

Ingeniería en Biotecnología

**BENEFICIO POTENCIAL DE LA BIOTECNOLOGIA
MODERNA PARA EL CAMPO MEXICANO**

REPORTE

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO
DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

LUIS ALBERTO TAFOLLA RODRIGUEZ

ASESOR:

M.C. ISRAEL LORENZO FELIPE
DRA. TERESA SUSANA HERRERA FLORES

Pénjamo, Guanajuato, México; SEPTIEMBRE DEL 2018

 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PÉNJAMO</p>	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PÉNJAMO AUTORIZACIÓN IMPRESIÓN</p>	 <p>SAC01-RG-08</p>
---	--	--

México, 01/09/2018

A: Nombre asesor académico

Dra. Teresa Susana Herrera Flores

De: Nombre asesor industrial

M.C. Israel Lorenzo Felipe

Asunto: Autorización de impresión de reporte de estadía.

El alumno **Luis Alberto Tafolla Rodríguez**, perteneciente al programa académico de la **Ingeniería En Biotecnología** de la **Universidad Politécnica de Pénjamo** ha terminado sus estadías en nuestra empresa de forma satisfactoria y el reporte final que presenta Cumple con los requisitos solicitados previamente al alumno y además, **CARECE DE INFORMACIÓN** considerada como secreto industrial o que pudiera poner en riesgo de cualquier forma aspectos confidenciales del funcionamiento, por este motivo **S.A.G.A.R.P.A** por medio del asesor asignado M.C. **Israel Lorenzo Felipe** autoriza la impresión y publicación del presente trabajo titulado: **“BENEFICIO POTENCIAL DE LA BIOTECNOLOGIA MODERNA PARA EL CAMPO MEXICANO”**.

ATENTAMENTE

NOMBRE Y FIRMA

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PÉNJAMO CONSTANCIA DE LIBERACIÓN DEL REPORTE DE PROYECTO DE ESTADÍA	 SAC01-RG-10
---	--	--

Folio: 83/2018 IBT

El que suscribe **Luis Alberto Tafolla Rodríguez**, perteneciente al programa académico de **Ingeniería En Biotecnología** de esta institución, manifiesta que es autor intelectual del reporte final de estadía titulado “**BENEFICIO POTENCIAL DE LA BIOTECNOLOGIA MODERNA PARA EL CAMPO MEXICANO**”, del cual, el alumno cede los derechos a la Universidad Politécnica de Pénjamo para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Dicho trabajo se realizó bajo la asesoría académica de **Dra. Teresa Susana Herrera Flores**, quien manifiesta que ha cotejado el documento original de autorización de impresión por parte de **M.C. Israel Lorenzo Felipe** de la entidad receptora: **S.A.G.A.R.P.A**, por lo que considera que no existe ninguna observación pendiente para su publicación, y por lo tanto el proyecto queda **autorizado para la impresión**.

Se expide la presente el día 1 del mes de Septiembre del año 2018, en la ciudad de Pénjamo, Gto, para los fines a que haya lugar.

Nombre del alumno

Vo.Bo.

Asesor Interno

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco infinitamente a mis papás y hermanos por su apoyo incondicional y porque siempre estuvieron a mi lado cuando más los necesité, guiándome por el buen camino, esforzándose para salir adelante, siendo mis modelos de vida para un mejor desarrollo tanto personal como profesional.
- A mi novia, te doy las gracias por haberme apoyado y ayudado cuando más lo necesitaba, por estar conmigo, te amo y juntos saldremos adelante ayudándonos.
- A mis maestros, por brindarme herramientas valiosas para enfrentar los retos, tanto de la vida profesional como laboral, sin mencionar los buenos ratos que pasamos como amigos.
- A la Secretaría de Agricultura (SAGARPA), en especial a la Dirección General de Productividad y Desarrollo Tecnológico por abrirme las puertas al mundo laboral, así como de formar parte de un excelente equipo de trabajo, poniendo en práctica mis conocimientos profesionales para ayudar a fortalecer el conocimiento agrícola.
- A mis asesores: Dra. Teresa Susana Herrera Flores y al M.C. Israel Lorenzo Felipe, por brindarme su tiempo, apoyo y valiosos conocimientos para la orientación de este proyecto titulado ""

Índice

AGRADECIMIENTOS	iv
INTRODUCCION.....	1
JUSTIFICACION	2
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
CAPITULO I. ANTECEDENTES DE LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA	3
1.1 Antecedentes de la biotecnología moderna a nivel mundial	3
1.2 Antecedentes de la biotecnología moderna a nivel nacional	5
1.2.1 Principales investigadores.....	7
1.2.2 Empresas mexicanas	8
1.3 Primeros desarrollos biotecnológicos agrícolas	13
1.3.1 Mejoramiento de la composición y cualidades	14
1.3.2 Resistencia a virus, bacterias y hongos fitopatogenos	16
1.3.3 Plantas Genéticamente Modificadas con resistencia al ataque de insectos..	17
1.3.4 Plantas Genéticamente modificadas con mayor Tolerancia a factores ambientales	19
1.4 Perspectivas de los beneficios potenciales.....	20
1.5 Impacto de la biotecnología moderna en la agricultura.....	22
CAPITULO II MARCO REGULATORIO	27
2.1 Convenio de la Diversidad Biológica.....	27
2.2 Protocolo de Cartagena	29
2.3 Protocolo de Nagoya.....	31
2.4 Marco regulatorio mexicano para los OGMs.....	34
2.4.1 Protocolo de bioseguridad.....	35
2.4.2 Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)	35
2.4.3 Reglamento de la ley de bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (RLBOGM)	36
2.4.3.1 Régimen de protección especial del maíz	36
2.4.4 Normas Oficiales Mexicanas	36
2.4.4.1 NOM. Etiquetado de semillas genéticamente modificadas.....	36
2.4.4.2 NOM. Reporte de resultados	38
2.4.4.3 NOM: Análisis de riesgos	38
2.4.5 Normatividad Secundaria	40

2.5 Autoridades nacionales.....	41
2.6 Principales actores.....	45
CAPITULO III RIESGOS Y BENEFICIOS DE LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA EN LA AGRICULTURA.....	57
3.1 Evidencia científica de los posibles riesgos	57
3.2 Evidencia científica de los posibles beneficios.....	65
3.3 Medidas de bioseguridad y evaluación de riesgo	69
3.3.1 Tipos de medias de bioseguridad.....	71
3.3.1.1 Transporte de material vegetal experimental	71
3.3.1.2 Acciones correctivas en el caso de una liberación accidental	72
3.3.1.3 Aislamiento espacial.....	72
3.3.1.4 Aislamiento temporal	73
3.3.1.5 Control de Plantas voluntarias.....	73
3.3.1.6 Control restringido a sitios experimentales	74
CAPITULO IV CAPACIDAD CIENTÍFICA EN MÉXICO	75
4.1 Principales desarrolladores a nivel mundial	75
4.1.1 Áreas agrícolas y ganaderas.....	75
4.2 Centros de Investigación Mexicanos	78
4.2.1 Sistema Nacional Investigadores, SNI: Investigadores en el área de la Biotecnología.....	81
4.3 Principales investigadores en OGMs en México.....	84
4.3.1 Investigadores que desarrollan OGMs en México	84
4.3.2 Instituciones de afiliación de los investigadores	85
4.4 Principales desarrollos de OGMs mexicanos.....	86
4.4.1 Papa tolerante a virus del CINVESTAV.....	87
4.4.3 Frijol resistente a enfermedades del INIFAP	87
4.4.4 Maíz tolerante a sequia del CINVESTAV	88
4.4.5 Limón tolerante a HLB del CINVESTAV	89
4.5 Desarrollos potenciales de OGMs en México	91
4.5.1 Captación mejorada de fósforo en plantas de tabaco transgénico que sobre producen citrato.....	91
4.5.2 Una enzima TPS-TPP bifuncional de la levadura confiere tolerancia a condiciones de estrés abiótico múltiple y extremo en <i>Arabidopsis</i>	91
4.5.5 Plátanos Cavendish transgénicos con resistencia a la marchitez de Fusarium raza tropical 4.....	91

4.5.6 Papaya transgénica: una plataforma útil para las vacunas orales.....	92
CAPITULO V BENEFICIOS POTENCIALES PARA MÉXICO.....	95
5.1 Definición de los cultivos y tecnologías prioritarias	95
5.2 Identificación de áreas para el fomento y uso de la biotecnología moderna en la agricultura mexicana.....	96
5.3 La coexistencia como práctica sostenible	109
5.3.1 Medidas de coexistencia	112
5.3.1.1 Aislamiento (espacial y/o temporal).....	112
5.3.1.2 Barreras de cultivos.....	114
5.3.1.3 Rotación de cultivos	114
5.3.1.4 Pureza de semillas	115
5.3.1.5 Zonas libres.....	116
5.3.2 Acciones que pueden favorecer la coexistencia	117
5.4 Beneficios socioeconómicos	118
5.5 Impacto en los sistemas productivos sostenibles	120
5.6 GAANTRY, técnica novedosa para la transferencia de múltiples genes.....	122
5.7 La edición de genomas y su impacto en la productividad agrícola	124
5.8 Política Mexicana en materia de Organismos Genéticamente Modificados.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Empresas e Instituciones Públicas que incursionaron en el desarrollo de cultivos genéticamente modificados.....	10
Figura 2 Resoluciones emitidas para las solicitudes de permiso de liberación al ambiente de Organismos Genéticamente Modificados 1991-2017.....	11
Figura 3 Solicitudes de liberación al ambiente de OGMs ingresadas con relación a la Ley LBOGM.....	12
Figura 4 Solicitudes aprobadas para su liberación al ambiente (1988-2018).....	12
Figura 5 Relación del Protocolo de Nagoya con el Convenio sobre la Diversidad Biológica.	33
Figura 6 Alcance del Protocolo de Nagoya.....	34
Figura 7 Etiqueta de cultivos genéticamente modificados.....	37

Figura 8 Etiqueta de embarque	38
Figura 9 Esquema de la evaluación de riesgos	39
Figura 10 Proceso de Resolución de un Permiso para la siembra de cultivos genéticamente modificados en México.....	44
Figura 11 Beneficios del Algodón transgénico en México	68
Figura 12 Principales beneficios de la siembra de algodón transgénico en México	69
Figura 13 Aislamiento espacial entre cultivos genéticamente modificados	73
Figura 14 Área de investigación de las universidades de agricultura	81
Figura 15 Investigadores del Sistema Nacional de Investigadores en Ciencias Agrícolas, 2015.	82
Figura 16 Investigadores desarrolladores de OGMS.....	85
Figura 17 Institutos desarrolladores de OGMS.....	85
Figura 18 Área de investigación	86
Figura 19 Papa genéticamente modificada	87
Figura 20 Variedades de frijol OGMS desarrolladas por el INIFAP.....	88
Figura 21 Maíz genéticamente modificado	89
Figura 22 Limón genéticamente modificado	90
Figura 23 Cultivos genéticamente modificados	96
Figura 24 Aislamiento espacial y temporal como medida de coexistencia	113
Figura 25 Barrera de cultivo como medida de coexistencia	114
Figura 26 Rotación de cultivos como medida de coexistencia	115
Figura 27 Pureza de semilla como medida de coexistencia	116
Figura 28 Zonas libres de OGMS como medida de coexistencia.....	117
Figura 29 Construcción transferida mediante GAENTRY en Arabidopsis.	124
Figura 30 Edición de genes mediante la técnica CRISPR-Cas9	126

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Autorización en México por la COFEPRIS, para la comercialización de organismos genéticamente modificados (2008-2017).....	11
Cuadro 2 Desarrollo de cultivos genéticamente modificados en México evaluados en el 2001	14

Cuadro 3 Lista de cultivos genéticamente modificados con optimización nutricional, autorizados a nivel mundial para su siembra.....	15
Cuadro 4 Lista de cultivos genéticamente modificados con resistencia a virus autorizados a nivel mundial para su siembra	17
Cuadro 5 Grupos de insectos plaga que pueden ser controlados por diversos genes autorizados a nivel mundial para su empleo en la agricultura	18
Cuadro 6 Cultivos genéticamente modificados con tolerancia a factores ambientales autorizados a nivel mundial para su siembra.....	20
Cuadro 7 Países que han realizado siembras comerciales de cultivos genéticamente modificados durante el año 2016.....	25
Cuadro 8 Característica de los principales cultivos genéticamente modificados autorizados para consumo humano en diversos países.....	26
Cuadro 9 Normatividad secundaria	40
Cuadro 10 Principales actores de la autoridad nacional.....	41
Cuadro 11 Preocupación científica de expertos nacionales en materia de Organismos Genéticamente Modificados	46
Cuadro 12 Organizaciones campesinas y su postura respecto a los cultivos genéticamente modificados en México.....	52
Cuadro 13 Posición de Organizaciones Civiles respecto a los cultivos genéticamente modificados en México	54
Cuadros 14 Evidencias científicas de los Posibles riesgos de OGMs	61
Cuadro 15 Posibles beneficios de OGMs.....	67
Cuadro 16 Centros de investigación especializados en biotecnología en México	79
Cuadro 17 Instituciones en el área de biotecnología	83
Cuadro 18 Necesidades de Investigación de AMEXAGRO que pueden ser atendidas con el uso de la Biotecnología.....	99

INTRODUCCION

México es uno de los países en los que la biotecnología puede y debe de tener un papel protagónico para el desarrollo y el uso de productos biotecnológicos como biofertilizantes, cultivos mejorados con marcadores moleculares e ingeniería genética, medicamentos, alimentos nutraceuticos, biorremediación, y bioenergéticos. En el país se utiliza ampliamente la biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos agrícolas y de manera limitada en el sector pecuario. Además, cuenta con programas de investigación en alimentación, salud humana y animal y en algunos sectores industriales. México tiene un marco legal relacionado con bioseguridad diseñado para prevenir y controlar los posibles riesgos del uso y aplicación de los productos biotecnológicos en la salud humana y la protección animal, vegetal y ambiental. En 1996, México fue uno de los primeros seis países que a nivel mundial iniciaron la siembra comercial de cultivos genéticamente modificados, al permitir la liberación al ambiente de algodón, restringiendo su siembra a la parte norte del país, por ser centro de origen de este cultivo en el sureste mexicano, principalmente en la Península de Yucatán. Actualmente existen serias restricciones para realizar liberaciones al ambiente de cultivos biotecnológicos que encarecen los costos para las instituciones publicaciones nacionales para ofertar tecnología nacional, sin embargo, debe existir una reorientación de Políticas Públicas para el fomento y uso de la biotecnología moderna en el campo Mexicano, restringiendo su uso a problemáticas nacionales de los agricultores y a zonas donde no representen un riesgo para la biodiversidad de especies nativas. Por lo cual, este proyecto conlleva a diversos análisis relevantes que existen sobre la biotecnología moderna y sus efectos en la agricultura nacional, considerando posibles riesgos y beneficios de la tecnología, los cuales se fundamentan en evidencia científica, con la finalidad de que sea un referente para tomadores de decisión.

JUSTIFICACION

La Biotecnología moderna es una actividad multidisciplinaria, que usa el conocimiento generado en diversas disciplinas, para estudiar, modificar y utilizar los sistemas biológicos (microbios, plantas y animales). La biotecnología moderna se debe orientar a buscar hacer un uso responsable y sostenible de la biodiversidad, mediante el desarrollo de tecnología de bajo riesgo, eficaz, inocua y competitiva para facilitar la solución de problemas importantes en el sector agropecuario y ambiental, por lo cual, el siguiente proyecto tiene la finalidad de dar a conocer un análisis de los posibles beneficios potenciales de la biotecnología moderna para el campo mexicano.

OBJETIVOS

Objetivo general

Mencionar los posibles beneficios potenciales de la biotecnología moderna para el campo mexicano, con la finalidad de contribuir a la definición de una nueva política pública para emplear desarrollos biotecnológicos empleando la ingeniería genética en el campo mexicano.

Objetivos específicos

- Explicar los beneficios de los cultivos genéticamente modificados en la agricultura mexicana, así como sus posibles riesgos asociados.
- Presentar las capacidades científicas y tecnológicas de México para aprovechar la biotecnología moderna en la agricultura.
- Comparar con base en estudios científicos que beneficios tienen los organismos genéticamente modificados contra los cultivos tradicionales dentro del marco regulatorio de la inocuidad y sanidad.
- Dar a conocer nuevas estrategias para la regulación de Organismos Genéticamente Modificados para la agricultura mexicana.

CAPITULO I. ANTECEDENTES DE LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA

1.1 Antecedentes de la biotecnología moderna a nivel mundial

Durante siglos los agricultores han utilizado métodos de selección para mejorar sus cultivos y ganadería. El método más tradicional era:

- 1- En relación con las plantas, guardar las semillas de una planta particular que diese el rendimiento óptimo, o que presentase la mejor combinación de determinadas características deseadas.
- 2- En relación con los animales, controlar la reproducción animal para desarrollar al máximo y reforzar los caracteres deseables.

Con el tiempo los controles sobre la reproducción de plantas y animales, e incluso de algunos microorganismos útiles (tales como las levaduras utilizadas en el pan y en la vinificación) se fueron volviendo más complejos, incluyendo procesos para desarrollar híbridos. (Unión Mundial para la Naturaleza, 2004)

Los primeros avances de la biotecnología moderna, en sus etapas pre-competitivas se desarrollaron en las grandes universidades norteamericanas y europeas. La modificación en la Ley de Patentes de Estados Unidos de América. (Acta Bayh-Doyle) en 1982 facilitó enormemente los trámites de patentamiento por parte de las Universidades y los Institutos Públicos, lo cual se constituyó en un impulso para la investigación y el desarrollo en las denominadas nuevas tecnologías. En el mundo empresario, en para 2017 se cumplieron 41 años del lanzamiento de Genentech, empresa considerada como la primera firma biotecnológica (moderna) (Bisanga, 2009).

El nuevo paradigma de las semillas biotecnológicas o genéticamente modificadas implica un paso más en el proceso de mejoramiento genético, pero con nuevos agentes económicos provenientes de disciplinas externas a la agricultura, como lo relacionado a la propiedad intelectual, pago de regalías y otros aspectos legales no considerados previamente con los cultivos convencionales o aquellos que no poseen genes

adicionados en laboratorios. Inicialmente la posesión del gen, los métodos de selección e introducción y la reproducción *in vitro*, son actividades donde los conocimientos en biología molecular, química e incluso informática, superan al conocimiento de los anteriores “mejoradores genéticos de semillas”. (Bisanga, 2009).

Derivado de que las nuevas semillas genéticamente modificadas pudieran reemplazar a las antiguas y tradicionales variedades, así como materiales nativos y a sus parientes silvestres, existe la posibilidad de un deterioro genético por la alta rentabilidad de estas semillas. (Altieri M. , 2009, pág. 105), sin embargo, dicho reemplazo de semillas, se generara en regiones agrícolas específicas, derivado de que las nuevas semillas mejoras con biotecnología al igual que las semillas híbridas, demanda suelos fértiles, profundos, con baja pendiente para el uso de maquinaria agrícola e insumos externos como fertilizantes y agroquímicos, por lo que las zonas con estas características se reducen significativamente, y actualmente dichas zonas por lo general y en su totalidad se cultivan con semillas híbridas, por lo que la posible erosión genética en estas zonas sería insignificante al no existir semillas nativas o parientes silvestres.

Los primeros desarrollos sustantivos fueron realizados a inicios de la década del ochenta por cuatro universidades y una empresa: Universidad de Cambridge ,Washington University-St. Louis, EE.UU.; University of Wisconsin-Madison, EE.UU.; Monsanto-St. Louis, EE.UU., Rijksuniversiteit Ghent, Bélgica, en donde se contó con la participación del investigador mexicano Dr. Luis Herrera Estrella, que posteriormente ingresarían al selecto grupo de organizaciones que comercializan dichas semillas bajo rígidos esquemas de protección legal mejor conocidos como patentes, ofertando semillas biotecnológicas con beneficios a los productores por la tolerancia a herbicidas para un mejor y más barato control de malezas, así como la tolerancia a insectos por la expresión de toxinas de alta especificidad para plagas objetivo y alta inocuidad (Bisanga, 2009)

La comercialización del primer cultivo genéticamente modificado fue registrada oficialmente en 1996, antes de esta fecha, China plantaba tabaco y Estados Unidos tomate para fines comerciales en 1992 y 1994, respectivamente. El tomate FLAVR-SAVR

fue el primer cultivo genéticamente modificado comercializado de forma oficial en el año 1996. Este producto fue diseñado para retrasar la maduración del tomate al reducir considerablemente la síntesis de la enzima poligacturonasa en el fruto de tomates en maduración, a través de la introducción de una copia en orientación reversa del gen que codifica para dicha enzima. Adicionalmente, en el año 1995 se sembraron en Canadá plantas de canola genéticamente modificadas resistentes al herbicida Bialaphos (Glufosinato de amonio) y su cultivo fue comercializado sin restricciones a partir del año 1997, estos primeros desarrollos tecnológicos se generaron pensando en los productores, sin embargo se espera que los nuevos desarrollos biotecnológicos permitan contribuir a cerrar la brecha en cuanto a seguridad alimentaria, mejorando los índices de productividad de los cultivos, aumentando su contenido nutricional o sembrando variedades tolerantes a condiciones ambientales desfavorables. (Gutierrez Galeano, Ruiz Medrano, & Xoconostle Cázares, 2015)

La visión de los investigadores en biotecnología es solucionar los problemas asociados con la producción de alimentos en áreas agrícolas marginales, las cuales poseen suelos con poca fertilidad, poca profundidad, problemas de pH, salinidad, presentan condiciones meteorológicas adversas como sequías, heladas, entre otros factores limitantes, por lo que han tratado de desarrollar cultivos Genéticamente Modificados con características que beneficien a los pequeños agricultores y que presentan bajo impacto ambiental y a la salud humana (Altieri M. , 2001, pág. 156)

1.2 Antecedentes de la biotecnología moderna a nivel nacional

Cuando inicio en México, orígenes del laboratorio del CINVESTAV Irapuato, Luis Herrera estrella de la biotecnología junto Con su equipo de investigación logró descifrar el genoma del maíz. Después de realizar investigaciones de los mecanismos moleculares de la acción de toxinas que producen las bacterias patógenas de las plantas del frijol, logró desarrollar plantas transgénicas resistentes a dichas toxinas, posteriormente, con su equipo de trabajo, desarrolló la metodología para lograr la transformación genética del tomatillo, papaya, maíz criollo, espárrago y otros vegetales de Latinoamérica.

