de mayo de 1997.

Decreto 4525 de 2005 [Ministerio de Salud de la República de Colombia]. Reglamenta la Ley 740 de 2002. 7 de Diciembre de 2005.

Decreto 40 de 2012 [Ministerio del Medio Ambiente]. Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Medioambiental. 30 de Octubre de 2012.

Demanèche, S., Sanguin, H., Pote, J., Navarro, E., Bernillon, D., Mavingui, P., Wildi, W., Vogel, T. M., & Simonet, P. (2008). Antibiotic-resistant soil bacteria in transgenic plant fields [Bacterias del suelo resistentes a antibióticos en campos de cultivo de plantas transgénicas]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(10), 3957–3962. <https://doi.org/ccv8xd>

Directiva (UE) 2001/18 del Consejo, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la directiva 90/220/CEE del Consejo. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L106/1, 17 de Abril de 2001, pp. 1 – 38.

Durán, G., Monge, C., Herrera, G., & Gamboa, M. (2013). Tosferina, una enfermedad prevalente. *Medicina Legal de Costa Rica*, 30(1), 123–128.

Euronews. (2019, 14 mayo). *Condena millonaria a Monsanto en su tercera derrota en EE.UU.* <https://bit.ly/3FEQV8Y>

- Fassbinder, C. (2013). *Monsanto se disfraza con otros nombres. Tiene "empresas" vendedoras de semillas transgénicas*. Grupo Semillas. <https://bit.ly/3iV1mLE>
- Ferreirim, L. (2016). *Los transgénicos no son la solución al hambre en el mundo (ni a otros problemas nutricionales)*. Greenpeace España. <https://bit.ly/3ayuweU>
- Forbes Staff. (2020, 2 marzo). *Bayer afronta más de 48.000 demandas por el glifosato*. Forbes Colombia. <https://bit.ly/3BASNgi>
- Fuertes, S., Pardo, G., Cirujeda, A., & Taberner, A. (2015). TEOSINTE (Zeamays spp.), una nueva mala hierba del maíz: situación actual y medidas de erradicación. *Phytoma*, 24–28.
- Gangarosa, E., Galazka, A., Wolfe, C., Phillips, L., Miller, E., Chen, R., & Gangarosa, R. (1998). Impact of anti-vaccine movements on pertussis control: the untold story [Impacto de los movimientos anti-vacunas en el control de tosferina: la historia no contada]. *The Lancet*, 351(9099), 356–361. <https://doi.org/d6kccq3>
- Garcia, M. A., & Altieri, M. A. (2005). Transgenic Crops: Implications for Biodiversity and Sustainable Agriculture [Cultivos transgénicos: Implicancias para la biodiversidad y la agricultura sostenible] para . *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25(4), 335–353. <https://doi.org/fc349s>
- GMOs Can't Feed the World*. (2015) [Los OGMs No Pueden Alimentar el Mundo]. Green America. <https://bit.ly/3FFmNKH>
- Goldstein, D., Tinland, B., Gilbertson, L., Staub, J., Bannon, G., Goodman, R., McCoy, R., & Silvanovich, A. (2005). Human safety and genetically modified plants: a review of antibiotic resistance markers and future transformation selection technologies [Seguridad humana y plantas genéticamente modificadas: una revisión de los marcadores resistentes a antibióticos y futura transformación de tecnologías de selección]. *Journal of Applied Microbiology*, 99(1), 7–23. <https://doi.org/df495b>
- Gómez, J. (2013). La Revolución de la Ingeniería Genética. *Nova Acta Científica Compostelana*, 20, 13–21.
- Greenfacts. (s. f.). *Cultivos transgénicos: 5. ¿Qué efectos podrían tener los cultivos transgénicos sobre el medio ambiente?* Recuperado 28 de julio de 2021, de <https://bit.ly/3luJRnh>