La biotecnología moderna en México en relación a la investigación el desarrollo y la comercialización se encuentra en fase de expansión y diversificación. Actualmente, se están explorando nuevas aplicaciones en salud tanto humana como veterinaria, modernización agrícola, protección del medio ambiente, biocombustibles y otras áreas. Además, México ofrece una oportunidad atractiva para el desarrollo de la biotecnología comercial, ya que cuenta con gran biodiversidad, mano de obra capacitada y costos competitivos, así como con tratados de libre comercio con 45 países, una posición geográfica privilegiada y un marco legal y regulatorio accesible. (PROMÉXICO, 2016)

Cuando se empezó a generar la biotecnología en México tuvo la oportunidad de integrarse a ella y desarrollar una estrategia biotecnológica nacional. La realidad es que esta tecnología avanzaba muy rápido y México se quedó atrás, debido a una falta de acuerdo y organización de criterios de distintas instituciones. (Manuel & Robert, 1999)

La investigación agrícola que históricamente se ha realizado en México se ha enfocado casi exclusivamente hacia la productividad de los recursos naturales (suelo, agua, clima y germoplasma) de las regiones más productivas, que aquí se clasifica como del tipo revolución verde. (Fernández & Cortés Flores, 2005, pág. 7) La producción en tierras en distintas regiones de riego de forrajes y oleaginosas decayó en 6.4% de 1982 a 1987, mientras que la producción de leche cayó en 14.6% de 1986 a 1989 y la comercialización de ganado bovino se redujo en un 50% de 1980 a 1989. Una de las características de la crisis de los años ochenta fue la descapitalización del campo mexicano y el vacío en cuanto a opciones rentables de inversión en la agricultura. Uno de los signos más claros del surgimiento de dichas actividades como alternativa para la crisis, lo constituye el hecho de que la biotecnología ha empezado a aplicarse a un nivel comercial justamente en estas actividades. Mientras existe un conjunto de investigaciones que no han superado el nivel experimental en los cereales, forrajes, leguminosas, caña, etc.

A través de herramientas biotecnológicas como la crioconservación, selección celular, embriogénesis somática y marcadores moleculares, el cuerpo de investigadores crea híbridos de especies vegetales, combinando diferentes cepas para lograr una planta de mejores características, ya sea colores, aromas o resistencia, para lograr mayor

productividad y mejor calidad, fue desarrollar puntos de crecimiento para tener nuevas plantas y hacer cruza entre distintas especies de nardos silvestres para traer características de colores y formas de flores diferentes, de resistencia. (Muñoz, 2017)

1.2.1 Principales investigadores

1. FRANCISCO GONZALO BOLÍVAR ZAPATA: Su trabajo de investigación y desarrollo tecnológico es pionero a nivel mundial en el área de la biología molecular y la biotecnología, en particular en el aislamiento, caracterización y manipulación de genes en microorganismos, en donde construyó el primer vector para que investigadores pudieran lograr la transformación genética de plantas.
2. LUIS HERRERA ESTRELLA: colaboró en el laboratorio de Gante en Bélgica, con el equipo de investigadores a nivel mundial que desarrollaron las técnicas para introducir genes en plantas y se pudieran expresar funcionalmente, por lo que fue líder junto con Marc Van Montagu y Jeff Schell fue el grupo que produjo las primeras plantas transgénicas en el mundo. En México, promovió la construcción y puesta en marcha del laboratorio de ingeniería genética en el CINVESTAV Irapuato, en donde contribuyó a la formación de especialistas que desarrollaron diversas plantas genéticamente modificadas, destacando el cultivo de la papa para la tolerancia a virus, el cual fue un esfuerzo de colaboración en conjunto con Monsanto.
3. ALFONSO LARQUÉ SAAVEDRA: Realizó aportaciones para la producción continua de maíz y de hongos comestibles, así como el control hormonal del agua y considerado pionero a nivel mundial del estudio de la aspirina en plantas. Sus aportaciones del uso de salicilatos para incrementar la productividad en el sector agrícola son reconocidas internacionalmente y aplicadas por empresas transnacionales en plantas, producción de alimentos y que integran el uso de la biotecnología y la fisiología vegetal en beneficio del desarrollo rural por sus trabajos con plantas como el maíz, henequén y con los hongos comestibles. (Bolívar Zapata, 2003)

1.2.2 Empresas mexicanas

Seminis empresa mexicana que logró controlar el 22% del mercado internacional de semillas, fue fundada en 1994 por el magnate mexicano Alfonso Romo como parte de su grupo Savia. En ese tiempo soñaba con los organismos genéticamente modificados, pero la empresa tuvo fuertes pérdidas, y en 2003 vendió Seminis a Fox Paine, firma estadounidense de inversión privada. Seminis tenía diversos programas de mejoramiento genético y parte de su investigación y ventas radicaba en Europa, sin embargo, ante los temores y los reglamentos europeos, Seminis no intentó impulsar en Europa a los organismos genéticamente modificados, acción que si impulso fuertemente en México, pero que derivado del embate de grupos ambientalistas y activistas como Greenpace que impulsaron campañas en contra del consumo de alimentos mejorados genéticamente, modificó las expectativas y planes de negocios de Romo, por lo que terminó por vender los activos de Seminis a su competidor estadounidense, la voraz y salvaje empresa Monsanto, para cubrir parte de la deuda que mantenía Savia por más de 1,300 millones de dólares. (Romo, 2011).

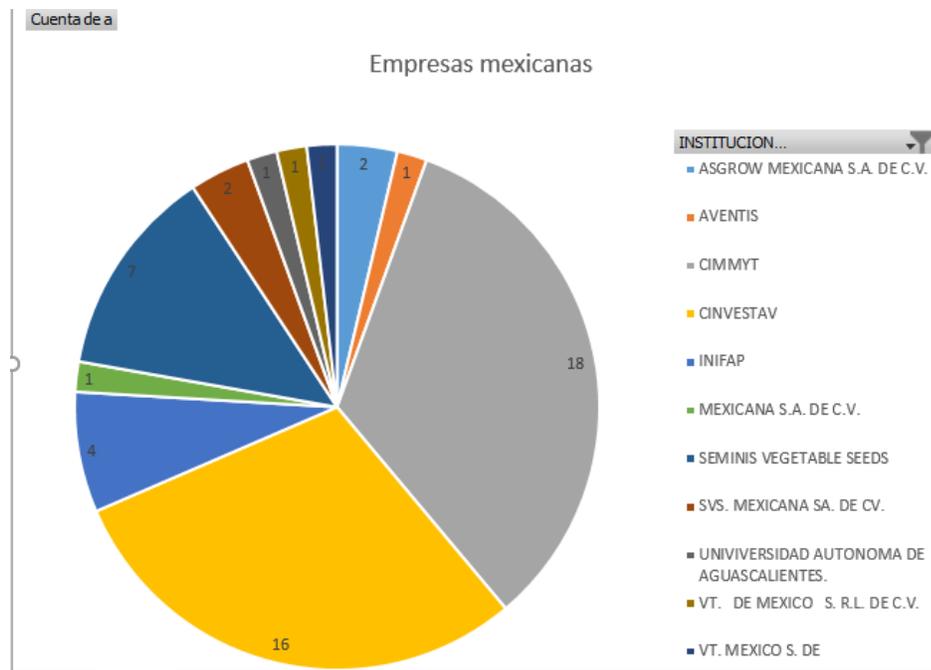
Asgrow La investigación y experimentación agrícola que promovieron las autoridades mexicanas durante varios lustros, encontró nuevas vías de desarrollo cuando desde los años sesenta empiezan a establecerse empresas trasnacionales y nacionales de carácter privado vinculadas con el nuevo y próspero negocio que representa la industria de semillas. En tanto se iniciaba la construcción de las primeras plantas para beneficio de las semillas cultivadas en México bajo la gestión del capital privado. Iniciaban sus operaciones, en 1961, tres filiales de empresas norteamericanas que se esforzaban en penetrar el mercado internacional: Asgrow, Northrup King y Semillas Híbridas (Dekalp). Estas empresas tratan desde entonces de realizar sus propias investigaciones para adaptar material genético básico a las condiciones mexicanas, que les permitan generar nuevas variedades en las diferentes líneas de cultivos, para facilitar el ensamblamiento del mercado nacional y su rápida penetración (Romero Polanco, 2002).y en 1997 Monsanto compra la empresa agrónoma de semillas Asgrow (Oliver Quintián, 2017).

El CIMMYT surgió de un programa piloto de investigación científica patrocinado por el Gobierno de México y la Fundación Rockefeller en las décadas de 1940 y 1950 destinado a elevar la productividad agrícola en México con la colaboración de Norman Borlaug, especialista de ese programa junto con investigadores y agricultores mexicanos, desarrollaron variedades de trigo robustas, de tallo corto, resistentes a las royas y que producían más grano que las variedades tradicionales y fueron adaptadas a diversas condiciones climáticas. Esas variedades ayudaron a México a lograr su autosuficiencia en trigo en los años 1950 y fueron importadas a India y a Pakistán en la década de los 60, donde ayudaron a salvar a la población de una inminente hambruna y en poco tiempo a elevar de manera impresionante la producción de trigo en ambos países. El CIMMYT se estableció oficialmente en 1966 como organización internacional. El Dr. Borlaug recibió el Premio Nobel de la Paz en 1970 por sus contribuciones a la Revolución Verde, fue científico y líder de investigación sobre trigo en el CIMMYT hasta 1979 y posteriormente consultor del Centro hasta su fallecimiento, en 2009. (CIMMYT, 2016)

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) es una institución pública mexicana dedicada al desarrollo de ciencia, tecnología y a la educación a nivel de posgrado. Inició sus actividades en 1961 bajo la dirección del científico mexicano Arturo Rosenblueth Stearns.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es al brazo científico de la SAGARPA, principal ente desarrollador de ciencia y tecnología agropecuaria, además de principal capacitador y agente de transferencia de tecnología a los productores, ha desarrollado un frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. Flor de Mayo Anita con tolerancia de amplio espectro a hongos fitopatógenos. A las cuales les fue insertado el gen defensina que sintetiza la proteína antimicrobiana de amplio espectro para conferir resistencia a hongos fitopatógenos. Estas líneas han demostrado ser resistentes al hongo de follaje antracosis (*Colletotrichum lindemuthianum* cepas 448 y 1472), y a hongos que ocasionan pudriciones de raíz (*Rhizoctonia solani* y *Fusarium lateritium*). (Mora Avilés & Espinosa Huerta, 2015)

Figura 1 Empresas e Instituciones Públicas que incursionaron en el desarrollo de cultivos genéticamente modificados



Fuente Elaboración propia con los datos (COFEPRIS, 2017)

Autorizaciones para comercialización

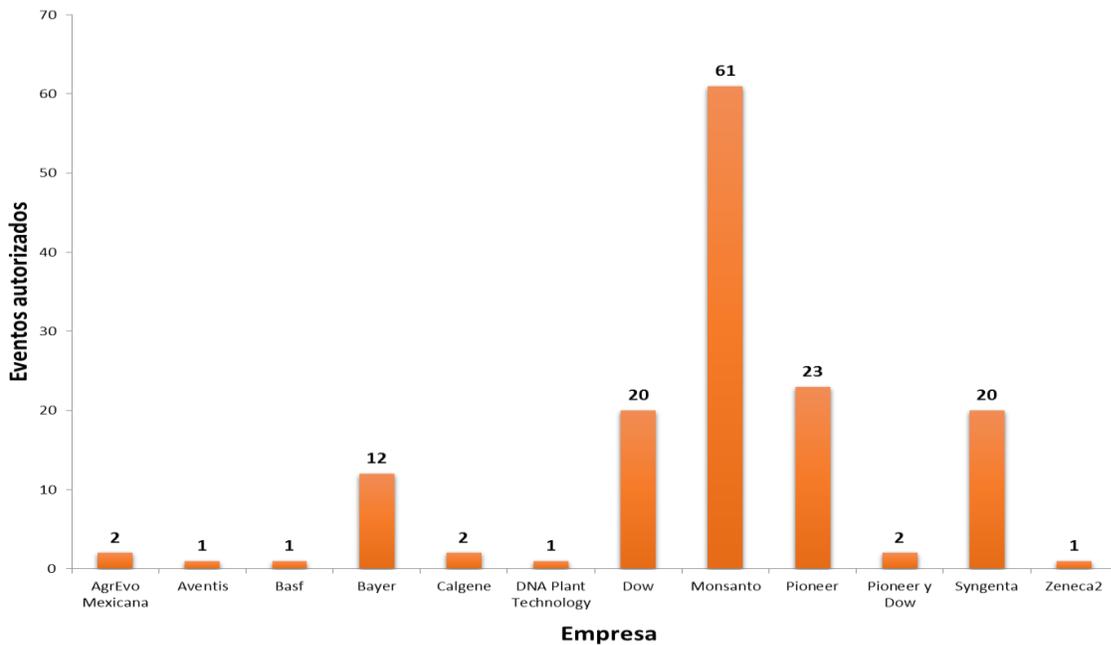
La comercialización de organismos genéticamente modificados en México, inicia en 1995 y a la fecha, la Secretaría de Salud a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, COFEPRIS, ha aprobado la comercialización para el consumo humano de 135 eventos de transformación o eventos apilados. (Chávez, 2015)

Cuadro 1 Autorización en México por la COFEPRIS, para la comercialización de organismos genéticamente modificados (2008-2017).

Eventos autorizados	Etiquetas de columna										Total general
Etiquetas de fila	Alfalfa	Algodón	Arroz	Canola	Jitomate	Maíz	Papa	Remolacha azucarera	Soya		Total general
Ácido estearidónico									1		1
Ácido estearidónico y tolerante a herbicida									1		1
Ácido oléico y tolerante a herbicida									4		4
Androsterilidad y tolerante a herbicida					2						2
Incremento de aminoácidos							1				1
Incremento de aminoácidos y resistente a insectos							1				1
Maduración retardada						3					3
Resistente a insectos			7				7	3		1	18
Resistente a insectos y tolerante a herbicida			16				46			2	64
Resistente a insectos, tolerante a herbicida y proteína termoestable							1				1
Tolerante a herbicida		2	10	1	6		9		1	13	42
Tolerante a sequía							1				1
Tolerante a sequía y tolerante a herbicida							1				1
Tolerante a sequía, resistente a insectos y tolerante a herbicida							2				2
Proteína termoestable							1				1
Tolerante a herbicida y Androsterilidad					1						1
Tolerante a herbicida y reducción de la lignina		1									1
Total general	3	33	1	9	3	70	3	1	22	145	

Fuente elaboración propia con datos de COFEPRIS

Figura 2 Resoluciones emitidas para las solicitudes de permiso de liberación al ambiente de Organismos Genéticamente Modificados 1991-2017



Fuente elaboración propia con datos de (CIBIOGEM , 2017)

1.3 Primeros desarrollos biotecnológicos agrícolas

La permanente necesidad de disponer de satisfactores que atiendan las necesidades humanas de alimento, vestido y obtención de materia prima para la elaboración de diversos productos, ha sido la causa de que, desde el surgimiento de la agricultura, las plantas de interés para el hombre hayan sido cultivadas, seleccionadas y consecuentemente mejoradas en características tales como mayor rendimiento, calidad nutricional, facilidad de cultivo y resistencia a los agentes bióticos o abióticos que las afectan. (Bolívar, et al, 2014,p.167)

El Fitomejoramiento tiene sus bases en los experimentos realizados hace más de un siglo por Gregor Mendel, en los que concluyó que las características de los organismos están dadas por los factores discretos heredables (genes), y no son resultado con se creía anteriormente, de la mezcla azarosa de las cualidades de los progenitores.

Con las metodologías del DNA recombinante ahora es posible la producción de organismos modificados genéticamente o transgénicos, en los que se han insertado genes heterologos mediante su manipulación en el laboratorio. Particularmente en plantas el poder introducir nueva información genética requiere que se cumpla con los siguientes 2 requisitos: A) disponer de un método para la regeneración *in-vitro* de la especie de interés, B) contar con un método de transformación eficiente para la misma.

Las plantas genéticamente modificadas que se han logrado obtener a la fecha, provienen del uso de diversos métodos de transformación genética, entre ellos se tiene un método biológico y por lo tanto natural basado en el empleo de una bacteria que vive en todos los suelos del mundo llamada *Agrobacterium tumefaciens*.

Debido a que inicialmente se pensó que el sistema basado en *Agrobacterium* solo se podía aplicar en un número limitado de especies vegetales (ahora se sabe que puede no solo transformar todas las especies vegetales sino también otros organismos como hongos), surgió la necesidad de desarrollar métodos de transformación genética alternativos como los fisicoquímicos mediante la electroporación de protoplastos y los

tratamientos con polietilenglicol y cloruro de calcio, así como métodos físicos, como el bombardeo con micro partículas recubiertas de DNA. (Bolivar, Bosch, & Cardenas, 2014).

La introducción directa de ácido nucleico a células vegetales es la biobalística dicha técnica representa un método físico de transformación y consiste en el bombardeo de tejidos con micro partículas cubiertas con DNA o con cualquier otra biomolécula que se pretende introducir a células vegetales. recientemente se ha objetado el uso de la biobalística para la transformación genética de las plantas que van a ser destinadas a su uso comercial debido a que en general se incorporan segmentos de DNA no deseados y se integran en genoma vegetal copias múltiples de los genes introducidos cuadro 2. (Bolivar, et al, 2014,p.167).

Cuadro 2 Desarrollo de cultivos genéticamente modificados en México evaluados en el 2001

Cultivo	Modificación genética	Procedencia del gen	Finalidad de la modificación genética
Maíz	Resistencia a insectos	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Reducción de los daños causados por insectos
Soja	Tolerancia a herbicidas	<i>Streptomyces spp.</i>	Lucha contra malas hierbas
Algodón	Resistencia a insectos	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Reducción de los daños causados por insectos
Claveles	Alteración del color	<i>Freesia</i>	Producción de diferentes variedades de flores

Fuente (Organizacion de las Naciones Unidas, 2001)

1.3.1 Mejoramiento de la composición y cualidades

Las semillas representan la fuente de alimento más importante en las plantas, ya que contienen proteínas, lípidos y carbohidratos y pueden ser almacenados y transportados sin sufrir cambios considerables en sus propiedades nutrimentales. La composición de

los aminoácidos en las semillas es variable y ninguna especie vegetal produce semillas con la aportación óptima de aminoácidos necesarios en la dieta humana. Algunos esfuerzos de ingeniería genética orientados para este propósito son el incremento hasta en 33% en metionina en las proteínas de la semilla de plantas genéticamente modificadas de canola y lupino, mediante la expresión en semillas de una proteína rica en metionina en estos cultivos. Las nuevas técnicas de biotecnología moderna permiten que el contenido de lisina en semillas de soya se incrementa hasta el 43% mediante la introducción y expresión de un gen sintético que codifica a una proteína rica en aminoácido. (Bolivar, et al 2014, p.175), mediante la modificación de las propiedades regulatorias de las enzimas implicadas en la biosíntesis de aminoácidos esenciales para el caso de soya, se han generado variedades que producen más ácido oleico, lo repercute significativamente en la calidad de los productos que requieren los consumidores. A nivel mundial, aun son pocos los desarrollos biotecnológicos enfocados a mejorar las calidades nutricionales de los cultivos agrícolas (Cuadro 3)

Cuadro 3 Lista de cultivos genéticamente modificados con optimización nutricional, autorizados a nivel mundial para su siembra

Propiedad mejorada	Gen	Cultivo
Reducción de lignina	<i>ccomt (inverted repeat)</i>	Alfalfa
Anti alergénico	<i>7crp</i>	Arroz
Modificación de aminoácidos	<i>CordapA</i>	maíz
Modificación de aceites/ácidos grasos	<i>fad2-1A (sense and antisense)</i>	Soya
Modificación del Almidón/Carbohidratos	<i>gbss (antisense fragment)</i>	Papa
Reducción de nicotina	<i>NtQPT1 (antisense)</i>	Tabaco
Reducción de acrilamida	<i>asn1</i>	Papa

Fuente Elaboración propia con datos de (ISAAA, 2017)

1.3.2 Resistencia a virus, bacterias y hongos fitopatogenos

Una de las aplicaciones de la ingeniería genética que más ha sido explorada tanto en laboratorios públicos como en privados, es la generación de plantas resistentes a enfermedades, donde los virus [*considerados entidades no celulares compuestos de ácidos nucleicos y proteínas*] representan a los agentes fitopatogenicos más devastadores que se conocen porque no existen medida de control efectiva contra su ataque y control, solo se han podido establecer prácticas de prevención y destrucción de plantas infectadas (Bolivar *et al*, 2014, p.177), por esta razón, se han realizado grandes esfuerzos por tener materiales tolerantes a virus, tal es el caso de calabacitas, pepinos, melones, quizá uno de los más conocidos son la papaya y el frijol.