- Greenpeace. (s. f.-a). *¿Por qué se opone Greenpeace a la liberación de Organismos Modificados Genéticamente (OMG) al medio ambiente?* Greenpeace España. Recuperado 23 de julio de 2021, de <https://bit.ly/3oUq2rK>
- Greenpeace. (s. f.-b). *La soja RR transgénica de Monsanto: ¿Pueden encontrarse más “errores”?* <https://bit.ly/3FGTqYu>
- Greenpeace. (2016). *Veinte años de fracaso: Por qué no han cumplido sus promesas los cultivos transgénicos.* <https://bit.ly/3iTmUZg>
- Gruere, G. P., Hoque, I., Valmonte-Santos, R., & Rosegrant, M. W. (2006). Potential of Transgenic Crops in Bangladesh: Findings from a Consultation of Bangladeshi Scientific Experts [El potencial de los Cultivos Transgénicos en Bangladesh: Resultados de una Consulta de Expertos Científicos Bangladesíes] . *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 86(3), 411–415. <https://doi.org/fwscqg>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo: Alcance, causas y prevención.* <https://bit.ly/3iUW1UJ>
- Hellmich, R. L., & Hellmich, K. A. (2012). *Use and Impact of Bt Maize | Learn Science at Scitable* [Uso e impacto del Maíz Bt | Aprende ciencia en Scitable]. Nature Education Knowledge. <https://go.nature.com/3FG4TXW>
- Herraez, A., & E. (2012). *Texto Ilustrado E Interactivo De Biología Molecular e Ingeniería Genética* (2.ª ed.). Elsevier.
- Hubbard, K. (2009). *Out of Hand: Farmers Face the Consequences of a Consolidated Seed Industry* [Se nos va de las manos: Los agricultores se enfrentan a las consecuencias de una industria de semillas consolidada]. Farmer to Farmer Campaign on Genetic Engineering.
- Human Insulin: Seizing the Golden Plasmid [Insulina Humana: Apoderándose del plásmido dorado]. (1978). *Science News*, 114(12), 195. <https://doi.org/bdxjwv>
- ISAAA. (s. f.). *GM Crops List - GM Approval Database | ISAAA.org* [Lista de cultivos GM – Database de GM aprobados]. ISAAA | International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. <https://bit.ly/3AvObqr>
- ISAAA Brief 55–2019: Executive Summary | ISAAA.org [Resumen ejecutivo | ISAAA.org]. (2020).ISAAA. <https://bit.ly/3arbyaa>

- Jamil, K. (2009). *Biotechnology – A Solution to Hunger?* [Biotecnología - ¿Una solución para el hambre?] United Nations. <https://bit.ly/3ACJP0J>
- Johnson, N. (2016, 28 marzo). These vitamin-fortified bananas might get you thinking differently about GMOs [Estos plátanos fortificados con vitaminas podrían hacerte pensar de manera diferente sobre los OGMs]. *Grist*. <https://bit.ly/3v0TBso>
- Jonas, D., Elmadfa, I., Engel, K. H., Heller, K., Kozianowski, G., König, A., Müller, D., Narbonne, J., Wackernagel, W., & Kleiner, J. (2001). Safety Considerations of DNA in Food [Consideraciones sobre la seguridad del ADN en alimentos]. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 45(6), 235–254. <https://doi.org/dxhnfp>
- Key, S., Ma, J., & Drake, P. M. (2008). Genetically modified plants and human health [Plantas genéticamente modificadas y salud humana]. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 101(6), 290–298. <https://doi.org/crkbmw>
- Klingaman, G. (2004). *Plant of the Week: Soybeans, Roundup Ready®* [Planta de la semana: Soya, Roundup Ready ®]. University of Arkansas | Division of Agriculture. <https://bit.ly/3aqohKp>
- Kogevinas, M. (2018). ¿Es cancerígeno el glifosato? *Investigación y Ciencia*, 498, 46.
- Kumar, K., Gambhir, G., Dass, A., Tripathi, A. K., Singh, A., Jha, A. K., Yadava, P., Choudhary, M., & Rakshit, S. (2020). Genetically modified crops: current status and future prospects [Cultivos genéticamente modificados: estatus actual y perspectivas futuras]. *Planta*, 251(4). <https://doi.org/ggznrz>
- Larrión, J. (2002). El papel de los expertos en la controversia sobre el arroz dorado de Potrykus y Beyer. *Inguruak: Revista Vasca de Sociología y Ciencia Política*, 34, 47–59.
- Losey, J. E., Rayor, L. S., & Carter, M. E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae [Polen transgénico daña a larvas de mariposas monarca]. *Nature*, 399(6733), 214. <https://doi.org/dcfdm7>
- Manzur, M. I. (2005). *Biotecnología y Bioseguridad: La Situación de los Transgénicos en Chile*. Fundación Sociedades Sustentables.
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. (2012, 22 junio). *Antibiotic-resistant genes* [Genes resistentes a antibióticos]. Biotechnology | Government.NL. <https://bit.ly/3BApniD>