La papaya es la primera fruta genéticamente modificada en haber estado autorizada para la comercialización en 1989 la universidad de Hawái, en colaboración con la Universidad Cornell, modifican por transgénesis la variedad resistente Ringspot Virus: Sun Up, Rainbow y Laie Gold. Que es resistente al virus de la mancha anular (PRSV). El virus de la mancha anular es responsable de fuertes pérdidas en cultivos de papaya en los Estados Unidos. En 1992 se produjo en Hawái un brote de dicho virus que atacó fuertemente las plantaciones provocando pérdidas de un 40% de la producción. (Umaña, 2016).

Las especies de frijol se encuentran en un entorno de producción y utilización de varias áreas de oportunidad que van desde la resistencia a enfermedades, tolerancia a estrés hídrico, hasta el aprovechamiento de sus cualidades en funciones biológicas. El frijol genéticamente modificado tiene la característica de ser resistente al virus del mosaico dorado peor enemigo del cultivo en Brasil y América del Sur. La producción mundial de frijol es de más de 12 millones de toneladas. Brasil ocupa el segundo lugar en ese ranking y es cultivado principalmente por pequeños agricultores cerca del 80% de la producción y del área cultivada en explotaciones de menos de 100 hectáreas. Una vez que el virus del mosaico dorado alcanza el cultivo en la fase inicial puede causar pérdidas de hasta el 100% de la producción. Según estimaciones de Embrapa Arroz y frijol, lo que se pierde

por la enfermedad sería suficiente como para alimentar a 10 millones de personas. (Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad , 2011)

Cuadro 4 Lista de cultivos genéticamente modificados con resistencia a virus autorizados a nivel mundial para su siembra

Gen	Cultivo	Virus que controla
<i>ac1</i>	Frijol	Virus del mosaico
<i>cmv-cp</i>	Pimiento Dulce, Tomate	Cucumovirus de mosaico de pepino (CMV)
<i>Plrv-orf1</i>	Papa	Virus del rollo de hojas de papa (PLRV)
<i>Plrv-orf2</i>	Papa	Virus del rollo de hojas de papa (PLRV)
<i>Ppv-cp</i>	Ciruella	Resistencia al virus de la viruela del ciruelo (PPV)
<i>Prsv-cp</i>	Papaya	Resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV)
<i>Prsv-rep</i>	Papaya	Resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV)
<i>Pvy- cp</i>	Papa	Resistencia al virus de la papa (PVY)
<i>wmv- cp</i>	Calabacita	Resistencia al mosaico de la sandía <i>potyvirus 2</i> (WMV2)
<i>Zymv-cp</i>	Calabacita	Resistencia al potyvirus de mosaico amarillo de <i>zucchini</i> (ZYMV)

Fuente Elaboración propia con datos de (ISAAA, 2017)

1.3.3 Plantas Genéticamente Modificadas con resistencia al ataque de insectos.

En condiciones naturales, la interacción planta-insecto es de vital importancia para ambos organismos, particularmente las plantas se ven beneficiadas en procesos como polinización, remoción de los tejidos muertos y eliminación de insectos dañinos, de tal modo, puede decirse que el control de insectos que se alimentan de las plantas es un evento muy común en la naturaleza, sin embargo muchos organismos no plaga, generan grandes beneficios para los cultivos, por ello, es necesario contar con alternativas más amigables con el medio ambiente y la biodiversidad que los actuales insecticidas sintéticos, los cuales acaban con grandes poblaciones de insectos plaga y no plaga. Para enfrentar este problema, la Ingeniería Genética se ha interesado en un grupo de genes provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que codifican para propiedades cristalinas con propiedades insecticidas conocidas como endotoxinas, cuyo modo de

acción se realiza cuando estas toxinas son ingeridas por los insectos y dicha toxina ejerce toxicidad mediante la unión a células intestinales del tracto digestivo ocasionando una lisis osmótica. La ventaja de las toxinas *BT* es su alta especificidad a insectos plaga, derivado de que la toxina actúa bajo especificidad en los insectos, es decir, se requiere de un receptor específico en el tracto digestivo para que pueda ser actividad y ejercer su función letal, por ello, las toxinas *BT* se emplean ampliamente en agricultura orgánica y sustentable, derivado de que solo matan a las plagas y no afectan a organismos depredadores o polinizadores que otorgan un servicio eco sistémico al cultivo agrícola. El primer cultivo resistente a insectos fue el tabaco, generado en 1987, y en la actualidad también se tiene tomate, algodón, papa, maíz, canola, soya y arroz. En particular para el caso del maíz las plantas transformadas con genes *BT* muestra excelencia protección contra el barrenador europeo inclusive usando poblaciones de insectos 100 veces mayores con relación a las que se presentan de manera natural, Aunque el maíz ha sido un caso exitoso de la biotecnología moderna los insectos que atacan a este cultivo difiere de acuerdo con la región geográfica y son necesarios ensayos de campo para evaluar la efectividad para el control de insectos de diferentes ambientes algunos ensayos ya han sido realizados en México.. (Bolivar, et al 2014, p.179).

Cuadro 5 Grupos de insectos plaga que pueden ser controlados por diversos genes autorizados a nivel mundial para su empleo en la agricultura

Grupo de insectos que controla	Gen	Insectos Plaga que controla
Coleópteros	<i>cry34Ab1</i>	Gusano de la raíz del maíz (<i>Agriotes spp.</i>)
	<i>cry35Ab1</i>	Gusano de la raíz del maíz (<i>Agriotes spp.</i>)
	<i>cry3A</i>	Insectos coleópteros (<i>Lamprima aurata</i> hembra, Dynastinae (<i>Megasoma sp.</i>), gorgojo <i>Rhinotia hemistictus</i>), <i>Chondropyga dorsalis</i> y <i>Amblytelus sp</i>
	<i>cry3Bb1</i>	Insectos coleópteros (<i>Lamprima aurata</i> hembra, Dynastinae (<i>Megasoma sp.</i>), gorgojo <i>Rhinotia hemistictus</i>), <i>Chondropyga dorsalis</i> y <i>Amblytelus sp</i>
Lepidopteros	<i>dvsnf7</i>	Larva del maíz (<i>Delia platura</i>)
	<i>mcry3A</i>	Gusano de la raíz del maíz (<i>Agriotes spp.</i>)
	<i>cry1A</i> , <i>cry1A.105</i> ,	Insectos lepidópteros (<i>Danaus plexippus</i> , <i>Tinea polionella</i>) etc.

Grupo de insectos que controla	Gen	Insectos Plaga que controla
	<i>cry1Ab, cry1Ab (truncated)</i> <i>cry1Ac</i>	gusano del tabaco (<i>Manduca sexta</i>), Gusano Belotero (<i>Heliothis virescens</i>), y Polilla Gitana Asiatica (<i>Lymantria dispar</i>)
	<i>cry1F</i> <i>cry1Ab</i> <i>cry1Ac</i> <i>cry1C</i>	El cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>) El Taladro del maíz, (<i>Ostrinia nubilalis</i>) lagarta rosada (<i>Pectinophora gossypiella</i>) Polilla de la col o polilla del repollo (<i>Plutella xylostella</i>)
	<i>cry1Fa2</i> <i>cry2Ab2</i> <i>cry2Ae</i> <i>cry9C</i> <i>PinII</i>	Gusano Cortador Grasiento (<i>Agrotis ipsilon</i>) Gusano elotero (<i>Helicoverpa zea</i>) Polillas (<i>Heliothis virescens</i>) Taladro del maíz, (<i>Ostrinia nubilalis</i>) Depredadores de insectos (<i>Coccinellidae</i> y <i>Syrphidae</i>)
Múltiple resistencia a insectos	<i>vip3A(a), vip3Aa20</i> API, CpTI <i>ecry3.1Ab</i>	Insectos lepidópteros (<i>Danaus plexippus, Tinea polionella</i>) etc. Insectos <i>Bemisia tabaci, Tetrañychus urticae</i> coleópteros y lepidópteros (<i>Agriotes spp, Danaus plexippus, Tinea polionella</i>)

Fuente Elaboración propia con datos de (ISAAA, 2017), (Soberon , Gao, & Bravo, 2015), (Earle & Shelton, 2001), (Copyright , 2008), (Schaafsma, Sears, & Kullik, 2010), (NCBI, 2008), (Gouffon, Vliet, & Jansens, 2011), (González Cabrera, y otros, 2006)

1.3.4 Plantas Genéticamente modificadas con mayor Tolerancia a factores ambientales

La sequía, salinidad y el frío son los factores abióticos más importantes que disminuyen la producción agrícola. Una de las estrategias para incrementar la tolerancia al estrés es la producción de compuestos osmoprotectores tales como azúcares, alcoholes, aminoácidos y compuestos cuaternarios de amonio (glicinbetaina). La manipulación de los factores de transcripción que regulan la expresión de genes de la tolerancia al estrés abiótico es, por ende, una estrategia muy prometedora para la generación de plantas con mayor tolerancia al frío y a la sequía. La fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados es un problema complejo que lleva a la búsqueda de estrategias menos

costosas y más efectivas, el uso de plantas para remover selectivamente y reciclar los metales del suelo es potencialmente efectivo como se ha demostrado con plantas transgénicas de *Arabidopsis*, que han sido transformados con el gen bacteriano *merA* que codifica para la enzima de ion mercúrico, que permite transformar la forma catiónica del metal a Hg. sin embargo, es necesario una mayor investigación básica y aplicada en este campo con respecto a otros metales pesados. (Bolívar, et al 2014, p.179)

Cuadro 6 Cultivos genéticamente modificados con tolerancia a factores ambientales autorizados a nivel mundial para su siembra

Característica conferida	Gen	Cultivo
Proteína B de choque frío. En condiciones de estrés hídrico al preserva la estabilidad del ARN y la traducción.	<i>CspB</i>	maíz
Colina deshidrogenasa. Cataliza la producción del compuesto osmoprotector glicina betaína que confiere tolerancia al estrés hídrico.	<i>EcBetA</i>	Caña de azúcar
Molécula de ácido nucleico aislada que codifica el factor de transcripción Hahb-4	<i>Hahb-4</i>	Soya
Colina deshidrogenasa. Cataliza la producción del compuesto osmoprotector glicina betaína que confiere tolerancia al estrés hídrico.	<i>RmBetA</i>	Caña de azúcar

Fuente Elaboración propia con datos de (ISAAA, 2017)

1.4 Perspectivas de los beneficios potenciales

Actualmente, la población mundial se estima en 5.6 billones de habitantes, y tiene un crecimiento anual calculado en 99 millones de personas, cifra que equivale aproximadamente al número total de habitantes de la república mexicana. Por lo anterior, la preocupación por identificar estrategias para satisfacer la necesidad de alimentos de una población que crece de manera acelerada no es tan reciente, ni se ha podido consolidar una única alternativa.

Los nuevos desarrollos biotecnológicos ofrecen una nueva dimensión al mejoramiento de las plantas, al acelerar los programas de mejoramiento genético, y hacer modificaciones más puntuales y con mayor efectividad la biotecnología moderna tiene el potencial para

ayudar al fitomejorador a vencer las barreras biológicas naturales del flujo genético lo cual significa que el fitomejoramiento puede ampliar su base genética a nivel nunca antes imaginados incluyendo características que en la propia naturaleza genética de la especie no podría lograrse fácilmente durante el proceso evolutivo. Así mismo la biotecnología moderna promete ser el mejoramiento de plantas a una ciencia exacta y a una actividad más eficiente al acortar el periodo requerido para desarrollar una variedad mejorada, la biotecnología moderna le permite al fitomejorador responder con mayor prontitud no solo a las demandas del mercado, sino también a los problemas del ambiente. Esta ciencia le da la oportunidad de ser más competitivos y mejorar su calidad de vida al tener acceso a variedades realmente más productivas y que puedan afrontar los retos del cambio climático como sequias, heladas, incremento de la presión de plagas y enfermedades.

La aplicación de la biotecnología moderna al mejoramiento de plantas implica una alta inversión inicial y los proyectos de investigación requieren de personal altamente calificado para lograr los objetivos deseados, siendo fundamental la colaboración entre investigadores del sector público y el privado, para lograr los resultados en menor tiempo.

Es importante mencionar que la biotecnología moderna es solo una herramienta más en los programas de mejoramiento convencionales de cultivos agrícolas, por ello la biotecnología no va a reemplazar el mejoramiento clásico, ni tampoco va a disminuir la necesidad de la investigación agrícola convencional, ni mucho menos reemplazar la industria de las semillas convencionales así como el intercambio de semillas nativas entre pequeños productores; sin embargo, no existe duda alguna de que los desarrollos obtenidos con ingeniería genética por medio de la biotecnología moderna serán más competitivos y atractivos para muchos productores y consumidores.

En la actualidad, la biotecnología moderna está siendo incorporada al equipo multidisciplinario que contribuye los programas de investigación y desarrollo. Las estrategias de cada empresa determinan si la aplicación de la biotecnología moderna en el mejoramiento convencional es resultado de inversión interna, de alianza estratégica, investigación pública o es tecnología que se ha licenciado con base en pago de regalías.

En el pasado las perspectivas de estos programas incluían perspectivas que sobreestimaban escenarios, tanto positivos como negativos con respecto a su impacto potencial en la producción de alimentos de la agroindustria, sin embargo, gracias a metodologías científicas de evaluación de riesgo bajo un enfoque multidisciplinario, se han determinado, evaluado y cuantificado situaciones más apegadas a la realidad científica, evaluación por parte de los productores y consumidores, que adicional a una mayor cultura de información con fundamento científico, cada vez existe un mayor número de pobladores interesados en el tema y en la tecnología, por lo que en el actualidad, la biotecnología moderna con sus nuevas variantes tecnológicas y modelos más eficientes y precisos para transferir un gen mayor o modificar características especificar del propio genoma empleando la edición de genes mediada por CRISP-CAS9, promete cambiar la perspectiva de muchos consumidores y opositores a la tecnología del mejoramiento genético de genes asistido con la biotecnología moderna, por lo que en los próximos 15 o 20 años, será común encontrar en los mercados productos derivado de CRISP-CAS9 que ofrezcan una mayor calidad e inocuidad en los alimentos así como mayores ventajas productivas en el rendimiento para los agricultores, contribuyendo con una agricultura más sostenible y menor impacto ambiental y apoyando a los agricultores a afrontar los retos del cambio climático.

1.5 Impacto de la biotecnología moderna en la agricultura.

El análisis sobre el impacto potencial de la biotecnología moderna en la agricultura es algo complejo, derivado de que puede afectar la agricultura en forma muy variada, muchas de las cuales hasta el momento no han sido evaluadas ni cuantificadas. No obstante, la aplicación de la biotecnología no solo está orientada al incremento de los rendimientos, que ha sido una causa fundamental para limitar su uso; en realidad, la mayoría de las aplicaciones actuales de la biotecnología moderna tienen que ver con el mejoramiento a la protección de los cultivos mediante la incorporación y/o fijación de genes que transmiten resistencia a insectos y enfermedades, sin embargo, la nueva tendencia tecnológica permitirá contar con productos que generen beneficios no solo a los agricultores, sino también a los consumidores y todos los actores de la cadena de

producción (procesadores, transportadores y comercializadores), ya que la ciencia ofertara productos con mayor calidad desde el punto de vista nutricional, mayor vida en el anaquel, mejor sabor, textura, así como apariencia y resistencia al traslado más estable y de menor costo.

Todo nuevo desarrollo tecnológico conlleva inversiones y beneficios monetarios, tanto para los desarrolladores como para los usuarios, por ello, la disponibilidad de estas nuevas tecnologías dependerán de los mecanismos de protección legal (propiedad intelectual) y su puesta en circulación en los diferentes mercados semilleros y de consumo de productos, así como el costo de las semillas van a estar determinados en parte por diferentes factores: (Sánchez González, Rodríguez, Gutiérrez Hernández, Varela Gómez, & Oyervides García, 1996), sin embargo, la experiencia a nivel internacional a definido diversos puntos relevantes para su disponibilidad en usuarios finales:

- a) La demanda del mercado por un atributo en particular.
- b) El nivel de exclusividad en la comercialización de ese atributo.
- c) El tipo de cultivo involucrado particularmente y el nivel de mejoramiento genético (si la variedad de la semilla es o no híbrida).
- d) El grado de integración vertical entre la variedad mejorada o trasformada y el consumidor final.
- e) La calidad de la base germoplasma a partir de la cual se lleva acabo el mejoramiento o la transformación genética mediante la aplicación de la biotecnología.
- f) El grado de protección a la propiedad intelectual con que se cuente.

Los avances de la biotecnología están dados en gran medida por la magnitud de los recursos que se dediquen a la investigación y desarrollo, la inteligencia con lo que se asignen y manejen estos, y la factibilidad de que ocurran las innovaciones tecnológicas en términos de tiempos. La investigación pública seguirá jugando un papel importante en la investigación y desarrollo biotecnológico, ya que la industria privada no puede hacerlo todo, por ello la colaboración entre ambas partes puede ayudar a vencer las barreras de

complejidad y la especialización que impide al agricultor, a la agroindustria y al consumidor final obtener todos los beneficios potenciales que ofrece la biotecnología (Sánchez, 1996,p.164).

En el mejoramiento genético convencional se cruza la planta completa para introducir la característica deseada y se espera el crecimiento de la nueva generación, si el resultado no es el esperado se vuelve a repetir el procedimiento, lo que en ocasiones lleva varias generaciones del cultivo. Con la ingeniería genética se inducen en menor tiempo y con mayor precisión las nuevas cualidades en las plantas. No siempre implica insertar genes ajenos; en ocasiones se introducen cambios en la misma estructura genética de la planta. Lo novedoso es que se localiza algún gen con la información deseada (por ejemplo, el de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que codifica para que se produzca una toxina insecticida) y se inserta en el organismo que se quiere modificar, logrando combinaciones de genes en estos nuevos organismos. (Trigo, Chauvet, Castañeda Zavala, Barajas Ochoa, & González Aguirre, 2000).

Los posibles riesgos que muchos actores antagónicos a la tecnología justifican para evitar el uso masivo de esta tecnología, son dudas científicas que se han logrado resolver científicamente desde hace varios años, pero que mediáticamente son pieza clave para infundir y sostener campañas mediáticas en contra de la biotecnología moderna; derivado de un mayor conocimiento científico sobre las nuevas tecnologías de introducción de secuencias genéticas (CRISPR-CAS9), varios ambientalistas han considerado que la edición genética mediado por CRISPR-CAS9 representa una alternativa tecnológica de bajo riesgo y con implicaciones genéticas similares a los procesos naturales cuando se editan algunos genes o se introducen genes de la misma especie, a lo que se podría considerar “Injerto de Genes”, por ello, los Gobiernos Nacionales de los países en desarrollo deben invertir recursos económicos para fortalecer los programas de mejoramiento genético con este tipo de tecnologías, que permitirán que la agricultura de los pequeños y medianos productores sea más productiva, competitiva y sostenible, con menor impacto ambiental, por lo que se hace un llamado a la SAGARPA, SEMARNAT, CONACYT y la Coordinación de Ciencia y Tecnología de la Presidencia de la República

Mexicana a invertir más recursos económicos y definir posturas institucionales basadas en ciencia en beneficio del progreso y desarrollo del Campo Mexicano empleando la Biotecnología Moderna.

Cuadro 7 Países que han realizado siembras comerciales de cultivos genéticamente modificados durante el año 2016

Puesto	País	Cultivos Biotecnológicos	Puesto	País	Cultivos Biotecnológico
1	Estados Unidos	maíz, soya, algodón, canola, caña de azúcar, alfalfa, papaya, calabaza	15	Myanmar	Algodón
2	Brasil	soya, maíz, algodón	16	España	maíz
3	Argentina	soya, maíz, algodón	17	México	algodón, soya
4	India	Algodón	18	Colombia	algodón, maíz
5	Canadá	canola, maíz, soya, caña de azúcar	19	Sudán	algodón
6	China	algodón, papaya, álamo, tomate, morrón	20	Chile	maíz, soya
7	Paraguay	soya, maíz, algodón	21	Honduras	maíz
8	Sudáfrica	soya, maíz, algodón	22	Portugal	maíz
9	Pakistán	Algodón	23	Cuba	maíz
10	Uruguay*	soya, maíz	24	Republica Checa	maíz
11	Bolivia	Soya	25	Costa Rica	algodón, soya
12	Filipinas	Maíz	26	Rumania	maíz
13	Australia	algodón, canola	27	Eslovaquia	maíz
14	Burkina Faso	Algodón	28		

Fuente: Elaboración propia con datos de (ISAAA, 2007).

Cuadro 8 Característica de los principales cultivos genéticamente modificados autorizados para consumo humano en diversos países

Cultivos	Característica	Área/País con aprobación
Achicoria	Tolerante a herbicida	UE(solo para reproducción)
Calabazas	Resistencia a virus	Canadá y estados unidos
Colza	Tolerante a herbicida	Argentina, Canadá, Sudáfrica, y Estados unidos. (Solo para procesamiento).
Maíz	Resistencia a insectos	Argentina, Canadá, Sudáfrica, y Estados unidos.
Papa	Resistencia a insectos/ Tolerancia a herbicidas	Canadá y estados unidos
Soja	Tolerante a herbicida	Argentina, Canadá y Estados unidos

Fuente: (Zapata, 2017)

CAPITULO II MARCO REGULATORIO

2.1 Convenio de la Diversidad Biológica

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) es un tratado internacional jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible.

La conservación de la diversidad biológica es interés común de toda la humanidad. El Convenio sobre la Diversidad Biológica cubre la diversidad biológica a todos los niveles: ecosistemas, especies y recursos genéticos. También cubre la biotecnología, entre otras cosas, a través del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, de hecho, cubre todos los posibles dominios que están directa o indirectamente relacionados con la diversidad biológica y su papel en el desarrollo, desde la ciencia, la política y la educación a la agricultura, los negocios, la cultura y mucho más.

El órgano rector del CDB es la Conferencia de las Partes (COP). Esta autoridad suprema de todos los Gobiernos (o Partes) que han ratificado el tratado se reúne cada dos años para examinar el progreso, fijar prioridades y adoptar planes de trabajo (ONU, 2017).

Objetivo

El objetivo del Convenio es la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada (Biodiversidad Mexicana, 2016).

Antecedentes

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) entró en vigor en 1993 y deriva del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a través de la Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo y la Agenda 21, en ambos eventos se negociaron textos del Convenio que fue finalmente aprobado en 1992, entrando en vigor en 1993. En razón de lo anterior, se trata de una agenda eminentemente ambiental, que tiene impacto directo en la agricultura y ganadería, así como la pesca y sector forestal. El 13 de enero de 1993 fue publicado el Decreto de aprobación del Senado de la República en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y el 7 de mayo de 1993 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el Decreto promulgatorio del CDB en México (SAGARPA, 2017).

Como parte del CDB se ha negociado y aprobado por los países Parte tres (3) Protocolos:

- i. Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología, entró en vigor en 2003. El 1 de julio de 2002 se publicó el Decreto de aprobación del Senado de la República en el Diario Oficial de la Federación y el 28 de octubre de 2003 se publicó el Decreto Promulgatorio de dicho Protocolo en el DOF.
- ii. Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa, entró en vigor en 2014. El 27 de enero de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto de aprobación del Senado de la República y el 10 de octubre de 2014 fue publicado el texto del Protocolo en el Diario Oficial de la Federación.
- iii. Protocolo de Nagoya-Kuala Lumpur sobre responsabilidad y compensación, aprobado en 2010 y en espera de la ratificación de 40 países Parte para entrar en vigor. Este Protocolo es suplementario del Protocolo de Cartagena. El 17 de mayo de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto de aprobación del Senado de la República.

Todos los Protocolos son transversales e incluyentes, es decir, participan todos los sectores y a nivel nacional se han traducido en legislación (Leyes y Reglamentos) y regulación secundaria (Acuerdos y Normas).

2.2 Protocolo de Cartagena

El Protocolo establece un procedimiento de acuerdo fundamentado previo para garantizar que los países cuenten con la información necesaria para tomar decisiones fundamentadas antes de aprobar la importación de los OGM a su territorio. El Protocolo hace referencia al Enfoque de precaución y reafirma el principio de precaución consagrado en el Principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. El Protocolo también establece un Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología para facilitar el intercambio de información sobre organismos vivos modificados y asistir a los países en la aplicación del Protocolo. El Protocolo de Cartagena promueve un entorno propicio para la aplicación de la biotecnología de una forma que sea favorable para el medio ambiente, haciendo posible que se obtengan los máximos beneficios del potencial de la biotecnología, y que a su vez se reduzcan a un mínimo los riesgos para el medio ambiente y para la salud humana. Hasta la fecha se han adherido o ratificado 159 países al Protocolo, incluido México, que ratificó el Protocolo de Cartagena por acuerdo del Senado de la República en 2002 (Gutierrez, 2015)

Objetivo

De conformidad con el enfoque de precaución que figura en el Principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el objetivo del Protocolo es contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos. (ENB, 2011)

Antecedentes en México

México ratificó el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología el 27 de agosto de 2002, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 2003. Es país parte hasta la entrada en vigor del Protocolo el 11 de septiembre de 2003. Este protocolo deriva del artículo 19 del Convenio sobre la Diversidad Biológica. A fin de contar con la legislación nacional, el 18 de marzo de 2005 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, el Reglamento de Dicha Ley el 6 de marzo de 2009 en el DOF y diversa regulación secundaria.

La Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) es el Punto Focal Nacional para el Protocolo y el Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología de acuerdo con la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, y la agencia gubernamental encargada de formular y coordinar las políticas de la administración pública federal relativas a la bioseguridad de los organismos genéticamente modificados. Está integrada por los titulares de las Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Salud; Educación Pública; Hacienda y Crédito Público, y Economía, así como por el Director General del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Cuenta con un Secretario Ejecutivo quién ejecuta y da seguimiento a los acuerdos que toma la Comisión y funge como punto focal nacional del Protocolo de Cartagena en México. Las Reglas de Operación de la CIBIOGEM fueron publicadas en el DOF el 5 de diciembre de 2007 (CIBIOGEM, 2017).

Para atender las disposiciones del Protocolo de Cartagena y los aspectos regulatorios relacionados con la seguridad de la biotecnología, México cuenta con un marco regulatorio establecido, operando y en consolidación, el cual incluye la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados y normativa asociada:

- Reglamento de la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (RLBOGM).

-
- Acuerdo Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz.
 - Acuerdo por el que se determina la información y documentación que debe presentarse en el caso de realizar actividades de utilización confinada y su formato.
 - Norma Oficial Mexicana NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013, Que establece las características y contenido del reporte de resultados de la o las liberaciones realizadas de organismos genéticamente modificados, en relación con los posibles riesgos para el medio ambiente y la diversidad biológica y, adicionalmente, a la sanidad animal, vegetal y acuícola.
 - Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAG/BIO-2014, Especificaciones generales de etiquetado de organismos genéticamente modificados que sean semillas o material vegetativo destinados a siembra, cultivo y producción agrícola.
 - Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2013, Buenas prácticas de fabricación de medicamentos.
 - Norma Oficial Mexicana NOM-257-SSA1-2014, En materia de medicamentos biotecnológicos.

2.3 Protocolo de Nagoya

El Protocolo de Nagoya ofrecerá mayor seguridad jurídica y transparencia tanto a los proveedores como a los usuarios de recursos genéticos. Ayuda a garantizar la participación en los beneficios, en particular cuando los recursos genéticos salen del país que proporciona los recursos genéticos, y establece condiciones más previsibles para el acceso a los recursos genéticos.

Dado que aumenta la seguridad jurídica y promueve la participación en los beneficios, el Protocolo de Nagoya alienta el adelanto de la investigación en recursos genéticos, que podría conducir a nuevos descubrimientos para beneficio de todos.

El Protocolo de Nagoya también crea incentivos para la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos, y por lo tanto mejora la contribución de la diversidad biológica al desarrollo y bienestar humano. (ENB, 2011).

El Protocolo de Nagoya considera el aprovechamiento sostenible de los recursos genéticos y plantea la posibilidad de emplear la biotecnología moderna para facilitar el uso de los recursos genéticos, considerando lo estipulado en el Protocolo de Cartagena y el cumplimiento de los lineamientos del propio Protocolo de Nagoya.

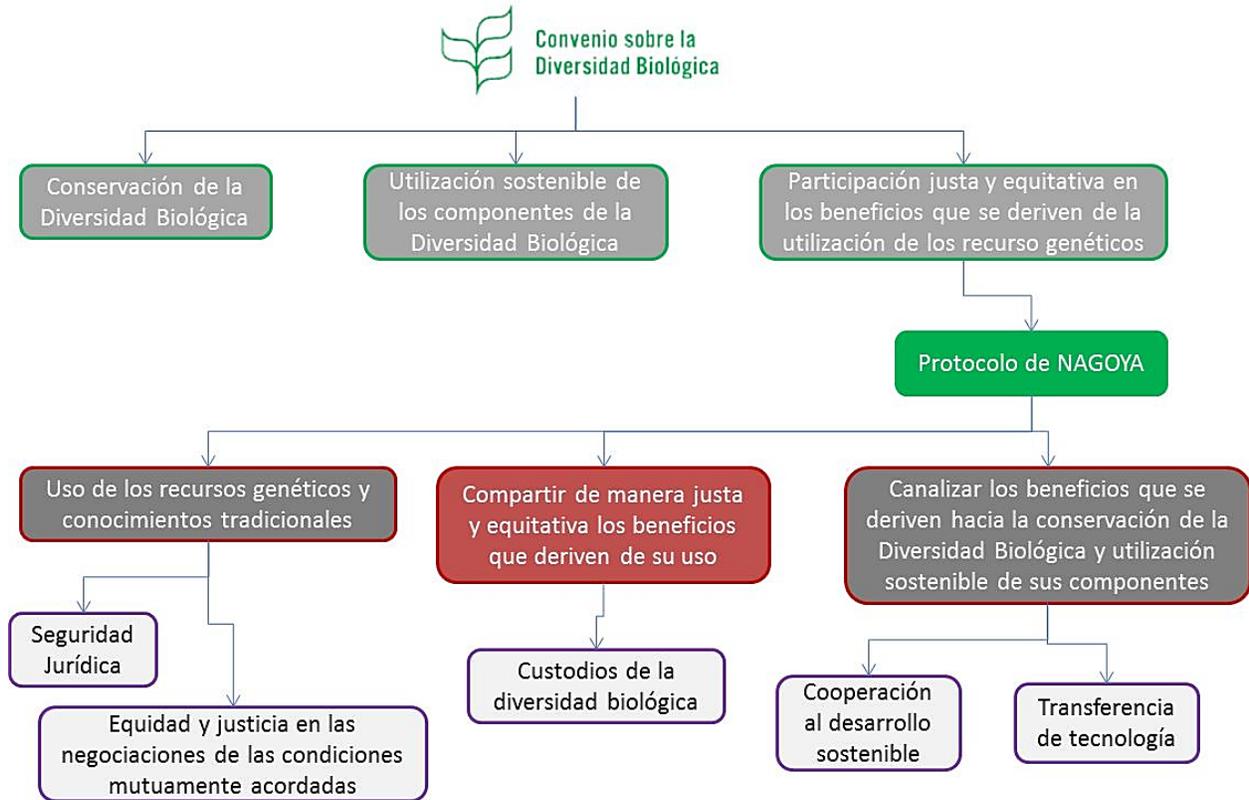
Objetivo

El objetivo del Protocolo es la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, incluso por medio del acceso apropiado a los recursos genéticos y por medio de la transferencia apropiada de tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre dichos recursos y tecnologías y por medio de la financiación apropiada, contribuyendo por ende a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de sus componentes. (ENB, 2011)

Antecedentes en México

México ratificó el Protocolo de Nagoya el 16 de mayo de 2012 y fue parte de este Protocolo con su entrada en vigor, el 12 de octubre de 2014. Nuestro país fue uno de los impulsores del desarrollo de un Protocolo vinculante en el tema de acceso y distribución de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, de forma individual y a través de promover el Grupo de Países Mega diversos Afines en 2002. Una vez concluidas las negociaciones en la adopción del Protocolo en Nagoya en 2010, firmó dicho instrumento el 24 de febrero de 2011 y lo ratificó el 16 de mayo de 2012, siendo el quinto país en ratificarlo. Al alcanzar 50 ratificaciones, el Protocolo entró en vigor el 12 de octubre de 2014, entrando en vigor para México en esa misma fecha. (SAGARPA, 2017)

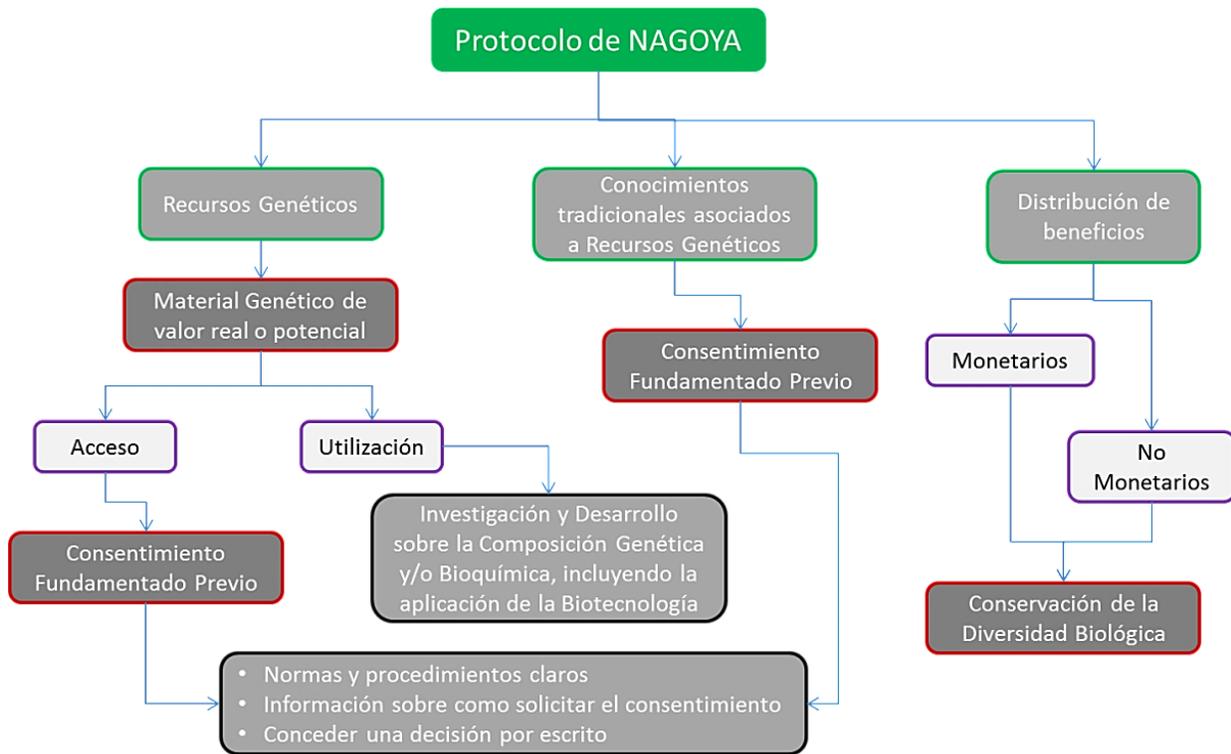
Figura 5 Relación del Protocolo de Nagoya con el Convenio sobre la Diversidad Biológica.



Fuente (SAGARPA, 2017)

El 10 de octubre de 2014, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto Promulgatorio del Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al convenio sobre la diversidad biológica, adoptado en Nagoya el 29 de octubre del 2010, con lo que, de acuerdo a la Constitución Nacional, es Ley Suprema de la Nación. Por tal motivo, México participó en la Primera COP-MOP en 2014, como país Parte.

Figura 6 Alcance del Protocolo de Nagoya.



Fuente (SAGARPA, 2017).

El Punto Focal Nacional de este Protocolo es la SEMARNAT, a través de la Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables de la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. Como Autoridades Nacionales Competentes se encuentran la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos de la SEMARNAT y a la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).

2.4 Marco regulatorio mexicano para los OGMs

La diversidad y utilidad de las aplicaciones de la biotecnología moderna, en particular de los cultivos genéticamente modificados (GM), promovieron la creación de un marco legal que permitiera su manejo seguro y responsable para un aprovechamiento sustentable de los mismos. Así, en México se elaboró, durante más de 10 años de discusión y aportes de los distintos actores involucrados, entre los que se encuentran legisladores y servidores públicos (federales y locales), así como representantes de la academia, de la

sociedad civil organizada y de la cadena agroindustrial, uno de los marcos regulatorios más rigurosos a nivel mundial para poder incorporar estas tecnologías innovadoras a la producción agropecuaria nacional. (Cibiogem, 2012)

El marco legal está conformado por cuatro instrumentos básicos

2.4.1 Protocolo de bioseguridad

Objetivo: Contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna, centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos y previniendo cualquier efecto adverso para la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica, considerando los riesgos para la salud humana. (Cibiogem, 2012)

2.4.2 Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)

1. Garantizar un nivel adecuado y eficiente de protección de la salud humana, del medio ambiente y la diversidad biológica y de la sanidad animal, vegetal y acuícola, respecto de los efectos adversos que pudiera causarles la realización de actividades con organismos genéticamente modificados. (Art. 2, fracc. I)
2. Definir los objetivos, actividades y responsables a nivel nacional, para el manejo y aprovechamiento adecuados de OGM –bioseguridad-. (Art. 2, fracc. II)
3. –Establecer mecanismos para la participación pública en aspectos de bioseguridad materia de esta Ley, incluyendo el acceso a la información, la participación de los sectores privado, social y productivo a través del Consejo Consultivo Mixto de la CIBIOGEM, y la consulta pública sobre solicitudes de liberación de OGMs al ambiente. (Art. 2, fracc. XIV)
4. Establecer instrumentos de fomento a la investigación científica y tecnológica en bioseguridad y biotecnología. (Art. 2, fracc. XV) (Cibiogem, 2012)

2.4.3 Reglamento de la ley de bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (RLBOGM)

1. Contribuir al cumplimiento de las disposiciones de la LBOGM, estableciendo los procedimientos a seguir y requisitos a cumplir, para la solicitud de permisos y autorizaciones (Arts. 1 al 32).
2. Contiene el Régimen de Protección Especial del Maíz (Arts. 65 a 73). (Cibiogem, 2012)

2.4.3.1 Régimen de protección especial del maíz

1. Establecer las disposiciones jurídicas relativas a la bioseguridad necesarias para resolver las solicitudes de liberación de maíces GM: prevención, monitoreo, inspección, vigilancia y medidas de control.
2. No permitir la experimentación ni la liberación al ambiente de maíces GM que contengan características que impidan o limiten su uso o consumo humano o animal, ni tampoco su uso en procesamiento de alimentos para consumo humano (Art. 67).
3. La SAGARPA y la SEMARNAT deberán promover la conservación de los maíces mexicanos nativos y de especies relacionadas como los “teocintles”, en sus regiones de origen y de mayor diversidad. Esto se hará a través de los programas de subsidio u otros mecanismos de fomento para la conservación de la biodiversidad, sin que ello implique autorización alguna para el cambio del uso de suelo de forestal a agrícola (Art. 70). (Cibiogem, 2012)

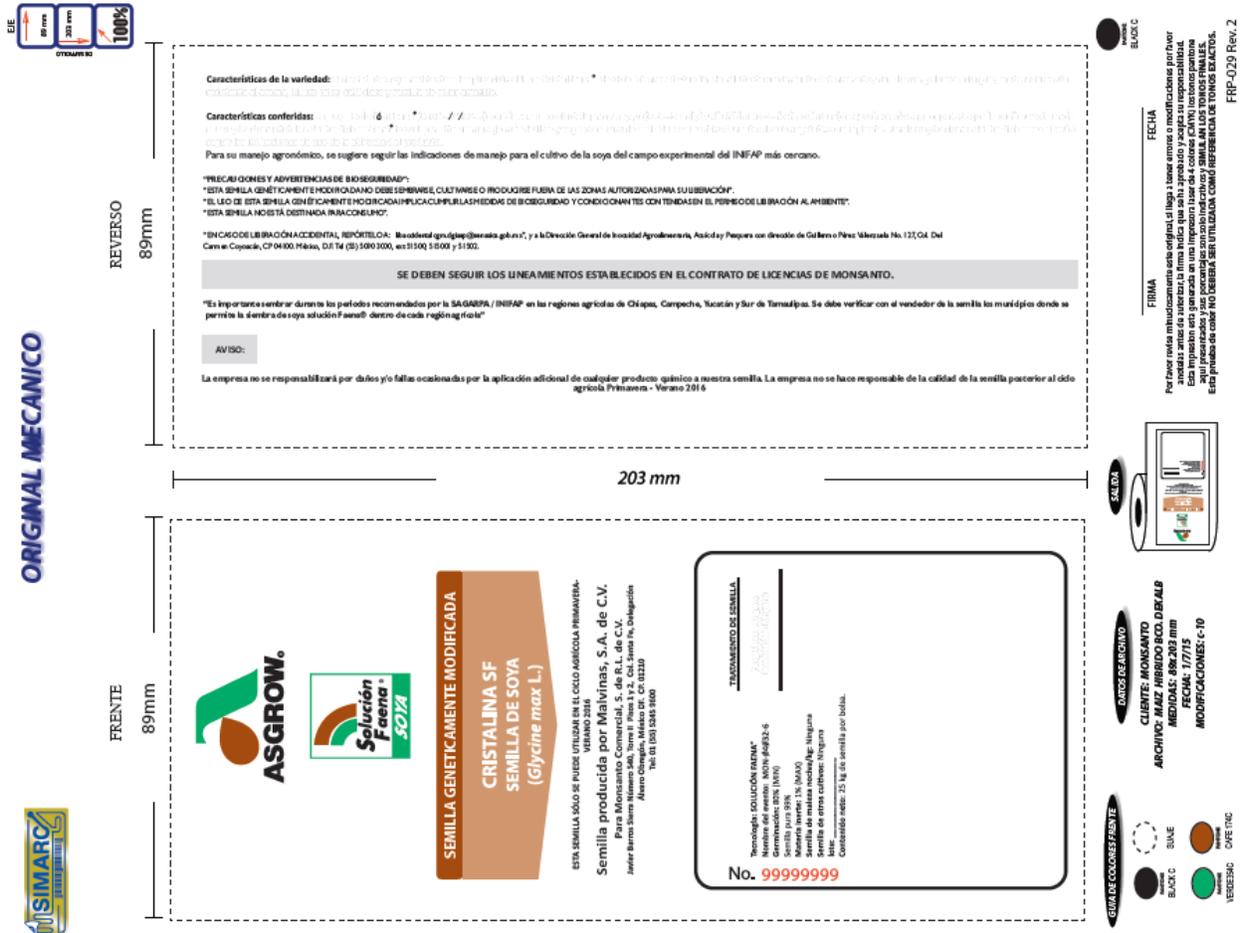
2.4.4 Normas Oficiales Mexicanas

2.4.4.1 NOM. Etiquetado de semillas genéticamente modificadas

La Norma PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014 Establece las especificaciones generales que debe cumplir el etiquetado de organismos genéticamente modificados que sean semillas o material vegetativo destinados a siembra, cultivo y producción agrícola; en apego a los

principios, objetivos y preceptos mandados por la Ley. Publicación el 25 de abril de 2014. (Diario Oficial De La Federación, 2014)

Figura 7 Etiqueta de cultivos genéticamente modificados



Fuente (Otero, 2017)

Figura 8 Etiqueta de embarque

ETIQUETA DE TRANSPORTE DE MATERIAL VEGETAL REGULADO	
Nº de Embarque [] - []	Identificador único o Nombre del evento []
Nº de Permiso []	Especie vegetal []
Forma del material <input type="checkbox"/> Semilla <input type="checkbox"/> Esqueje/vástago <input type="checkbox"/> Transplante <input type="checkbox"/> Tubérculo <input type="checkbox"/> Planta completa	
Identifique cualquier tratamiento aplicado a la semilla o al material vegetal []	
Persona de contacto en caso de emergencia []	Teléfono []

Fuente (Diario Oficial De La Federacion, 2014)

2.4.4.2 NOM. Reporte de resultados

La Norma Oficial Mexicana NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013 tiene por objeto establecer las características y contenidos que deben incluir los reportes de resultados de la o las liberaciones realizadas de organismos genéticamente modificados (OGM), experimentales o en programa piloto, en relación con los posibles riesgos para el medio ambiente y la diversidad biológica, así como la sanidad animal, vegetal y acuícola.