- Mishiba, K. I., Nishida, K., Inoue, N., Fujiwara, T., Teranishi, S., Iwata, Y., Takeda, S., & Koizumi, N. (2020). Genetic engineering of eggplant accumulating β -carotene in fruit [Ingeniería genética de la acumulación de β -Caroteno en la berenjena]. *Plant Cell Reports*, 39(8), 1029–1039. <https://doi.org/g8pv>
- Monroy, C. M., Cortés, A. C., Sicard, D. M., & de Restrepo, H. G. (2005). Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas in vitro a glifosato. *Biomédica*, 25(3), 335–345. <https://doi.org/gz8w>
- Nordlee, J. A., Taylor, S. L., Townsend, J. A., Thomas, L. A., & Bush, R. K. (1996). Identification of a Brazil-Nut Allergen in Transgenic Soybeans [Identificación de un alérgeno de nuez de Brasil en soja transgénica]. *New England Journal of Medicine*, 334(11), 688–692. <https://doi.org/dmfvkv>
- OCU. (2021, 22 abril). ¿Qué son los Organismos Genéticamente Modificados (OGM)? www.ocu.org. <https://bit.ly/3oXIBfB>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020, 31 octubre). *Población | Naciones Unidas*. Recuperado 7 de diciembre de 2021, de <https://bit.ly/3EwnFQN>
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). *Alerta Epidemiológica | Tos Ferina (Coqueluche)*. <https://bit.ly/3mOKac8>
- Parlamento europeo y consejo. (Enero 27, 1997). Reglamento 258 de 1997. *Sobre nuevos alimentos y nuevos ingredientes alimentarios*. DO. <https://bit.ly/3AzQRTY>
- Parlamento europeo y consejo. (Enero 28, 2002). Reglamento 178 de 2002. *Por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria*. DO. <https://bit.ly/2YFjNNM>
- Parlamento europeo y consejo. (Septiembre 22, 2003). Reglamento 1829 de 2003. *Sobre alimentos y piensos modificados genéticamente*. DO. <https://bit.ly/2YIfAbq>
- Paul, J. Y., Khanna, H., Kleidon, J., Hoang, P., Geijskes, J., Daniells, J., Zaplin, E., Rosenberg, Y., James, A., Mlalazi, B., Deo, P., Arinaitwe, G., Namanya, P., Becker, D., Tindamanyire, J., Tushemereirwe, W., Harding, R., & Dale, J. (2016). Golden bananas in the field: elevated fruit pro-vitamin A from the expression of a single banana transgene [Plátanos dorados en el campo: elevada pro-vitamina A en la

- fruta producto de la expresión de un único transgén de plátano]. *Plant Biotechnology Journal*, 15(4), 520–532. <https://doi.org/f9jnpm>
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., & Morrison, D. (2000). Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States [Costos ambientales y económicos de especies no autóctonas en Estados Unidos]. *BioScience*, 50(1), 53.
- Puterka, G. J., Bocchetti, C., Dang, P., Bell, R. L., & Scorza, R. (2002). Pear Transformed with a Lytic Peptide Gene for Disease Control Affects Nontarget Organism, Pear Psylla (Homoptera: Psyllidae) [Pera transformada con un gen de péptido lítico para el control de enfermedades afecta a organismos no objetivo, Pisílido de pera (Homoptera: Psyllidae)]. *Journal of Economic Entomology*, 95(4), 797–802. <https://doi.org/cw3b6z>
- Radio Cooperativa. (2006, 20 junio). *Diputados aprobaron obligación de rotular alimentos transgénicos*. Cooperativa.cl. <https://n9.cl/9je70>
- Ramírez, J. A. (2020). Vacunas para COVID-19. *Respirar*, 12(1), 3–5.
- Rausell, C., Pardo-López, L., Sánchez, J., Muñoz-Garay, C., Morera, C., Soberón, M., & Bravo, A. (2004). Unfolding Events in the Water-soluble Monomeric Cry1Ab Toxin during Transition to Oligomeric Pre-pore and Membrane-inserted Pore Channel [Eventos de desdoblamiento en la toxina Cry1Ab monomérica soluble en agua durante la transición al prepore oligomérico y al canal de poros insertados en la membrana]. *Journal of Biological Chemistry*, 279(53), 55168–55175. <https://doi.org/b7p7k5>
- Resolución 3970 de 1997 [Servicio Agrícola y Ganadero]. Establece autorización para consumo animal de maíz transgénico con modificación (BT) y resistente a glufosinato. 30 de Diciembre de 1997.
- Resolución 1523 de 2001 [Servicio Agrícola y Ganadero]. Establece normas para la internación e introducción al medio ambiente de organismos vegetales vivos modificados de propagación. 6 de Julio de 2001.
- Resolución 6966 de 2005 [Servicio Agrícola y Ganadero]. Crea comité técnico de organismos genéticamente modificados (OGM's). 15 de Diciembre de 2005.

- Resolución 3928 de 2015 [Servicio Agrícola y Ganadero]. Crea comité técnico de organismos genéticamente modificados (OGM) y su secretaría, y deroga resolución nº 6.955 de 2005. 02 de Junio de 2015.
- Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N., & Seralini, G. E. (2005). Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase [Efectos diferenciales del glifosato y Roundup en las células placentarias humanas y la aromatasa]. *Environmental Health Perspectives*, 113(6), 716–720. <https://doi.org/c6nmx7>
- Riedl, H., Johansen, E., Brewer, L., & Barbour, J. (2006). *How to Reduce Bee Poisoning from pesticides* [Cómo reducir el envenenamiento de Abejas a causa de pesticidas]. Northwest Extension Publication. Oregon State University.
- Sagili, R. R., Pankiw, T., & Zhu-Salzman, K. (2005). Effects of soybean trypsin inhibitor on hypopharyngeal gland protein content, total midgut protease activity and survival of the honey bee (*Apis mellifera* L.) [Efectos del inhibidor de la tripsina de la soja sobre el contenido proteico de la glándula hipofaríngea, la actividad total de la proteasa del intestino medio y la supervivencia de la abeja melífera (*Apis mellifera* L.)]. *Journal of Insect Physiology*, 51(9), 953–957. <https://doi.org/cg4sw5>
- Salazar, N. J., & Aldana, M. L. (2011). Herbicida Glifosato: Usos, Toxicidad y Regulación. *BIOtecnia*, 13(2), 23–28. <https://doi.org/10.18633/bt.v13i2.83>
- Sánchez, M. A., & León, G. (2016). Status of market, regulation and research of genetically modified crops in Chile [Situación del mercado, la regulación y la investigación de los cultivos modificados genéticamente en Chile]. *New Biotechnology*, 33(6), 815–823. <https://doi.org/f89k38>
- Santamarta, J. (2004). Los transgénicos en el mundo. *World Watch*, 21, 24–28.
- Saro, E., Castillo, C., Cuba, J., Pérez, H., & González, I. (2012). La manipulación genética un enigma del siglo XXI. *Panorama Cuba y Salud*, 7(1), 37–43.
- Shaner, D. L., Lindenmeyer, R. B., & Ostlie, M. H. (2011). What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? [¿Qué nos han enseñado los mecanismos de resistencia al glifosato] *Pest Management Science*, 68(1), 3–9. <https://doi.org/c9xftk>