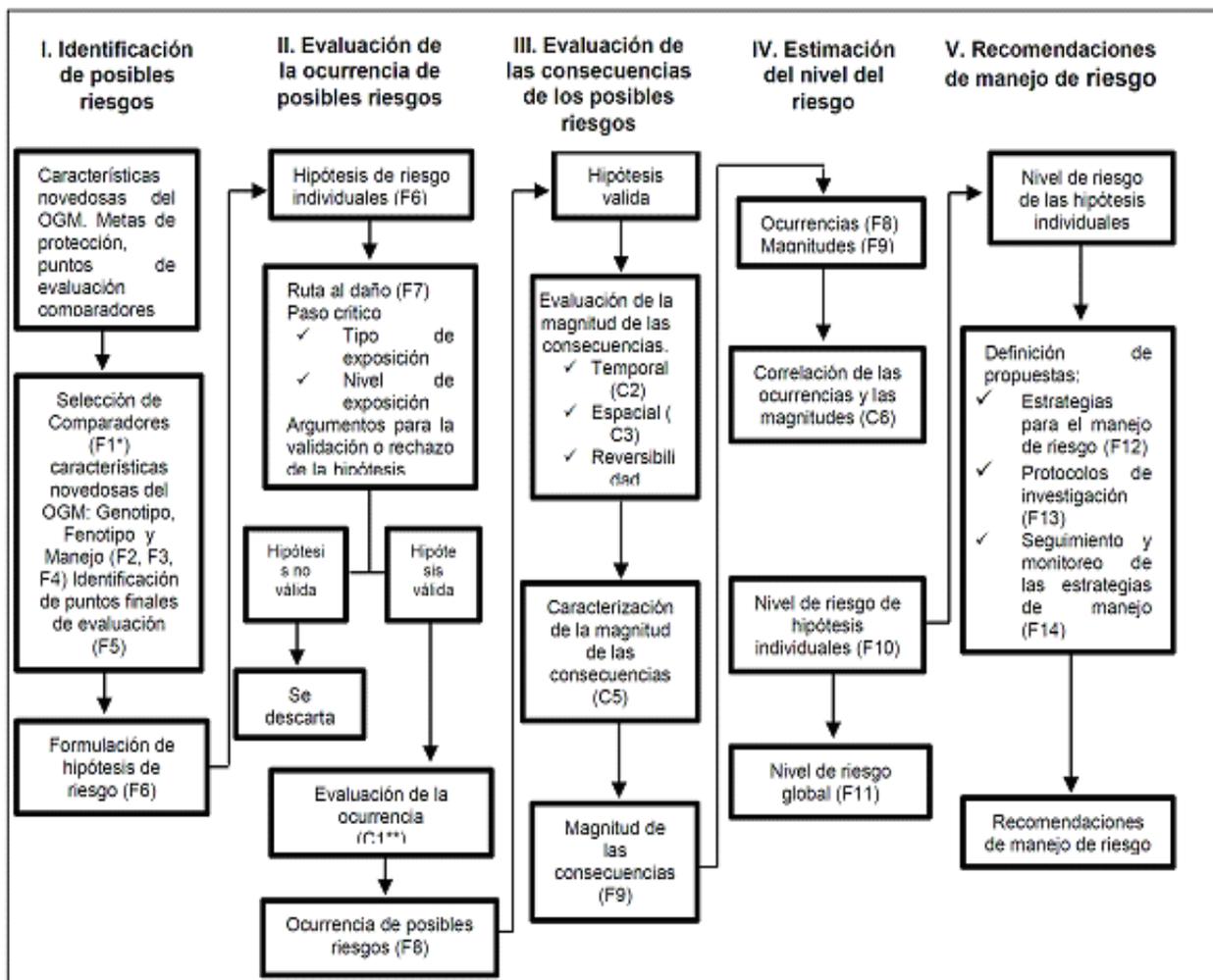
La Norma tiene aplicación en todo el territorio nacional donde se lleven a cabo liberaciones de OGM por parte de los titulares de los permisos en el ámbito de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y su Reglamento. (NORMA Oficial Mexicana, 2014)

2.4.4.3 NOM: Análisis de riesgos

PROY-NOM-000-SAGARPA/SEMARNAT-2015, Por la que se establecen las características y requisitos que deberán contener los estudios de evaluación de los posibles riesgos que la liberación experimental de organismos genéticamente modificados pudieran ocasionar al medio ambiente y a la diversidad biológica, así como a la sanidad animal, vegetal y acuícola (DOF 03-01-2017), tiene por objeto establecer las características y requisitos, que deberán contener los estudios de evaluación de los

posibles riesgos, que la liberación experimental de Organismos Genéticamente Modificados pudieran causar al medio ambiente, a la diversidad biológica, así como a la sanidad animal, sanidad vegetal y acuícola, proporcionando información de las características y atributos del Organismo Genéticamente Modificado evaluando y generando propuestas para establecer medidas de bioseguridad y en su caso, las estrategias para el manejo de los posibles riesgos que pueda causar en el ambiente así como en los animales.

Figura 9 Esquema de la evaluación de riesgos



Fuente (SAGARPA, 2017)

2.4.5 Normatividad Secundaria

Cuadro 9 Normatividad secundaria

Dependencia	Instrumento Legal	DOF
SAGARPA	Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz.	2-11-2012
	Acuerdo por el que se determina la información y documentación que debe presentarse en el caso de realizar actividades de utilización confinada y se da a conocer el formato único de avisos de utilización confinada de organismos genéticamente modificados.	15-04-2011
SEMARNAT	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	4-06-2012
	◦Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.	27-04-2012
	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	4-06-2012
SSA	Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones del Reglamento de Insumos para la Salud	19-10-14
	Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud	11-12-2014
	Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Publicidad	19-01-2012
	Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios	9-08-1999
	Ley General de Salud	4-06-2012

Fuente Elaboración propia con datos de (CONACYT, 2017)

2.5 Autoridades nacionales

Las autoridades responsables de la seguridad e inocuidad de los alimentos gracias al apoyo técnico y científico a los argumentos del bajo riesgo, inocuidad y la ausencia de daño por consumir plantas transgénicas y sus productos, han hecho que las autoridades y agencias responsables de la seguridad y la inocuidad alimentaria así como las mencionadas a continuación busquen nuevas técnicas de seguridad para aprobar los productos de origen transgénico que se utilizan en las industrias alimentaria y de la salud y, en particular, los productos de plantas transgénicas y sus derivados que actualmente se consumen en el país.

Cuadro 10 Principales actores de la autoridad nacional

Autoridades nacionales
 <p>SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN.</p> <p>Analiza las solicitudes para evaluar posibles riesgos a la sanidad vegetal y, si aplica, expide permisos de liberación al ambiente de organismos genéticamente modificados (OGM), e impone las medias de bioseguridad que considere necesarias. (Art. 12 y 13)</p>
  <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.</p> <p>Analiza las solicitudes para evaluar posibles riesgos al ambiente y a la diversidad biológica. También impone medidas de bioseguridad en los permisos de liberación de OGM (Art. 11 y 15 LBOGM)</p>

Autoridades nacionales

SALUD
SECRETARÍA DE SALUD



SECRETARÍA DE SALUD.

Evalúa la inocuidad y expide autorizaciones de OGM: para uso o consumo humano directo, incluyendo granos; así como los destinados al procesamiento de alimentos para consumo humano. También se consideran OGM para uso o consumo humano, aquellos que sean para consumo animal y que puedan ser consumidos directamente por el ser humano. (Art. 16)



SECRETARÍA DE ECONOMÍA.

Participa en la expedición de NOMs sobre OGM en términos de esta Ley: etiquetado, identificación, entre otros. (Arts. 101 y 102)



SECRETARÍA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO.

Revisa en aduanas que los OGM cuenten con los permisos o autorizaciones correspondientes para ingresar al país. De no ser así impide su entrada. (Art. 18)



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA.

Constituye el eje fundamental del desarrollo científico y tecnológico. (Art. 19, fracc. I)

Autoridades nacionales



CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

Fomenta, apoya y fortalece la investigación científica y tecnológica en materia de bioseguridad y de biotecnología en los términos de la LBOGM, y de la Ley de Ciencia y Tecnología. (Arts. 28 a 31)



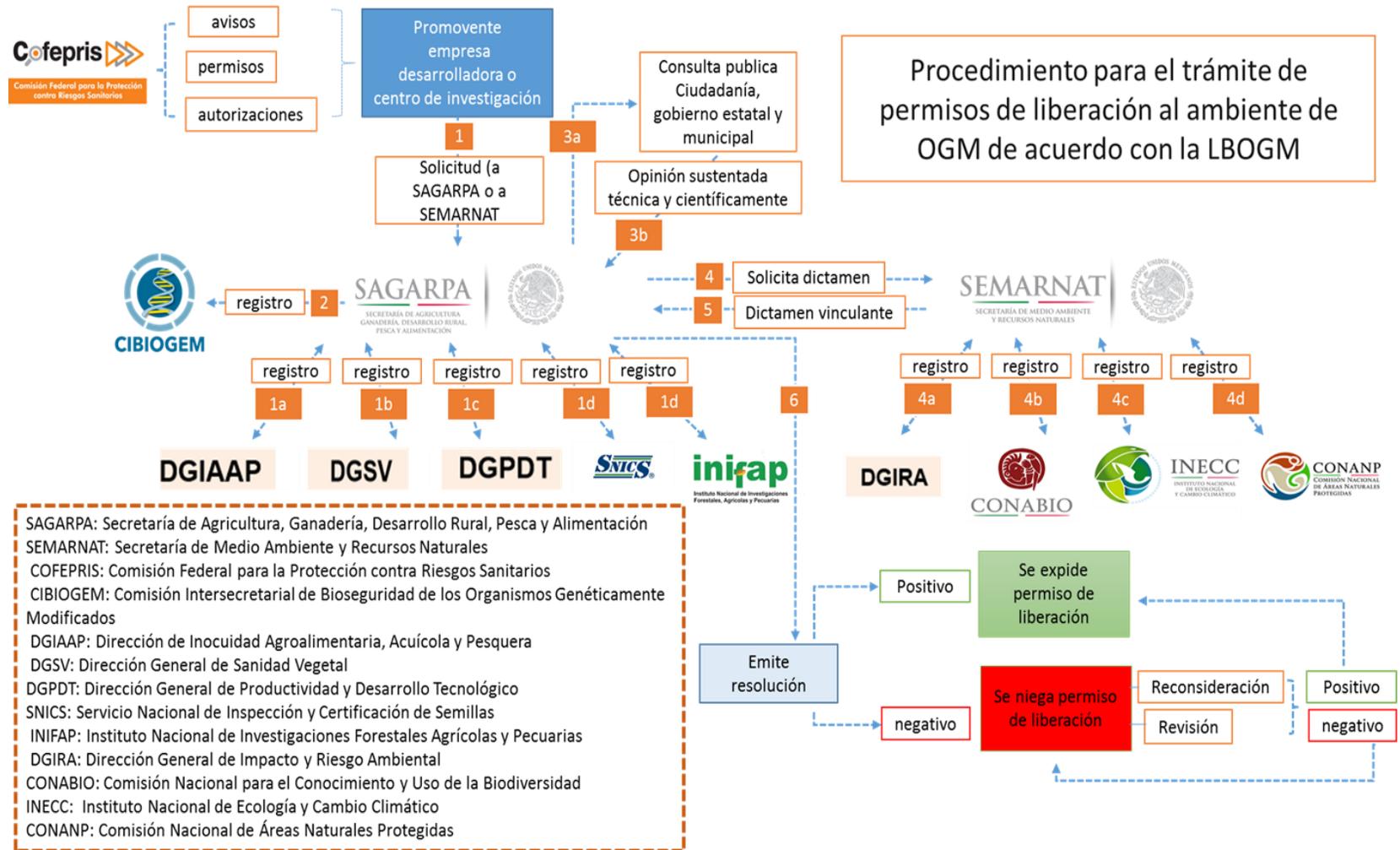
COMISIÓN INTERSECRETARIAL DE BIOSEGURIDAD DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Está Integrada por las seis secretarías mencionadas y por el CONACYT. Tiene por objeto formular y coordinar las políticas de la Administración Pública Federal relativas a la bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Art. 19). Cuenta con varios órganos de consulta donde participan representantes de los sectores académico e I&D, y también del productivo, privado y social.

Autoridades.

Fuente (CIBIOGEM, 2017)

Figura 10 Proceso de Resolución de un Permiso para la siembra de cultivos genéticamente modificados en México



Fuente (Gutierrez, 2015)

2.6 Principales actores

El gobierno mexicano ha promovido abiertamente la siembra de cultivos genéticamente modificados por medio de marcos legales permisibles, la venta de recursos fitogenéticos y conocimientos tradicionales ligados a éstos, el control de la producción de alimentos a través de la certificación de semillas, y la promoción de cultivos genéticamente modificados para la producción de agrocombustibles. Todo ello mediante la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados del 18 marzo de 2005; la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos del 1 de febrero de 2008; la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas del 15 de junio de 2007; el Proyecto de Ley de Conservación y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Como las autoridades Snics que Analizar y emitir únicamente opiniones de carácter técnico, en relación a las atribuciones que le competen sobre las solicitudes de permisos de liberación al ambiente de OGM'S, enviadas al SENASICA a la Dirección de Bioseguridad para Organismos Genéticamente Modificados, la cual es responsables de emitir el Dictamen sobre la autorización o negación de las liberaciones de OGM'S. en general de la atención puntual de todos los asuntos relacionados con los OGM'S que en el ámbito de competencia de esta Secretaría se refiere la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y su Reglamento (SNICS, 2017), Comité técnico de la SAGARPA que apoya a las unidades administrativas responsables de la secretaria, respecto al análisis y emisión de dictamen a las solicitudes de permiso de OGM'S. y la SEMARNAT que emiten permisos para la liberación al ambiente y cultivo experimental, piloto y comercia .

Empresas privadas que son las principales actoras en la promoción, producción y comercialización de transgénicos y han tenido gran influencia en los procesos de discusión de los marcos regulatorios a favor de sus intereses comerciales. Una de las principales fue Monsanto, considerada la empresa más grande del mundo y la número uno en semillas transgénicas, el 90% de los cultivos modificados genéticamente en el mundo cuentan con alguno de sus eventos biotecnológicos, DuPont-Pioneer con un 18% y Syngenta con un 9%. (Monsanto, 2014).

Científicos que tienen una posición dividida. Por un lado, quienes trabajan para las empresas privadas o instituciones de investigación pública que realizan investigaciones, favorecen la promoción de Organismos Genéticamente Modificados. Por otro lado, hay científicos opuestos a la siembra de cultivos genéticamente modificados, principalmente el maíz genéticamente modificado, algunos de ellos independientes o que laboran en centros de educación superior o de investigación pública nacional. Entre esta gama de científicos expertos se puede destacar a Francisco Gonzalo Bolívar Zapata quien es pionero a nivel mundial en el área de la biología molecular y la biotecnología, en particular en el aislamiento, caracterización y manipulación de genes en microorganismos y Luis Herrera desarrollo las técnicas para introducir genes en plantas y se pudieran expresar funcionalmente, por lo que fue líder del grupo que produjo las primeras plantas transgénicas en el mundo, además, resulta fundamental mencionar a María Elena Álvarez-Buylla quien fue acreedora al Premio Nacional de Ciencias 2017 en el Campo de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales.

Cuadro 11 Preocupación científica de expertos nacionales en materia de Organismos Genéticamente Modificados

Investigación y Fomento	Regulación y Evaluación
 <p>Dr. Ariel Reynaldo Álvarez Morales Laboratorio de Bacteriología Molecular, CINVESTAV Irapuato. Tema de preocupación: Bioseguridad de los OGMs.</p>	 <p>Dr. Alejandro Espinosa Calderón INIFAP CEVAMEX Tema de preocupación: Abastecimiento de semillas alternativas ante el monopolio de grandes corporaciones en México</p>

Investigación y Fomento

Regulación y Evaluación



Dr. Luis Herrera Estrella

Langebio Cinvestav

Tema de preocupación: Investigación y
Desarrollo de OGMs



Dra. Alma Amparo Piñeyro Nelson

Universidad Autónoma Metropolitana

Tema de preocupación: Evolución del
desarrollo y la genética molecular de las
plantas



Dr. Francisco Bolívar Zapata

Presidencia de la República Instituto de
Biotecnología de la UNAM

Tema de preocupación: Investigación y
Desarrollo de OGMs.



Dr. Takeo Ángel Kato-Yamakake

Departamento de Genética, Colegio de
Posgraduados

Tema de preocupación: Contaminación y
pérdida de diversidad del maíz nativo



Dr. Agustín López Munguía Canales

Instituto de Biotecnología de la UNAM

Tema de preocupación: Inocuidad de los
OGMs



Dr. José Antonio Serratos Hernández

Universidad Autónoma de la Ciudad de
México

Tema de preocupación: Bioseguridad,
contaminación y pérdida de diversidad del
maíz nativo

Investigación y Fomento

Regulación y Evaluación



Dr. Octavio Paredes López

CINVESTAV-Irapuato

Tema de preocupación: Biotecnología agroalimentaria (enfoque en materiales genéticos de Mesoamérica)



Dr. Antonio Turrent Fernández

INIFAP CEVAMEX

Tema de preocupación: Soberanía alimentaria y propiedad intelectual



Dr. Enrique Galindo Fentanes

Instituto de Biotecnología-UNAM

Tema de preocupación: Fomento del uso responsable de los OGMs



Dra. María Elena Alvarez-Buylla Rocés

Instituto de Ecología, UNAM

Tema de preocupación: Contaminación y pérdida de la diversidad del maíz nativo



Dr. Gerardo Jiménez Sánchez

Genómica y Bioeconomía, A.C.

Tema de preocupación: Fomento del uso responsable de la biotecnología



Dra. Ana Laura Wegier Briuolo

Facultad de Ciencias de la UNAM

Tema de preocupación: Manejo y conservación de centros de diversidad genética

Investigación y Fomento

Regulación y Evaluación



Dr. Rafael Rivera Bustamante

Laboratorio de Virología, CINVESTAV,
Irapuato

Tema de preocupación: Investigación y
Desarrollo de OGMs



**Dra. Guadalupe Beatriz Xoconostle
Cázares**

CICY

Tema de preocupación: Desarrollar
OGMs para atender problemáticas
nacionales



Dr. Sergio Rubén Trejo Estrada

Centro de Investigación en Biotecnología
Aplicada IPN

Tema de preocupación: Desarrollo de la
Biotecnología, a través del fortalecimiento
de Grupos de Investigación.



**Dra. Michelle Esther Chauvet Sánchez
Pruneda**

Universidad Autónoma Metropolitana

Tema de preocupación: Efectos
socioeconómicos del maíz transgénico en
México



Dra. Yolanda Cristina Massieu Trigo

Universidad Autónoma Metropolitana,
Departamento de Sociología

Tema de preocupación: Impactos
socioeconómicos por la siembra de
OGMs



Dr. Daniel Ignacio Piñero Dalmau

Instituto de Ecología, UNAM

Tema de preocupación: Coexistencia
entre el maíz transgénico y materiales
nativos

Investigación y Fomento

Regulación y Evaluación



Dr. Sergio Othón Serna Saldívar

Instituto Tecnológico de Monterrey,
Campus Monterrey

Tema de preocupación: Identificar compuestos con alto poder nutritivo y farmacéutico para prevenir enfermedades crónicas degenerativas.



Dr. Jean Philippe Vielle Calzada

LANGEBIO CINVESTAV Irapuato

Tema de preocupación: Fomentar el uso responsable de los OGMs



Dr. Tomás Augusto González Estrada

Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del Estado de Yucatán
Centro de Investigación Científica de Yucatán

Tema de preocupación: Fomentar la investigación científica de calidad.



Dr. Hugo Rafael Perales Rivera

El Colegio de la Frontera Sur

Tema de preocupación: Proceso evolutivo reciente de las razas mexicanas y variedades tradicionales de maíz.



Dra. Elena Lazos Chavero

Instituto de Investigaciones Sociales,
UNAM

Tema de preocupación: Impactos socioeconómicos por la siembra de OGMs



Dra. María Elizabeth Bravo Velásquez

Red por una América Latina Libre de Transgénicos A.C.

Tema de preocupación: Contaminación y pérdida de la diversidad de maíz.

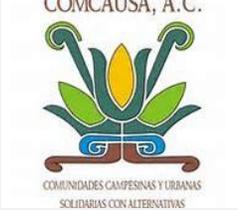
Investigación y Fomento	Regulación y Evaluación
 <p>Dra. Maria Alejandra Bravo de la Parra Instituto de Biotecnología UNAM Tema de preocupación: Fomentar el uso responsable de los OGMs. Desarrollar alternativas biotecnológicas para control de plagas</p>	 <p>Dr. Héctor Bourges Rodríguez Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán Tema de preocupación: Impactos de los alimentos GM en la nutrición</p>

Fuente: Elaboración propia con información de portales de internet.

Organizaciones campesinas y de productores han definido sus posturas entorno a los organismos genéticamente modificados, donde campesinos, consumidores, ecologistas, y organizaciones de desarrollo han puesto de manifiesto sus fundamentos científicos respecto a industria biotecnológica y el uso de la biotecnología moderna aplicada al campo mexicano. Diversas organizaciones cuentan con pleno conocimiento de las acciones del gobierno entorno a las acciones de los Organismos Genéticamente Modificados, sin embargo, no se ha logrado la articulación entre productividad, sostenibilidad y desarrollo científico nacional, para definir una postura unificada respecto al uso o moratoria de esta tecnología, que al igual que como cualquier otra, conlleve posibles riesgos y beneficios.

Cuadro 12 Organizaciones campesinas y su postura respecto a los cultivos genéticamente modificados en México

Se debe emplear en el Campo Mexicano	Falta información para ser usados en el Campo Mexicano
 <p data-bbox="272 646 690 737">Asociación ganadera local de productores</p>	 <p data-bbox="792 646 1421 789">Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productos del Campo (ANEC)</p>
 <p data-bbox="261 1056 699 1094">Consejo nacional agropecuario</p>	 <p data-bbox="820 1056 1388 1146">Alternativas y Procesos de Participación Social</p>
 <p data-bbox="207 1434 755 1472">Asociación mexicana de semilleros a.c</p>	 <p data-bbox="959 1434 1247 1472">Tosepan Titataniske</p>
 <p data-bbox="219 1696 738 1787">Asociación Mexicana de Endoscopia Gastrointestinal</p>	 <p data-bbox="797 1696 1414 1839">La Asociación Rural de Interés Colectivo en Defensa y Preservación del Maíz Nativo del Estado de Tlaxcala, A. C.</p>

Se debe emplear en el Campo Mexicano	Falta información para ser usados en el Campo Mexicano
 <p data-bbox="256 548 708 636">Asociación de agricultores de la Región Lagunera</p>	 <p data-bbox="792 531 1417 619">Comunidades Campesinas y Urbanas Solidarias con Alternativas Comcausa, A. C.</p>
 <p data-bbox="212 846 751 934">Confederación Nacional de Propiedad Rurales</p>	 <p data-bbox="849 840 1360 928">Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titataniske, S. C.</p>

Fuente (Alianza protrasgenicos , 2017), (Demanda colectiva del maíz, 2017)

Las Comunidades indígenas históricamente han estado excluidas de la discusión nacional en diversos temas, por lo que en algunas regiones existen importantes luchas de resistencias comunitarias y territoriales que se han integrado a diversos movimientos nacionales, regionales y locales para la defensa de la biodiversidad, territorio y rechazo del maíz Genéticamente Modificado. Sin embargo, la Ley de Bioseguridad de OGMs brinda la certeza Jurídica para las comunidades indígenas sean consultadas para conocer su postura sobre el empleo de OGMs en sus territorios, sin embargo, ha existido problemas en la ejecución de procedimientos, principalmente en la Península de Yucatán, lo que ha generado la revocación de un permiso comercial de soya genéticamente modificada, por considerar fallas en la consulta indígena y en posibles afectaciones a otros sistemas de producción locales.

Las Organizaciones civiles han iniciado procesos de articulación para la divulgación y la generación de luchas de resistencia a nivel regional y nacional, así como trabajo de

incidencia en políticas públicas y de luchas legales. (Manzur, Catacora, Cárcamo, Bravo, & Altieri, 2009). Organizaciones de la sociedad civil de México que trabajan por la defensa de los derechos humanos y el medio ambiente, como. Greenpeace, la Unión de Científicos Comprometidos Socialmente (UCCS) y la organización social Semillas de Vida, encabezan la lucha contra el uso de algunos cultivos genéticamente modificados en nuestro país (Barreda, 2013), principalmente el maíz y soya, al considerar que existe evidencia científica de posibles repercusiones en la integridad de la diversidad genética nacional o por afectaciones a otros sistemas de producción y comercialización. Sin embargo, también existen organizaciones que se han encargado de evaluar científicamente diversas dudas sobre la tecnología, o algunas que son desarrolladoras o usuarias de la tecnología y que ideológicamente se contraponen a las posturas de las otras organizaciones.

Cuadro 13 Posición de Organizaciones Civiles respecto a los cultivos genéticamente modificados en México

La biotecnología moderna puede ser una alternativa para el Campo Mexicano	En México no se requiere la biotecnología moderna para algunos cultivos
	
Academia Mexicana de Ciencias	Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad
	
AgroBio México A.C.	Greenpeace

La biotecnología moderna puede ser una alternativa para el Campo Mexicano

En México no se requiere la biotecnología moderna para algunos cultivos



Asociación Mexicana de Semilleros A.C.



Semillas de Vida



Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo



Guerreros Verdes



Gerencia energética



Amigos de la Tierra



Unión agrícola regional del norte de Tamaulipas



Asociación Vida Sana

La biotecnología moderna puede ser una alternativa para el Campo Mexicano

En México no se requiere la biotecnología moderna para algunos cultivos



Asociación ganadera local



Ecologistas en Acción



Red de semillas

Fuente (Amigo de la tierra, 6) (Grain, 2003) (Gerencia energetica, 2015) (Demanda colectiva del maiz, 2017) (Alianza protrasgenicos , 2017)

CAPITULO III RIESGOS Y BENEFICIOS DE LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA EN LA AGRICULTURA

3.1 Evidencia científica de los posibles riesgos

El uso de organismos genéticamente modificados debe hacerse a partir de un riguroso análisis de los posibles riesgos que puedan representar para la salud humana, el medio ambiente y la biodiversidad. Con respecto al medio ambiente representan posibles riesgos porque son productos distintos en la naturaleza, por no han pasado en algunos casos por un proceso evolutivo y porque son resultado de una técnica de manipulación en laboratorio.

Se debe reconocer que no todos los Organismos Genéticamente Modificados conllevan el mismo riesgo potencial, no podemos comparar un transgénico con un intragénico ni mucho menos con un cisgénico, donde el nivel de riesgo es mucho menor, por lo que resulta fundamental que la población científica y pública en general no categorice a todos los OGMs como transgénicos.

Algunos de los posibles riesgos de los cultivos transgénicos son: que puedan afectar a insectos benéficos; que las toxinas *Bt* activas puedan acumularse y persistir en los suelos que puedan surgir plagas de insectos resistentes al *Bt* y que la resistencia a diversos antibióticos pueda ser transferida a organismos patógenos aumentando las preocupaciones de salud pública derivados del aumento de resistencia de determinadas bacterias a los antibióticos. No se ha demostrado que su consumo haga daño a la salud humana pero tampoco lo contrario, y la demanda de las organizaciones civiles es que se investigue más antes de comercializar dichos productos.

Existe la posibilidad de que algunos transgénicos puedan causar alergias por el consumo de alimentos, como ha pasado con algunos eventos específicos como el maíz transgénico Star Link.

Nuestro cuerpo expresa diversas reacciones a sustancias no reconocidas incluyendo proteínas, generando alergias, para el caso de las toxinas *Bt*, las esporas de *Bacillus thuringiensis* utilizadas como bioinsecticidas incluso en la agricultura orgánica, producen frecuentemente alergias en trabajadores rurales al momento de su aspersión o fumigación, sin embargo, dichas esporas no llegan al consumidor porque el productor en su proceso de agregación de valor lava su producto y así, no hay un riesgo para el consumidor.

Para el caso de cultivos transgénicos que expresan toxinas de forma constitutiva (en todas las células de la planta), existe un posible riesgo para consumidores que puedan ser sensibles a la exposición o consumo de dicha toxina, por lo que los problemas de alergias son inevitables.

Un posible riesgo de amplia discusión científica es la transferencia horizontal de genes, y que dicha transferencia de secuencias genéticamente modificadas en el nuevo receptor sea inestable y puede incorporarse en el material genético de otros organismos que se encuentren en el entorno, afectando su capacidad reproductiva, su habilidad de supervivencia, o algún proceso ecológico de su entorno.

Con respecto a la biodiversidad, en nuestro país se ha discutido ampliamente los posibles riesgos de los OGMs en las poblaciones de maíz nativo, el cual nuestro país es centro de origen y de diversidad genética, por lo que es reservorio de genes potenciales para programas de mejoramiento, y que derivado de su sistema de polinización cruzada, existe la posibilidad de la introgresión de genes patentados en los maíces nativos, pudiendo afectar algún proceso, biológico o ecológico del maíz nativo, y afectando el libre acceso de estos materiales de libre dominio a los productores que se les introdujo estos materiales patentados, afectando potencialmente la productividad y el libre intercambio de semillas para producir alimentos asociados a una cultura, tradiciones, aspectos de identidad cultural y religiosos. Esto ha sido estudiado por Chápela y Quist, quienes encontraron un alto nivel de flujo genético de secuencias transgénicas hacia poblaciones de maíces nativos en Oaxaca. (Ortega Ramírez, 2017)

Acorde a (Corti Varela, 2016) después de una década de discusiones, en 2015 la Unión Europea propuso como solución la creación de nuevas cláusulas de salvaguarda basadas en argumentos no científicos, para la regulación europea sobre biotecnología, sin embargo, (Flores Jimenez, 2017) menciona que la evaluación de riesgos es un proceso riguroso basado en ciencia, y su principal objetivo es identificar peligros y establecer un estimativo cualitativo o cuantitativo de los posibles niveles de riesgo que suponen las liberaciones al ambiente de los OGMs.

Aunque son muy pocos los estudios afirma (Acosta Hurtado, 2016) los riesgos que genera el consumo de estos alimentos se sabe que hay riesgos potenciales que requieren ser realmente investigados antes de seguir desarrollando este tipo de productos, los cuales deben estar etiquetados los alimentos genéticamente modificados, para que sea el mismo consumidor quien tome la decisión de consumirlo o no.

Además de los posibles riesgos biológicos, existen riesgos socioeconómicos y culturales (Lazos Chavero, 2015) así como posibles daños irreversibles ambientales, los cuales, aún y cuando se cuenta con diversos aparatos institucionales para su verificación en ocasiones se carece de capacidad técnica instalada para monitorear esos riesgos, los cuales se han encontrado tanto en productos y alimentos derivados de OGMs, como de sistemas de producción convencional (uso de agroquímicos) al igual que en la producción orgánica, es decir, ningún sistema de producción de alimentos tiene un riesgo cero para múltiples aspectos, por ello, se han tomado diversas medidas para solventar estos inconvenientes técnicos y normativos desde el punto de vista jurídico afirma (Mesa García, 2016).

Se estimó el riesgo ambiental por el uso de agroquímicos en la agricultura extensiva de la provincia de Buenos Aires, donde los cultivos de verano (soja, maíz, sorgo, girasol) presentaron un mayor riesgo ambiental que los de invierno (trigo, cebada, colza), se destaca que los herbicidas fueron los más utilizados (70 al 97%) y entre ellos el glifosato fue el más empleado, seguido de los insecticidas. Los resultados confirman que no son

los cultivos genéticamente modificados en sí los que generan el riesgo ambiental sino el sistema de producción con el cual se realizan. (Iermanó & Oyhamburu, 2015) a pesar que se han generado diversas observaciones en cuanto a su inocuidad y bioseguridad por ciertos sectores de la sociedad hasta la fecha, en donde (Garro Monge, 2017) asegura que múltiples estudios con gran respaldo científico en diversas partes del mundo concluyen de manera general que a nivel ambiental y de salud humana, no existen diferencias entre el mejoramiento convencional y el mejoramiento por ingeniería genética, derivado de que el desarrollo de alimentos mejorados mediante biotecnología está acompañado por normas y marcos regulatorios de bioseguridad, los cuales involucran análisis de riesgo con pruebas de larga duración para asegurar la inocuidad del alimento, lo cual no siempre se requiere para alimentos producidos por mutagénesis, los cuales están libres de cualquier regulación en materia de inocuidad y riesgos a la salud, al ser considerada una técnica convencional, pero que los análisis científicos mencionan claramente que se alteran miles de genes y que en los cultivos genéticamente modificados, solo son unos cuantos. (Farah Lizeth, 2015) Asegura que la manipulación genética trae consigo riesgos considerables en la salud humana y animal, en el medioambiente y en la estabilidad socio-económica. Los efectos negativos que surgen como consecuencia de la utilización de dichos organismos no han podido ser desvirtuados con estudios científicos de largo plazo que avalen la seguridad e inocuidad de los OGM, de manera que existe incertidumbre científica al respecto. Por otra parte (García Minaya, 2015) menciona ciertos estudios de toxicidad animal con ciertos alimentos transgénicos han demostrado que pueden afectar tóxicamente varios órganos y sistemas, por lo anterior, la revisión de estos estudios pueden ayudar a crear un mejor panorama de los posibles efectos sobre la salud en los seres humanos. Algunos científicos como (Torrez Cruz., 2012) afirman que No hay evidencia científica contundente que puedan causar daños a la salud humana. También (Zapata, 2017) menciona que no hay evidencia científica sólida publicada que indique que las plantas de maíz transgénico “contaminen”, dañen o tengan efectos negativos sobre las variedades de maíz nativo y sus parientes cercanos que existen en México.

Diversos organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) respaldan la seguridad de estos alimentos al afirmar que: tras someterlos a rigurosas evaluaciones de riesgo, se concluye que es improbable que presenten más riesgos para la salud humana que sus contrapartes convencionales. (cibiogem, 2012).

Los cultivos genéticamente modificados y sus productos iniciaron su comercialización en 1996, bajo un esquema muy detallado de evaluación, previo a su aprobación como alimentos inocuos, y a la fecha, hay cientos de evaluaciones de eventos genéticamente modificados en diversas partes del mundo, como por ejemplo los ARTÍCULOS CIENTÍFICOS SOBRE INOCUIDAD POR CONSUMO Y EQUIVALENCIA RESPECTO A CULTIVOS CONVENCIONALES En este artículo se analizan 17 estudios de alimentación a largo plazo y 16 estudios multigeneracionales en diferentes animales alimentados con alimentos Genéticamente Modificado, identificando que no existe daño reportado por el consumo de plantas Genéticamente Modificadas en periodos largos de 90 días ni en estudios multigeneracionales y todos ellos demuestran la inocuidad y la ausencia de daño en animales por consumir alimentos Genéticamente Modificados y su equivalencia sustantiva y composicional con los alimentos convencionales, mediante experimentos in vivo e in vitro. (Zapata, 2017), sin embargo, se podrían realizar estudios en un lapso de tiempo y en un mayor número de generaciones para garantizar la seguridad de la tecnología y la inocuidad de los alimentos, sin que esto limite o frene el desarrollo científico nacional y el uso de la tecnología bajo cierta medidas de bioseguridad.

Cuadros 14 Evidencias científicas de los Posibles riesgos de OGMs

Artículo de los Posibles Riesgos de los OGMs	Evidencia Científica de los Posibles Riesgos de los OGMs
“Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: a literature review” (Valoración del impacto	En este trabajo los investigadores concluyen que las plantas genéticamente modificadas (GM) son equivalentes nutricionalmente a sus contrapartes

Artículo de los Posibles Riesgos de los OGMs	Evidencia Científica de los Posibles Riesgos de los OGMs
<p>en la salud por dietas con plantas genéticamente modificadas en periodos largos y multigeneracionales en pruebas de alimentación en animale.</p>	<p>convencionales y pueden usarse de manera segura como alimento humano y para forrajes. (Snell & Bernheim , 2012).</p>
<p>“An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research” (Un análisis de los últimos 10 años de investigación en la seguridad de las plantas generadas por ingeniería genética).</p>	<p>Según el artículo no se ha detectado ningún peligro significativo asociado directamente con el uso de cultivos genéticamente modificados. (Nicolia, Manzo, & Verone, 2013)</p>
<p>“Final review of the Séralini et al. (2012a) publication on a 2 year rodent feeding study with glyphosate formulations and GM maize NK603 as published online on 19 September 2012 in Food and Chemical Toxicology” (Revisión final de la publicación de Séralini et al. (2012a) sobre la alimentación en roedores durante periodos de dos años con formulaciones de glifosato y maíz GM NK603.</p>	<p>Se llegó a la conclusión de que no han sido correctamente interpretados ni mostrados debido a que no concuerda con los protocolos establecidos para la interpretación de estudios de carcinogenicidad en roedores. (EFSA, 2012).</p>

Fuente (Zapata, 2017)

El Codex Alimentarius de la ONU, trabajó con expertos científicos durante 7 años para desarrollar unas directrices internacionales para la evaluación de alimentos y cultivos modificados genéticamente, debido a las preocupaciones sobre los riesgos que plantean. Estas directrices fueron adoptadas por la Comisión del Codex Alimentarius, de la que son miembros 160 países. Las dudas referentes a los riesgos de la ingeniería genética están

bien fundamentadas, como ha sido demostrado por los estudios en algunos cultivos y alimentos Genéticamente Modificados que han hallado efectos adversos sobre la salud animal y de los organismos no objetivo, según se ha indicado anteriormente. Muchos de estos estudios, de hecho, se han tenido en cuenta en los procesos de negociación y/o implementación del Protocolo de Cartagena y el Codex. Algunos autores apoyan la aplicación del Principio de Precaución en lo relativo a la liberación y movimiento transfronterizo de cultivos y alimentos modificados genéticamente. (Tribe, 2016), sin embargo, se debe evaluar el riesgo potencial de cada evento y su relación con el ambiente de liberación, con la finalidad de generalizar el principio precautorio a toda la tecnología de los OGMs.

En cuanto a los riesgos fitosanitarios de los OGMs, se ha documentado en algunos casos que pueden favorecer la creación de resistencias a los agentes externos, por lo que utilizar año tras año glifosato y cultivos *Bt* podría acabar fortaleciendo las plagas y las malezas que precisamente se intentan combatir, las cuales se acostumbrarían a la acción de estos compuestos, dejando vulnerable a los productores para la aparición de estas super plagas y malezas, por ello, el resulta fundamental aplicar los principios básicos agronómicos para la producción de cultivos, donde se debe considerar un manejo integrado de plagas y enfermedades, empleando múltiples modos de acción y métodos de control, para garantizar a los agricultores una tecnología funcional, duradera y de bajo costo.

Los peligros sobre la salud humana se vinculan más que a pruebas concluyentes de laboratorio a los efectos desconocidos que pueda llegar a causar la modificación genética, especialmente en la cadena alimenticia. Los argumentos de tipo ético-moral van desde los más abstractos sobre la manipulación de la vida a los más concretos que cuestionan la introducción de genes humanos en los alimentos también están aquellos que debaten la ética del derecho a patentar seres vivos.

Finalmente las críticas socioeconómicas se conectan con los peligros del oligopolio biotecnológico (la gran mayoría de las patentes de OGM pertenecen a pocas empresas,

esencialmente estadounidenses), así como con los riesgos que podría ocasionar la concentración genética en pocas variedades transgénicas, por ejemplo, reduciendo la diversidad biológica y dificultando otros modelos de agricultura, en especial la ecológica (Corti, 2016). El tener un oligopolio puede causar efectos en la disponibilidad de semillas, su encarecimiento, condicionamiento de venta del producto final y control de la cadena de producción, pudiendo afectar el sistema de producción y disposición de alimentos de una región o país que dependa cien por ciento de la tecnología de OGMs de importación, lo cual, hasta el momento solo se ha considerado como una especulación, sin que exista un caso documentado.