- Shukman, B. D. (2014, 24 enero). Genetically-modified purple tomatoes heading for shops [Tomates morados genéticamente modificados se dirigen a las tiendas]. *BBC News*. <https://bbc.in/2YKmhKG>
- Sims, S. R. (1995). *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* [CryIA (C)] protein expressed in transgenic cotton: effects on beneficial and other non-target insects [Proteína de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* [CryIA (C)] expresada en algodón transgénico: efectos sobre los insectos beneficiosos y otros insectos no objetivo]. *The Southwestern entomologist*, 20(4), 493–500.
- Smith, T., Granatstein, D., & Johnson, K. (2019). *Fire Blight of Apple and Pear* [Fire Blight de manzana y pera]. Washington State University | Tree Fruit. <https://bit.ly/3lvmSbv>
- Stein, A. J., & Rodríguez, E. (2009). *The Global Pipeline of New GM Crops* [La línea de producción mundial de nuevos cultivos transgénicos]. European Commission.
- Stepanek, W., Marchart, K., Brueller, W., Woegerbauer, M., Ribarits, A., Riediger, K., Poglitsch, M., Kuffner, M., Kopacka, I., Nossek, G., & Steinwider, J. (2014). *Risk Assessment of Second Generation Genetically Modified Organisms* [Evaluación del riesgo de los organismos modificados genéticamente de segunda generación]. Federal Ministry of Health, Vienna.
- Uauy, C. (2002). Tendencias y estadísticas de los cultivos transgénicos en el mundo. *Revista Agronomía y Forestal UC*, 15, 10–14.
- Urrutia, Í. (2008). El marco normativo de la Unión Europea sobre biotecnología. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 41(123), 1477–1530.
- USDA Foreign Agricultural Service. (2014). *Chile Agricultural Biotechnology Annual 2014* [Anuario de Biotecnología Agrícola de Chile 2014]. <https://bit.ly/3FG4PHJ>
- Vázquez, R. I., Gonzáles, J., García, C., Neri, L., Lopéz, R., Hernández, M., Moreno, L., & de la Riva, G. A. (2000). Cry1Ac Protoxin from *Bacillus thuringiensis* sp. *kurstaki* HD73 Binds to Surface Proteins in the Mouse Small Intestine [La protoxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* sp. *kurstaki* HD73 se une a las proteínas de superficie en el intestino delgado del ratón]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 271(1), 54–58.
- Velkov, V. V., Medvinsky, A. B., Sokolov, M. S., & Marchenko, A. I. (2005). Will transgenic plants adversely affect the environment? [¿Las plantas transgénicas afectarán