Se ha mencionado que los cultivos modificados genéticamente podrían causar efectos negativos en las comunidades bacterianas, por lo cual, se compararon estructuras de la comunidad bacteriana de dos cultivares de maíz para determinar si el cultivar transgénico ejerce un efecto negativo sobre las comunidades bacterianas que habitan en la rizosfera. Los cultivares incluyeron el maíz genéticamente modificado (*Zea mays*), con el gen que confiere resistencia al herbicida glufosinato (sinónimo: *L-fosfínotricina*) y el maíz híbrido convencional. El ADN metagenómico se extrajo de la rizosfera de las plantas cultivadas en un invernadero. El polimorfismo de conformación monocatenario, basado en la reacción en cadena de la polimerasa que amplifica un gen de ARNr de subunidad parcial, se utilizó para caracterizar y generar perfiles genéticos que correspondían a las comunidades bacterianas de los productos amplificados de la rizosfera de los dos cultivares de maíz. Los perfiles genéticos de la rizosfera consistieron en perfiles distinguibles, basados en los pares de cebadores elegidos. Los análisis de similitud de patrones encontrados por análisis de matriz binaria no mostraron diferencias en las comunidades bacterianas de los dos cultivares. La modificación genética no afectó negativamente a la comunidad bacteriana estructural en la rizosfera del cultivar de maíz transgénico. (Mendoza-Herrer, Fernández-Dávila, & Cruz-Hernández, 2016)

3.2 Evidencia científica de los posibles beneficios

Entre los beneficios de los organismos genéticamente modificados algunos de los más relevantes son: combate más eficaz de plagas y malezas, con bajos requerimientos de plaguicidas y herbicidas; mejor aprovechamiento del agua para riego; y un uso menos intensivo de maquinaria debido a prácticas de labranza de conservación, que involucran una menor preparación de suelos para la siembra y, por tanto, menos combustibles. A nivel mundial en 2012 se ahorraron la aplicación, 473 mil toneladas de plaguicidas. Y se evitó la emisión de 23 mil millones de kilogramos de CO₂, lo que fue equivalente a retirar más de 10 millones de automóviles de la circulación. Además, la menor afectación de plagas se tradujo en un rendimiento promedio de la producción superior a 10 por ciento con respecto al uso de semillas “convencionales”, lo que se tradujo en mayores ingresos para los productores. (Ruiz Funes , 2013). En este documento se ha mencionado que los cultivos genéticamente modificados no generar una mayor producción por sí mismos, pero al emplear diversas técnicas agronómicas se ha podido lograr incrementar los rendimientos por superficie de terreno así como la rentabilidad; para esta situación, en México, el simple hecho de ocupar semillas transgénicas de algodón y sus respectivos insumos asociados (herbicidas) favoreció que investigadores del INIFAP adecuaron el paquete tecnológico de producción e implementaron el sistema de “Surcos estrechos”, incrementando la densidad de siembra por hectárea y con ello la cosecha de fibra y las ganancias.

Evidencia científica afirma (Brookes & Barfoot, GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2014 , 2016) que los cultivos Genéticamente Modificados han reducido el uso de pesticidas entre 1996 y 2015 en 620 millones de kilogramos. Como resultado, esto ha disminuido el impacto ambiental asociado a los fitosanitarios usados en la superficie sembrada con cultivos GM en un 19%.

También se ha demostrado la reducción significativa de emisión de gases de efecto invernadero de las prácticas agrícolas, esto como consecuencia de un menor uso de combustible y menor almacenamiento adicional de carbono en el suelo por reducción de la labranza. Solo en 2015, esta reducción fue de 26.700 millones de kilogramos de dióxido

de carbono de la atmósfera, lo que equivale a retirar casi 12 millones de automóviles de las calles durante un año.

Entre 1996 y 2015 gracias a los cultivos Genéticamente Modificados se produjo un adicional de 357,7 millones de toneladas de maíz y 180,3 millones de toneladas de soja, 25,2 millones de toneladas de fibra de algodón, y 10,6 millones de toneladas de canola. Y solo en Estado Unidos y Canadá produjeron un extra de 760.000 toneladas de remolacha azucarera en el mismo periodo. Esto ahorró 174 millones de hectáreas en suelos adicionales (una superficie muy cercana a la de todo México), ya que se produce más con menos tierra.

Para el período de 18 años (1996-2015), el aumento extra de la renta agraria global debido al uso de cultivos GM fue de US\$167.700.000.000, y se dividió en partes iguales entre los agricultores de países en desarrollo y desarrollados. Sin embargo, los mayores aumentos de rendimiento fueron obtenidos por los agricultores en los países en desarrollo. En los países en desarrollo, los productores recibieron \$5,15 dólares por cada dólar invertido en semillas transgénicas, mientras que en los países desarrollados este valor fue de \$2,76 dólares. (Norero, Qué dice la evidencia científica sobre la seguridad de los cultivos y alimentos transgénicos, 2017)

Finalmente un meta-análisis “A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops” que consistió en una revisión de 147 estudios muestra evidencia de que los cultivos transgénicos de soya, maíz y algodón:

- Han disminuido en un 37% el uso de pesticidas.
- Han permitido aumentar un 22% el rendimiento.
- Han generado un 68% más de ganancias para los agricultores.
- Las ganancias son mayores para los agricultores de países en desarrollo en relación a los agricultores de países desarrollados.

Cuadro 15 Posibles beneficios de OGMs

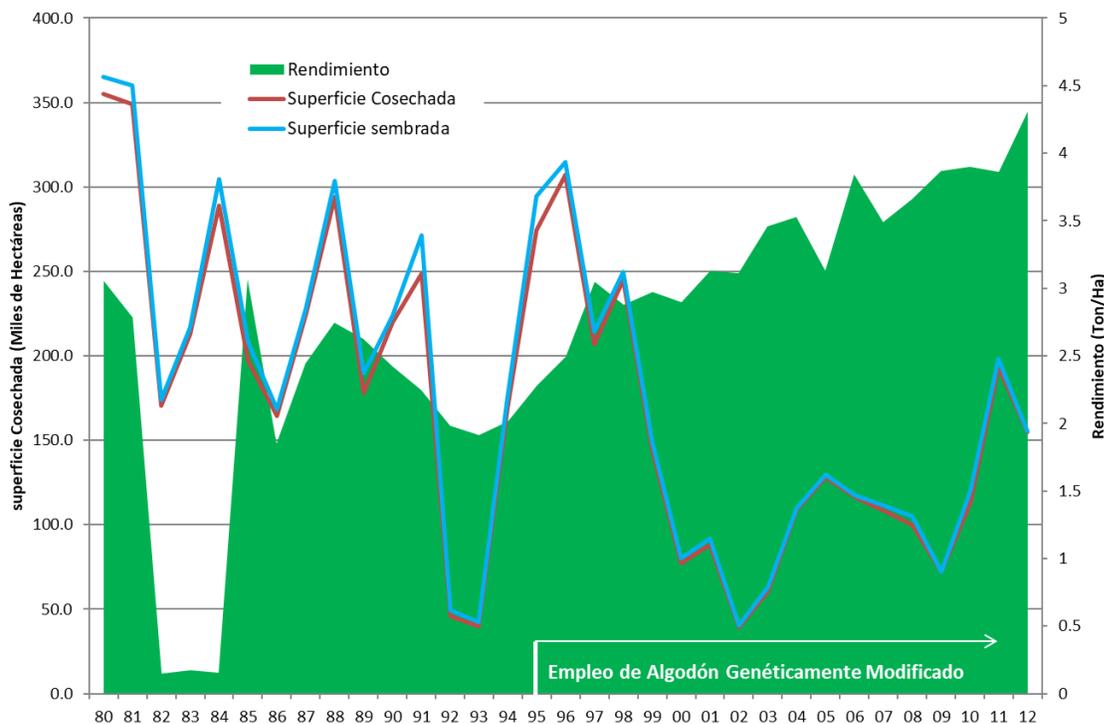
Posible Beneficio de los OGMs	Evidencia Científica del posible Beneficio de los OGMs
<p>Reducción en el uso de insecticidas químicos sintéticos. Se ha reducido la cantidad de pesticida aplicado vía fumigación en 443 millones de kilogramos. Asimismo, la disminución en los gases de efecto invernadero en las áreas de cultivo.</p>	<p>“Global impact of biotech crops: environmental effects, 1996–2010” (Impacto global de las cosechas producidas por biotecnología: efectos en el medio ambiente, 1996-2010). (Brookes & Barfoot, GM crops: global socioeconomic and environmental impacts 1996-2014, 2016).</p>
<p>Reduce un 37% el uso de pesticidas químicos, ha incrementado la productividad de las cosechas en 22%, y ha incrementado las ganancias de los agricultores en 68 por ciento.</p>	<p>“Economic impact of GM crops. The global income and production effects, 1996–2012” (Impacto económico de las cosechas genéticamente modificados ingreso global y efectos en la producción en el periodo 1996–2012) (barfoot, 2014).</p>
<p>El año 2014, muestran que de 1996 a 2012 ha habido un beneficio neto para los agricultores de 18.8 mil millones de dólares para 2012, y un total acumulado durante los 17 años de uso comercial de la tecnología de 116.6 mil millones de dólares.</p>	<p>“A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on non target invertebrates” (Un metaanálisis de los efectos del algodón y el maíz <i>Bt</i> en invertebrados) (Marvier, McCreedy, Regetz, & Kareiva, 2007).</p>

Fuente (Zapata, 2017)

La FAO reconoce que la ingeniería genética puede contribuir a elevar la producción y productividad en la agricultura, silvicultura y pesca, y que puede dar lugar a mayores rendimientos en tierras marginales de países donde actualmente no se pueden cultivar alimentos suficientes para alimentar a sus poblaciones. Existen ya ejemplos de la ayuda

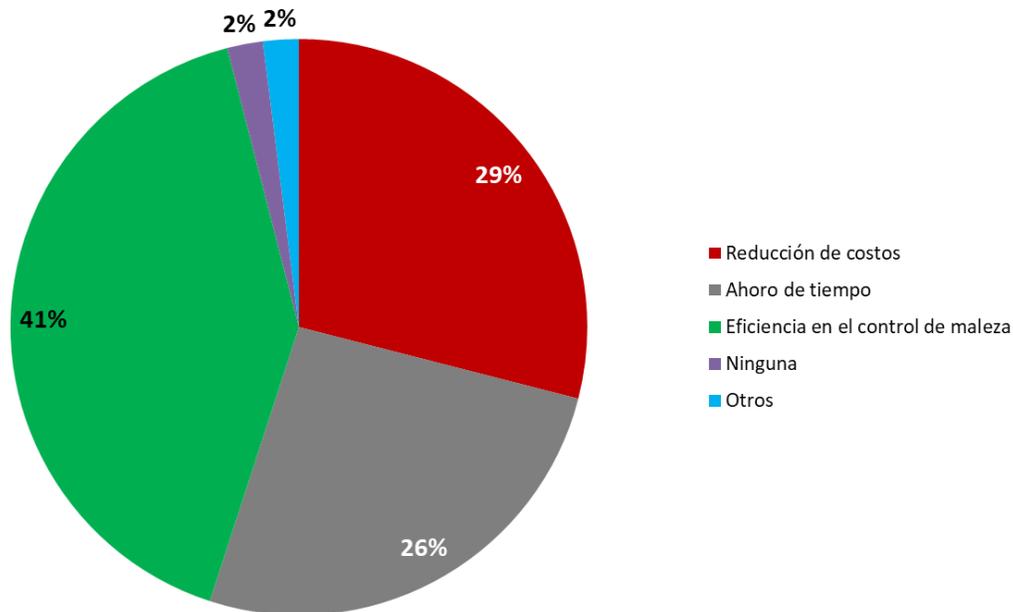
que la ingeniería genética presta para reducir la transmisión de enfermedades humanas y de los animales gracias a nuevas vacunas. Se ha aplicado la ingeniería genética al arroz para que contenga provitamina A y hierro, lo que mejora la salud de muchas comunidades de bajos ingresos y poca ingesta de alimentos ricos en vitamina A. Las nuevas técnicas permitirán a los científicos reconocer y centrar los esfuerzos en lugares de caracteres cuantitativos para incrementar así la eficiencia del mejoramiento genético en relación con algunos problemas agronómicos tradicionalmente inabordables, como la resistencia a la sequía o mejores sistemas radiculares. La FAO está tratando constantemente de determinar los beneficios potenciales y los posibles riesgos asociados con la aplicación de tecnologías modernas para incrementar la productividad y la producción de plantas y animales. No obstante, los responsables de la formulación de políticas en relación con estas tecnologías siguen siendo los mismos gobiernos de los Estados Miembros (Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 2017)

Figura 11 Beneficios del Algodón transgénico en México



Fuente: (SAGARPA, 2016)

Figura 12 Principales beneficios de la siembra de algodón transgénico en México



Fuente: (SAGARPA, 2016)

3.3 Medidas de bioseguridad y evaluación de riesgo

(Flores Jimenez, 2017) Menciona que la evaluación de riesgos es un proceso riguroso basado en ciencia, y su principal objetivo es identificar peligros y establecer un estimativo cualitativo o cuantitativo de los posibles niveles de riesgo que suponen las liberaciones al ambiente de los OGMs, por lo que la evaluación de riesgo de los Organismos Genéticamente Modificados implica un análisis del impacto ambiental, análisis de seguridad para la salud humana y también los posibles riesgos toxicológicos. Este análisis incluye estudios relacionados con la estabilidad genética, alteraciones genómicas, toxicidad y alergenicidad, productos de la expresión génica, digestibilidad y metabolismo, biodisponibilidad de nutrientes y micronutrientes, toxicidad aguda y crónica, formulación y ensayo de alimentos para animales, posibles impactos a organismos no blanco, necesidad de información para el consumidor, entre otros, para lo cual, frecuentemente se emplea el procedimiento internacionalmente consensuado

científicamente, y plasmados en el anexo III del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (PCB).

Considerando que los posibles riesgos representan una condición de incertidumbre, se ha planteado la posibilidad de recurrir a la aplicación del principio precautorio, principio planteado en el preámbulo del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), aprobado en junio de 1992 y también presente en PCB, que señala que “cuando exista una amenaza de reducción o pérdida sustancial de la diversidad biológica no debe alegarse la falta de pruebas científicas inequívocas como razón para aplazar las medidas encaminadas a evitar o reducir al mínimo esa amenaza. (Nodari, 2009). Es necesario justificar mediante evidencia científica dichos riesgos, y el principio precautorio no debe considerarse como un mecanismo para limitar la biotecnología en diversos países por desconocimiento científico o intereses políticos, comerciales o ideológicos de los tomadores de decisión en turno.

Tales riesgos pueden clasificarse en dos categorías fundamentales: los efectos en la salud humana y de los animales, y de las consecuencias ambientales. Hay que actuar con precaución para reducir los riesgos de transferir toxinas de una forma de vida a otra, de crear nuevas toxinas o de transferir compuestos alergénicos de una especie a otra, lo que podría dar lugar a reacciones alérgicas imprevistas. Entre los riesgos para el medio ambiente cabe señalar la posibilidad de cruzamientos exteriores que podrían dar lugar, por ejemplo, al desarrollo de malezas más agresivas o de parientes silvestres con mayor resistencia a las enfermedades o provocar tensiones ambientales, trastornando el equilibrio del ecosistema.

También puede afectar en el medio ambiente como en la biodiversidad y a consecuencia de esto puede traer varios riesgos en general que pueden afectar en el futuro, por ejemplo, como consecuencia del desplazamiento de cultivares tradicionales por un pequeño número de cultivares modificados genéticamente. (Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 2017).

Que son las medidas de bioseguridad

Considerando de que pueden existir diversos riesgos que pueden ser mitigados, se ha podido establecer siembras comerciales de cultivos genéticamente modificados, en donde ha sido necesaria la aplicación de medidas de bioseguridad, las cuales se definen como el conjunto de medidas y acciones requeridas para minimizar los potenciales riesgos que puedan ocurrir cuando se utilizan Organismos Genéticamente Modificados (OGMs), derivados y productos que los contengan. Estas medidas de bioseguridad se logran con el establecimiento de normas, donde se busca resguardar los intereses públicos y privados, permitiendo solamente la aplicación responsable de la biotecnología, cuidando mantener un balance entre la protección de la salud, el ambiente y la biodiversidad, facilitando el comercio y la transferencia de tecnologías.

3.3.1 Tipos de medias de bioseguridad

3.3.1.1 Transporte de material vegetal experimental

Independientemente de la especie o del tipo de material vegetal a transportar, los materiales genéticamente modificados deben ser empacados en contenedores seguros y durante el transporte se deben mantener separados de otras semillas y/o material vegetal. Cualquier contenedor o formato de empaque utilizado para el transporte y almacenamiento de organismos vegetales genéticamente modificados debe poder prevenir la pérdida de semillas o de otras partes del material vegetal. Los embarques de material vegetal genéticamente modificado deben estar claramente identificados con etiquetas. Se recomienda que la etiqueta de embarque incluya: 1. Número de Permiso para el movimiento dentro del país (cuando corresponda) 2. Número de Permiso para Importación y/o Certificado Fitosanitario (cuando corresponda) 3. Especie vegetal 4. Forma del material (por ejemplo, semilla, esqueje/vástago, tubérculo, planta entera) 5. Cualquier tratamiento de la semilla u otro tratamiento del material que pueda generar preocupaciones ante la exposición del trabajador 6. Cantidad de material despachado (por ejemplo, gramos de semilla) 7. Detalles de la persona a contactar en el caso de una liberación accidental. Todo esto se debe hacer bajo las medidas necesarias establecidas por las autoridades autorizadas como la SAGARPA y SEMARNAT.

3.3.1.2 Acciones correctivas en el caso de una liberación accidental

En el caso de una liberación accidental de material vegetal experimental durante la siembra o desde el lugar del ensayo, el incidente debe mantenerse bajo control y la persona a quien se otorgó el permiso (la parte autorizada) debe ser notificada de inmediato acerca de la situación. Si ya ha ocurrido una liberación accidental, la parte autorizada deberá asegurar la recuperación de la mayor cantidad posible del material experimental de Organismos Genéticamente Modificados. El lugar de una liberación accidental debe ser marcado y manejado para asegurar que no haya liberaciones adicionales del material. Todas las acciones correctivas adoptadas para resolver una liberación accidental durante la siembra y desde el lugar del ensayo deben documentarse. Después que la acción correctiva ha sido adoptada para resolver una cuestión de incumplimiento de la norma, la parte autorizada deberá llevar a cabo un análisis de la situación para identificar sus causas y luego determinar los cambios que sea necesario introducir en las prácticas de manejo o contar con personal adicional capacitado para garantizar que la situación no se reitere.

3.3.1.3 Aislamiento espacial

Los ensayos a campo con organismos vegetales genéticamente modificados pueden aislarse reproductivamente de otras plantas de la misma especie o de parientes sexualmente compatibles separándolos con una distancia mínima. Todas las plantas de la misma especie o de especies relacionadas presentes en la zona de aislamiento deben ser removidas antes de la antesis o de la formación de la semilla y tratarse de manera tal que resulten inviables (SENASICA, 2017)

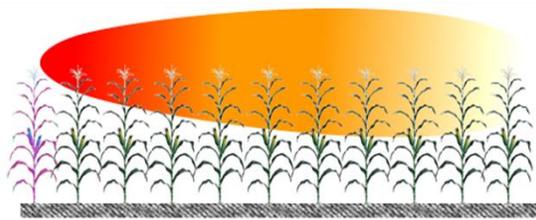
Figura 13 Aislamiento espacial entre cultivos genéticamente modificados

Sin barreras de cultivo los granos de polen pueden viajar hasta 800 m ó más, dependiendo del clima



0-200 m
>[granos de polen]
Kawashima et al., 2011; Palauelmás et al., 2011; Chamecki et al., 2011; Viljoen y Chetty, 2011

Con barreras de cultivo la mayor cantidad de polen se concentra en los primeros 30 surcos



30 surcos borderos o buffer >[98% granos de polen]

No existe relación entre la superficie GM y la presencia adventicia.
Bannert et al., 2008
Palauelmás et al., 2011

Fuente (SAGARPA, 2017)

3.3.1.4 Aislamiento temporal

Los ensayos a campo con organismos vegetales genéticamente modificados pueden aislarse reproductivamente de otras plantas de la misma especie cuando se cultivan en épocas diferentes o que no coincida con la floración, es decir que no exista sincronía floral, para muchos permisos otorgados, se recurre a otorgar permisos por ciclos agrícolas, es decir, si la gran variedad de cultivos sexualmente compatibles se establecen en primavera-verano, la autoridad emite los respectivos permisos para establecer los cultivos genéticamente modificados en el ciclo otoño-invierno, con lo cual no existe riesgo de polinización cruzada.

3.3.1.5 Control de Plantas voluntarias

Las plantas voluntarias en los ensayos con cultivos genéticamente modificados, se requiere a aquellas semillas que involuntariamente quedan en los predios experimentales y que pudieran representar un riesgo por la posible floración y respectiva polinización fecundación a otras plantas no genéticamente modificadas, en este sentido, para cada permiso que se otorga, se solicita como condicionante realizar actividades agronómicas que permitan la emergencia de todas las semillas genéticamente que pudieran haber quedado en el suelo y posteriormente proceder a su destrucción. La práctica más común para esto es realizar el laboreo del terreno, es decir barbechar y rastrear, y posteriormente

realizar un riego de preemergencia y nuevamente volver a rastrear, y dicha actividad de puede repetir nuevamente.