- adversamente al medioambiente?] *Journal of Biosciences*, 30(4), 515–548. <https://doi.org/c6kcf>
- Villalba, A. (2009). Resistencia a herbicidas. Glifosato. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 20(39), 169–186.
- Wolff, J. A., & Lederberg, J. (1994). An Early History of Gene Transfer and Therapy [Una historia temprana de la transferencia y de la terapia génica]. *Human Gene Therapy*, 5(4), 469–480. <https://doi.org/bd6r7c>
- Wraight, C. L., Zangerl, A. R., Carroll, M. J., & Berenbaum, M. R. (2000). Absence of toxicity of *Bacillus thuringiensis* pollen to black swallowtails under field conditions [Ausencia de toxicidad en el polen de *Bacillus thuringiensis* en mariposas cola de golondrina negra bajo condiciones de campo]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(14), 7700–7703. <https://doi.org/bc8rrk>
- Xu, C. (2015, 15 agosto). *Nothing to Sneeze at: the Allergenicity of GMOs [Nada de que estornudar: la alergenicidad de los OMG]*. Science in the News | Harvard University: The Graduate School of Arts and Sciences. <https://bit.ly/2X2IGC2>
- Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P., & Potrykus, I. (2000). Engineering the Provitamin A (β -Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm [Ingeniería de la biosíntesis de la provitamina A (β -Caroteno) en la vía biosintética (Sin Carotenoides) en el Endosperma de arroz]. *Science*, 287(5451), 303–305. <https://doi.org/fsmmxc>
- Zangerl, A. R., McKenna, D., Wraight, C. L., Carroll, M., Ficarello, P., Warner, R., & Berenbaum, M. R. (2001). Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions [Efectos de la exposición al polen de maíz del evento 176 *Bacillus thuringiensis* en las orugas de la monarca y de la cola de golondrina negra en condiciones de campo]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(21), 11908–11912

Anexo

Tabla 1

Principales OGMs de Primera Generación

	Año de liberación	Empresa desarrollada	País desarrollador	Gen modificado	Uso
 Alfalfa HarvXtra	2014 (Canadá), 2015 (Japón), 2019 (Filipinas), 2013 (EEUU) ^a	Monsanto, Forage Genetics International, Fundación Samuel Roberts Noble, Centro de Investigación de Forraje de Lácteos de los EE. UU y Pioneer ^{a,b}	Estados Unidos ^a	ccomt y nptII ^a	Resistencia a antibióticos y producción alterada de lignina ^a
 Alfalfa RR	2004 (EEUU), 2005 (Canadá y Japón), 2006 (Filipinas) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	CP4 EPSEPS ^a	Resistencia a Glifosato ^a
 Algodón GlyTol™	2002-2014 (Argentina), 2010 (Brasil), 2008-2009 (EEUU), 2009-2016 (Australia) ^a	Bayer ^a	Alemania ^a	2mepsps ^a	Resistencia a Glufosinato ^a
 Algodón Roundup Ready™ Flex™ Bollgard II™	2012 (Brasil), 2017 (Paraguay), 2007 - 2010 (Colombia) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	CP4 EPSPS, cry2Ab2, cry1Ac, uidA, nptII, aad ^a	Resistencia al Glufosinato, Insectos Lepidópteros, Resistencia a antibióticos y marcador visual ^a
 Algodón WideStrike™	2009 (Brasil), 2004 (México), 2011 (UE) ^a	Dow AgroSciences LLC ^a	Estados Unidos ^a	cry1F, cry1Ac y pat (syn) ^a	Resistencia al Glufosinato y a Insectos Lepidópteros ^a
 Canola RR	1994 (Canadá), 2001-2006 (Japón), 1995-1999 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	CP4 EPSPS y goxv247 ^a	Resistencia a Glifosato ^a
 Gly Canola Optimum	2014- 2016 (Australia), 2012 (Canadá), 2014-2015 (Japón), 2012-2013 (EEUU) ^a	DuPont ^a	Estados Unidos ^a	gat4621 ^a	Resistencia a Glifosato ^a
 Laurical™ Canola	1996 (Canadá), 1995-1994 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	te y nptII ^a	Resistencia a antibióticos y aceite y ácido graso modificado ^a
 Maíz BT (Agrisure™ CB/LL)	1996 (EEUU), 1998 (UE), 2001 (Argentina) ^a	Syngenta ^{a,g}	Suiza ^a	Bt11, cry1Ab y pat ^a	Resistencia a insectos ^{a,g} y Resistencia a Glufosinato ^a
 Maíz RR	2013 (Japón), 2012 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	CP4 EPSPS ^a	Resistencia a Glifosato ^a
 Maíz Starlink	1998 (EEUU) ^a	Bayer ^a	Alemania ^a	bar, cry9C, bla ^a	Resistencia a herbicidas ^a
 Papa Atlantic NewLeaf™	1996-1997 (Canadá) y 1996 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	cry3A y nptII ^a	Resistencia a Insectos Coleópteros y Resistencia a antibióticos ^a
 Papa Innate®	2016 (Canadá), 2014-2015 (EEUU) ^a	J.R. Simplot Co. ^a	Estados Unidos ^a	asn1, ppo5, PhL, R1 ^a	Resistencia a Insectos ^{a,h}
 Papa Shepody NewLeaf™ Y	1999-2001 (Canadá), 1998-1999 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	cry3A, pvy cp, nptII, aad ^a	Resistencia a insectos coleópteros, Resistencia a enfermedades virales, Resistencia a antibióticos ^a
 Remolacha InVigor™	1998 (EEUU), 2003 (Japón) ^a	Novartis Seeds y Monsanto ^a	Suiza, Estados Unidos ^a	CP4 EPSPS, goxv247, uidA ^a	Resistencia a Glufosinato y marcador visual ^a
 Remolacha Liberty Link™	2000-2001 (Canadá), 2001-2003 (Japón), 1998 (EEUU) ^a	Bayer ^a	Alemania ^a	pat, nptII ^a	Resistencia a Glufosinato y Resistencia a antibióticos ^a
 Remolacha RR	2005 (Canadá y Filipinas), 2003-2005-2007 (Japón), 2004-2005 (EEUU) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	CP4 EPSPS ^a	Resistencia a Glufosinato ^a
 Soja BT (Intacta™ Roundup Ready™ 2 Pro)	2013 (China), 2010 (Brasil), 2012 (Argentina) ^a	Monsanto y Otros ^a	Estados Unidos, China ^a	Inserción del gen cry1Ac ^c y cp4epsps ^a	Resistencia a insectos y Glifosato ^a
 Soja RR	1996 (EEUU, UE y Japón) ^{a,e}	Monsanto ^c	Estados Unidos ^a	Promotor 2x35S; Inserción del gen CP4 EPSPS ^d	Resistencia a Glifosato ^a

Nota. ^a(ISAAA, s. f.), ^b(Alfalfas WL, 2019), ^c(Greenpeace, s. f.-b), ^d(Villalba, 2009), ^e(Klingaman, 2004), ^f(Arruda et al., 2016), ^g(Stein & Rodríguez, 2009), ^h(ChileBIO, 2014).

Nota 2. En la columna “Año de liberación”, aquellos años presentados como un intervalo (por ejemplo: 2002-2014), quiere decir que en el primer año se autorizó para uso directo o procesado en alimentos, y el segundo año para alimentación (directa o procesada) y/o cultivo con uso doméstico o no doméstico.

Nota 3. Algunas variedades presentadas contenían modificaciones que ya habían sido aprobadas anteriormente, no obstante, la expuesta presenta mayores atributos, y la fecha de su autorización corresponde a cuando se aceptó esta última.

Tabla 2

Principales OGMs de Segunda Generación

	Año de liberación	Empresa desarrollada	País desarrollador	Gen modificado	Uso
 Arroz Anti-Alérgeno	No ha sido autorizado aún ^a	National Institute of Agrobiological Sciences ^a	Japón ^a	7crp, aph4 (ppt) ^a	Anti-alérgeno ^a
 Arroz Dorado	2019-2021 (Filipinas), 2018 (EE.UU.) ^a	International Rice Research Institute ^a (cuyos profesionales colaboraron con Monsanto, Syngenta, Bayer y Orynova) ^c	Filipinas ^a	prt1, psy1, pmi ^a	Aumento de contenido de vitamina A ^a
 Berenjena con Carotenoides	No ha sido autorizado aún ^{f,g}	Universidad de la Prefectura de Osaka ^{f,g}	Japón ^{f,g}	crb1 ^{f,g}	Aumento de contenido de vitamina A en hasta 30 veces más de lo habitual ^{f,g}
 Maíz Maver TM	2006 (Canadá), 2007 (Japón), 2005-2006 (EE.UU.) ^a	Revensen LLC ^a	Países Bajos ^a	cordapA ^a	Incrementa la producción de Lisina (aminoácido esencial en la nutrición y cría de ganado) ^{a,e}
 Manzana Fuji Arctic TM	2018 (Canadá), 2019 (EE.UU.) ^a	Okanagan Speciality Fruits Incorporated ^a	Canadá	nptII, gen de supresión PGAS PPO ^a	Permite que no se "oxide" la manzana, ni se vuelva "marrón" u "oscura" por efecto del aire ^a
 Melón A	1999 (EE.UU.) (Autorizado sólo para uso directo o procesado en alimentos) ^a	Agritope Inc. ^a	Estados Unidos ^a	sam-k, nptII ^a	Retrasa la senescencia ^a
 Papa Innate [®]	2016 (Canadá), 2014-2015 (EE.UU.) ^a	J.R. Simplot Co. ^a	Estados Unidos ^a	asn1, ppo5, PhL, R1 ^a	Menor Acrilamida (Prevención del Cáncer, Acrilamida es un posible cancerígeno) y evita ennegrecimiento por golpes ^b
 Piña Rosé	2016 (EE.UU.) (Autorizado para uso directo o procesado en alimentos) ^a	Del Monte Fresh Produce Company ^a	Estados Unidos ^a	Psy, b-Lyc, e-Lyc, acc ^a	Modificación del color (Rosada), aumento de Licopeno (prevención del cáncer) y beta caroteno, retraso de senescencia ^{a,e}
 Plátano Dorado	No ha sido autorizado aún ^h	Universidad de Tecnología de Queensland ^h	Australia, Uganda ^h	MtPsy2a, ZmPsy1 ^h	Aumento de contenido de vitamina A ^h
 Soya Visitive Gold	2011 (Canadá y EE.UU.), 2012-2013 (Japón) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	factb1-A, fad2-1A, CP4 EPSPS ^a	Disminución de ácidos grasos ^a
 Tabaco	2002 (EE.UU.) (Autorizado sólo para cultivación en uso doméstico o no doméstico) ^a	Vector Tobacco Inc. ^a	Estados Unidos ^a	NIQPT1, nptII ^a	Disminución de producción de nicotina ^a
 Tomate FLAVR SAVR TM	1992-1994 (EE.UU.), 1995 (Canadá y México; autorizado solo para uso directo o procesado en alimentos) ^a	Monsanto ^a	Estados Unidos ^a	pg, nptII ^a	Retrasa el ablandamiento de la fruta ^a

Nota. ^a(ISAAA, s. f.), ^b(ChileBIO, 2014), ^c(Larrión, 2002), ^d(ChileBIO, 2016), ^e(Stepanek et al., 2014), ^f(ChileBIO, 2020a), ^g (Mishiba et al., 2020), ^h(Paul et al., 2016).

Nota 2. En la columna "Año de liberación", aquellos años presentados como un intervalo (por ejemplo: 2002-2014), quiere decir que en el primer año se autorizó para uso directo o procesado en alimentos, y el segundo año para alimentación (directa o procesada) y/o cultivo con uso doméstico o no doméstico.

Nota 3. Algunas variedades presentadas contenían modificaciones que ya habían sido aprobadas anteriormente, no obstante, la expuesta presenta mayores atributos, y la fecha de su autorización corresponde a cuando se aceptó esta última.

Nota 4. El tomate FLAVR SAVR ya no está autorizado para ser comercializado, pues, producto de la controversia ocurrida por el experimento de Árpád Pusztai en el Reino Unido (mencionado anteriormente en la conclusión), se retiró de las tiendas y ya no es comercializado (Bruening & Lyons, 2000).