3.3.1.6 Control restringido a sitios experimentales

Las plantas voluntarias en los ensayos con cultivos genéticamente modificados, evaluación, monitoreo, control y prevención que se deben asumir en la realización de actividades con organismos genéticamente modificados, con el objeto de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que dichas actividades pudieran ocasionar a la salud humana o al medio ambiente y la diversidad biológica, incluyendo los aspectos de inocuidad de dichos organismos que se destinen para uso o consumo humano.

CAPITULO IV CAPACIDAD CIENTÍFICA EN MÉXICO

4.1 Principales desarrolladores a nivel mundial

A nivel mundial, la producción agropecuaria podría satisfacer probablemente la demanda esperada en el período hasta 2030, incluso sin avances importantes en biotecnología, sin embargo, la biotecnología puede ser una importante herramienta en la lucha contra el hambre y la pobreza, especialmente en los países en desarrollo, debido a que puede proporcionar soluciones en los casos en los que enfoques de mejoramiento convencionales han fallado, puede ser una gran ayuda en el desarrollo de variedades de cultivos capaces de sobrevivir en entornos difíciles en los que gran parte de la población pobre del mundo vive y se dedica a la agricultura.

Actualmente se han conseguido algunos resultados prometedores en el desarrollo de variedades con características complejas como resistencia o tolerancia a la sequía, a la salinidad del suelo, a plagas y a enfermedades, lo que ha ayudado a reducir las pérdidas de las cosechas. Varios desarrollos tecnológicos derivados de la biotecnología permiten a los agricultores de escasos recursos reducir el uso de insumos como plaguicidas o fertilizantes, con ventajas para el medio ambiente y la salud humana, así como para los ingresos de los agricultores. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015); desde 1997, ha reconocido y tratado de impulsar la biotecnología en países en desarrollo, derivado de que éstos, hasta el momento poseen un incipiente sector biotecnológico (semillas híbridas, técnicas de micropropagación, etc.) que contribuyen escasamente a sus mercados internos, donde la mayoría de ellos son deficitarios en las sofisticadas técnicas derivadas de la Biología Molecular (Iáñez Pareja & Moreno, 1997), y no contribuyen a su desarrollo científico y fortalecimiento de capacidades humanas y de infraestructura.

4.1.1 Áreas agrícolas y ganaderas

Cultivos in vitro de células y tejidos vegetales, que permiten obtener fácilmente plantas libres de enfermedades, es una técnica “intermedia” de costo bajo, fácilmente adaptable,

ya que permite la rápida diseminación de material para plantar en especies básicas que suelen propagarse de modo vegetativo (sin semillas): papa, plátano, ornamentales, frutales, etc.

- En África Oriental esta técnica ha permitido mejorar la producción de plátano, que allí es un alimento básico, aumentando los ingresos de pequeños agricultores, especialmente de las mujeres.
- El cultivo de anteras junto con el rescate de embriones ha permitido generar cruces entre dos especies de arroz, la asiática de gran rendimiento (*Oryza sativa*) y la africana (*O. glaberrima*), de menos rendimientos, pero mejor adaptada a competir con la maleza. El híbrido resultante, que combina ambas propiedades está empezando a cultivarse con éxito en África Occidental.

Marcadores moleculares: permiten facilitar y acortar los proyectos de mejoramiento genético clásico (en vez de 10 generaciones, se logra en seis).

- Desarrollo de variedades de maíz resistentes al virus del estriado del maíz (*MSV*)
- Ha permitido la creación de arroces híbridos en China y en el IRRI, con 20% de mayor productividad.
- Esta técnica permite abordar mejor la selección de rasgos complejos útiles en muchas zonas tropicales y subtropicales, como la tolerancia a sequías.

Apomixis: reproducción asexual a partir del óvulo. El CIMMYT está intentando desarrollar la apomixis, que posibilitaría fijar en una sola generación rasgos útiles para los agricultores y consumidores, evitando que esos rasgos se pierdan por los cruces sexuales.

- Algunas ventajas para el agricultor: desarrollo de plantas resistentes a insectos que evitan el uso de insecticidas químicos, lo que genera beneficios ambientales
- Otras ventajas lo son para el consumidor: plantas que mejoran sus niveles de aminoácidos, vitaminas, minerales u otros metabolitos y nutrientes.

El Servicio Internacional para la Adquisición de Agrobiotecnología (ISAAA, por sus siglas en inglés), es una ONG fundada en 1991 como intermediario para lograr transferir

biotecnología adaptada a agricultura de países pobres. Se financia por una serie de donantes filantrópicos y agencias para el desarrollo, y cuenta con un comité de dirección en el que están representadas autoridades del sector público y privado expertas en cuestiones agrarias.

- Su estrategia consiste en desarrollar proyectos modelo que permitan introducir biotecnologías adaptables al tercer mundo (cultivo de tejidos, marcadores moleculares y diagnósticos, plantas transgénicas que incrementen rendimientos de cosechas o poder nutritivo)

Cuenta con 12 proyectos principales en países escogidos de África, Asia y Latinoamérica.

Ejemplos de proyectos:

- Papa resistente a virus en México, con tecnología donada por Monsanto, desarrollada por el centro público nacional CINVESTAV, y con inversión de la Fundación Rockefeller.
- Propagación vegetativa por cultivos in vitro de platano en Kenia (KARI)
- Diagnósticos de enfermedades de maíz en Brasil, con tecnología de Pioneer Hi-Bred
- Marcadores moleculares en yuca (CIAT) con tecnología de Novartis

Como parte de sus proyectos, tiene inversión en talleres de capacitación sobre bioseguridad y gestión de los proyectos.

Las alianzas agrobiotecnológicas públicas-privadas globales o de amplio alcance están teniendo menos importancia que las que vimos en el sector sanitario. Una razón para ello puede residir en que en la sanidad se trata de atender a enfermedades olvidadas por Occidente, pero que constituyen mercados grandes relativamente homogéneos (con pocas diferencias entre países), mientras que en agricultura se trata de mercados diferenciados entre países y relativamente pequeños. Lo más cercano en agricultura a las alianzas globales son precisamente proyectos encaminados a resolver problemas para la salud derivados de una alimentación deficiente en ciertos nutrientes:

- El proyecto del arroz dorado (“Golden Rice”): arroz Genéticamente Modificado que contiene mayores niveles de β -caroteno, la provitamina A.
- Programa “Harvest Plus”, lanzado recientemente por el CGIAR, destinado a la biofortificación de cultivos para que aporten más minerales, principalmente hierro.

Programa del Instituto Belga de Biotecnología Vegetal para Países en Desarrollo (IPGO), en Gante:

- Mejora de los niveles de ácido fólico en el arroz
- Mejora de los niveles del aminoácido esencial metionina en las judías (Láñez Pareja, 2017)

Primera cosecha de maíz transgénico “apilado” tolerante a la sequía y resistente a insectos en Kenia

Kenia desarrollo una tecnología biotecnológica para el barrenador del tallo, el maíz genéticamente modificado que combinan resistencia a ese insecto y tolerancia a la sequía, ya se cosecharon de ensayos de campo confinados, como parte de una alianza público-privada dirigida a combatir el barrenador del tallo, que le genera a Kenia US \$90 millones anuales en pérdidas. El nuevo maíz fue generado utilizando líneas de Monsanto y líneas del mejoramiento convencional del CIMMYT dirigido a obtener tolerancia a la sequía. Al maíz se le llama “apilado” porque contiene más de un gen de resiliencia; en este caso, genes de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), que confiere resistencia a ciertas especies de barrenadores, y de *Bacillus subtilis*, que aumenta la tolerancia a la sequía (CIMMYT, 2016)

4.2 Centros de Investigación Mexicanos

México ha sido pionero en la investigación científica relacionada con la biotecnología moderna, creando desde los años 1980’s varios centros de investigación como el CINVESTAV que favoreció la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías moleculares que permitieron la generación de cultivos genéticamente modificados para

tratar de entender inquietudes científicas y problemáticas nacionales que los productores enfrentaban en esas épocas.

El desarrollo científico para generar productos derivados de la biotecnología moderna, implica el uso de diversas herramientas y técnicas tecnológicas como el mejoramiento mendeliano de semillas, desarrollo de protocolo de cultivo in vitro, estrategias para introducción de nuevo material genético, caracterización molecular para identificar las nuevas secuencias insertadas, así como cuestiones para corroborar la bioseguridad e inocuidad de la tecnología, lo que conlleva a que con el poco desarrollo científico mexicano de esas épocas, se requirió contar con el apoyo científico de especialistas de diversas universidades y centros de investigación, promoviendo redes de colaboración científica, estableciendo diversos grupos de investigadores en distintas regiones del país, con lo cual se pudieron generar diversos productos.

Actualmente se cuenta con 27 centros de investigación y universidades mexicanas que desarrollan investigación en pro de la biotecnología moderna, aunque no todos tienen desarrollos que puedan ser evaluados en campo abierto en el corto plazo; muchos de estos centros de investigación poseen con el personal y equipo para poder desarrollar algunas de las técnicas para que en un esquema de colaboración detone la capacidad científica mexicana para desarrollar eficientemente la biotecnología moderna.

Cuadro 16 Centros de investigación especializados en biotecnología en México

Centros de Investigación	Entidad Federativa
Instituto de Investigaciones Biomédicas UNAM (IIB)	Distrito Federal
Instituto de Fisiología Celular UNAM	Distrito Federal
Centro de Ciencias Genómicas UNAM (CCG)	Morelos
Instituto de Biotecnología UNAM (IBT)	Morelos
Facultad de Química UNAM	Distrito Federal
Instituto Nacional de Medicina Genómica de la Secretaría de Salud (INMEGEN)	Distrito Federal
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) D.F.	Distrito Federal

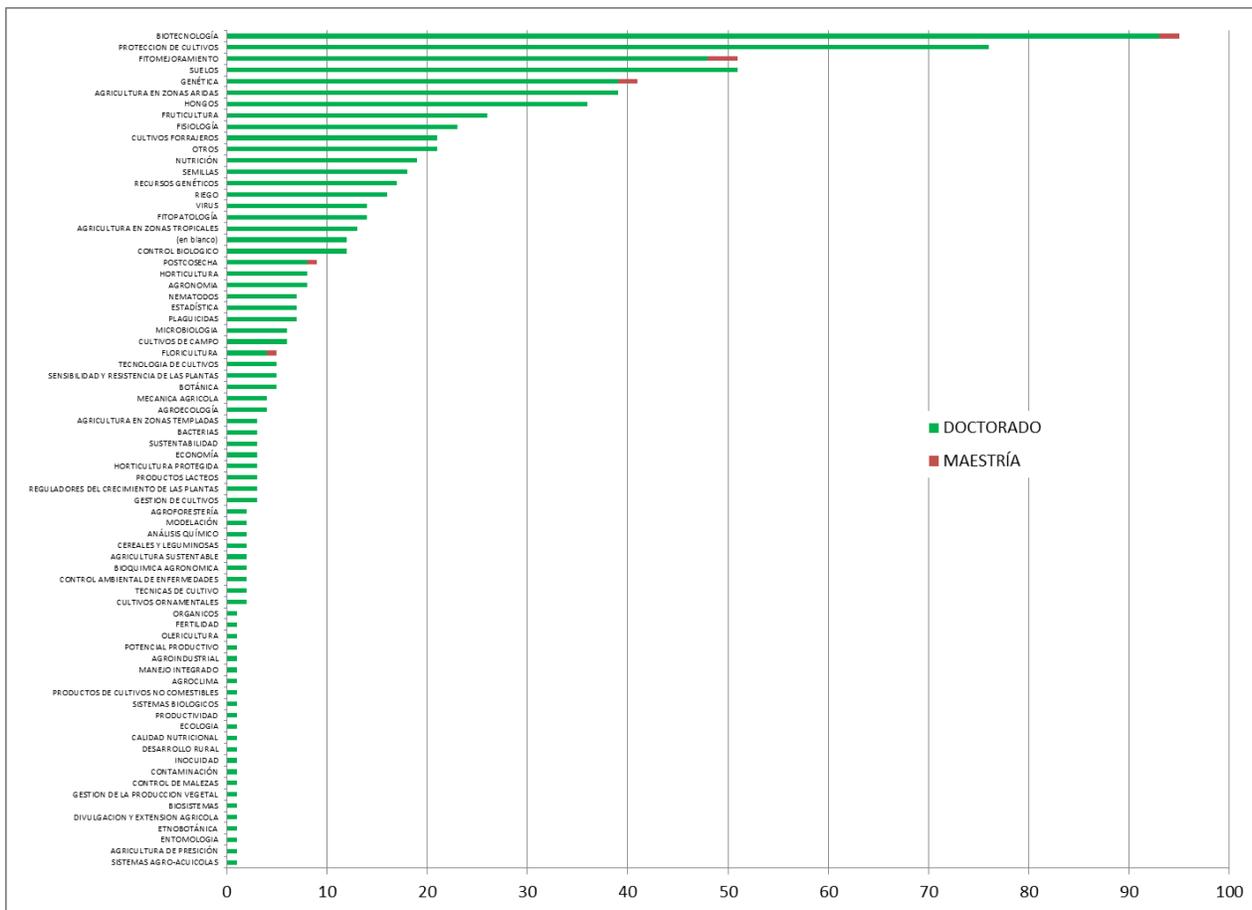
Centros de Investigación	Entidad Federativa
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Irapuato	Guanajuato
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR)	Baja California Sur
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB)	Distrito Federal
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (UPIBI)	Distrito Federal
Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD)	Distrito Federal
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI)	Morelos
Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional (CBG)	Tamaulipas
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA)	Tlaxcala
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Durango del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR Durango)	Durango
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR Sinaloa)	Sinaloa
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California CONACYT (CICESE)	Baja California
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. CONACYT (CIBNOR)	Baja California Sur
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco CONACYT (CIATEJ)	Jalisco
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica CONACYT (IPICYT)	San Luis Potosí
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. CONACYT (CIAD)	Sonora
Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. CONACYT (CICY)	Yucatán
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara (CUCBA)	Jalisco
Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Morelos
Instituto de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Nuevo León	Nuevo León
Centro de Biotecnología FEMSA- Tecnológico de Monterrey	Nuevo León

Fuente: (PROMÉXICO, 2016)

4.2.1 Sistema Nacional Investigadores, SNI: Investigadores en el área de la Biotecnología.

Actualmente en México mediante el CONACYT se lleva un registro de investigadores de alto nivel que contribuyen al desarrollo científico de nuestro país, los cuales se encuentran agrupados dentro del Sistema Nacional Investigadores, en donde se abordan diversas temáticas para dar atención a la amplia diversidad de problemáticas nacionales y contribuir a desarrollo socioeconómico de nuestro país, en donde se destaca que para el año 2015 el 12.4% se dedicaba a temas relacionados con la biotecnología, principalmente especialistas con doctorado.

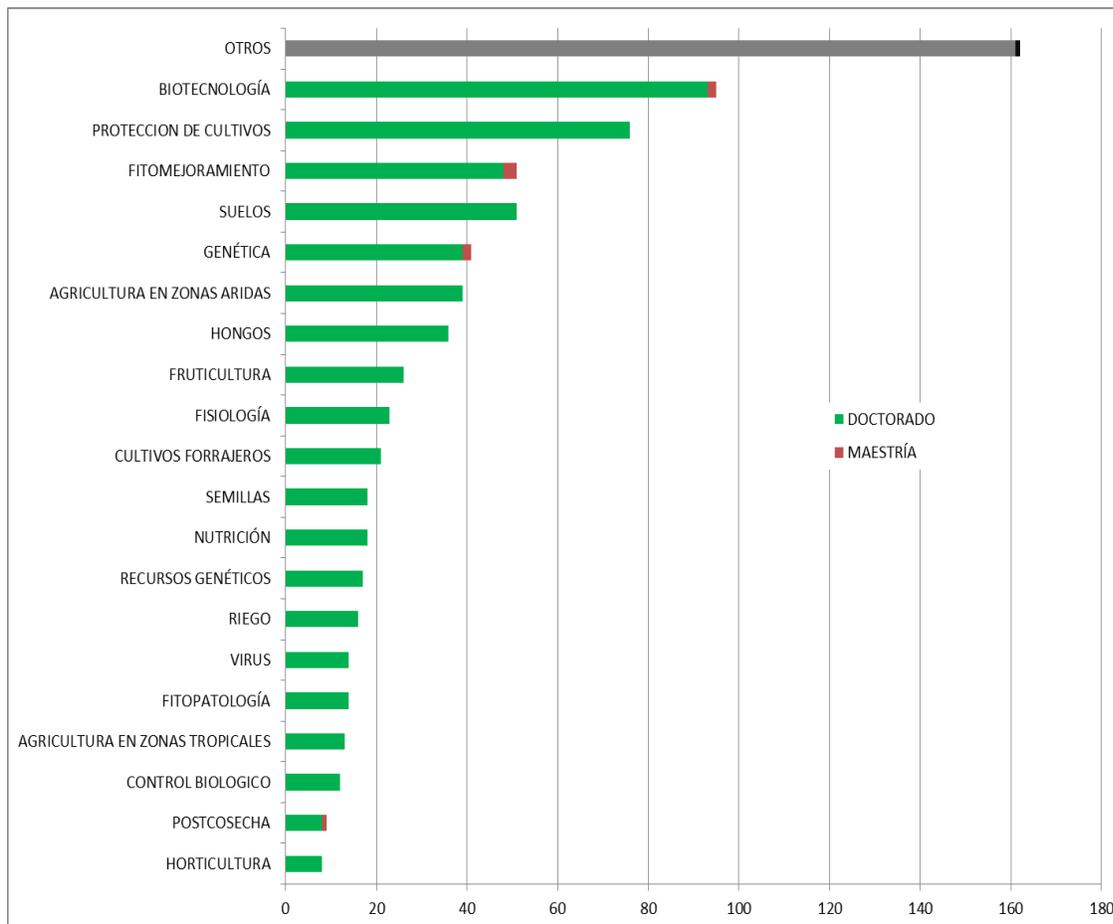
Figura 14 Área de investigación de las universidades de agricultura



Fuente Elaboración propia con datos de (SAGARPA, 2017)

El Sistema Nacional de Investigadores, a través de sus miembros, es una agrupación en la que están representadas todas las disciplinas científicas que se practican en el país y cubre a una gran mayoría de las instituciones de educación superior e institutos y centros de investigación que operan en México. Este ordenamiento jurídico se define su organización y funcionamiento, las condiciones de elegibilidad, los lineamientos que se siguen para nombrar a las comisiones dictaminadoras y la forma como llevan a cabo sus tareas. Por último, incluye los beneficios que se adquieren con la pertenencia al Sistema Nacional de Investigadores y los períodos de duración de los nombramientos.

Figura 15 Investigadores del Sistema Nacional de Investigadores en Ciencias Agrícolas, 2015.



Fuente Elaboración propia con datos de (SAGARPA, 2017)

En el área de la biotecnología los desarrollos son muy amplios por lo cual varios centros de investigación buscan la mejora de estas herramientas, así como la Universidad Nacional Autónoma de México se enfoca en la biotecnología para fomentar su uso en la agricultura, en México existen otros 115 centros de investigación que están enfocados en la biotecnología.

Cuadro 17 Instituciones en el área de biotecnología

Instituciones en el área de biotecnología					
Nombre	(β)	(π)	(Ω)	(α)	Total
Universidad Nacional Autónoma de México	15	1			16
Instituto Politécnico Nacional	7		1		8
Colegio de postgraduados en Ciencias Agrícolas	6		1		7
Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN	5				5
Universidad de Guadalajara	5				5
Universidad autónoma de Nuevo León	5			1	6
Centro de investigación científica de Yucatán, a.c.	5				5
Universidad autónoma de san Luis Potosí	4				4
Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del edo. de 7 salarios mínimos	3				3
Centro de investigación en alimentación y desarrollo, a.c.	3	2			5
Instituto de ecología, a.c.	3	1			4
Instituto nacional de investigaciones forestales y agropecuarias	3				3
Universidad Veracruzana	3		1		4
Universidad del Papaloapan	2				2
Universidad de Sonora	2	1			3
Universidad de Guanajuato	2				2
Universidad michoacana de san Nicolás de Hidalgo	2				2
Universidad autónoma de Querétaro	1				1
Universidad autónoma Metropolitana	1				1
Universidad autónoma de Zacatecas	1				1
Instituto tecnológico del Valle de Oaxaca	1				1
Centro de investigaciones biológicas del Noroeste, s.c.	1	1			2
Instituto tecnológico superior de Escárcega	1				1
Instituto tecnológico de Tepic	1				1
Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey	1				1
Universidad Autónoma del estado de México	1				1
Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez	1				1
Universidad de Birmingham	1				1

Instituciones en el área de biotecnología					
Universidad autónoma de Coahuila	1				1
Instituto tecnológico de Celaya	1				1
Universidad autónoma Chapingo	1				1
Universidad Juárez del Estado De Durango	1				1
Centro de Investigación en química aplicada	1				1
Universidad politécnica de Gómez Palacio	1				1
Universidad autónoma de Aguascalientes	1	1			2
Universidad Juárez autónoma de Tabasco			1		1
Instituto tecnológico de Roque Guanajuato				1	1
Instituto tecnológico de Veracruz		1			1
Secretaria de agricultura, ganadería desarrollo rural pesca y alimentación		1			1
Universidad autónoma de Guadalajara			1		1
El colegio de la frontera sur			1		1
Universidad Autónoma de Chiapas		1			1
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro		1			1
Otras Generales	95	12	6	2	115

β) Biotecnología; π) Control Biológico; Ω) Microbiología; α) Bioquímica Agronómica.

Fuente (SAGARPA, 2017)

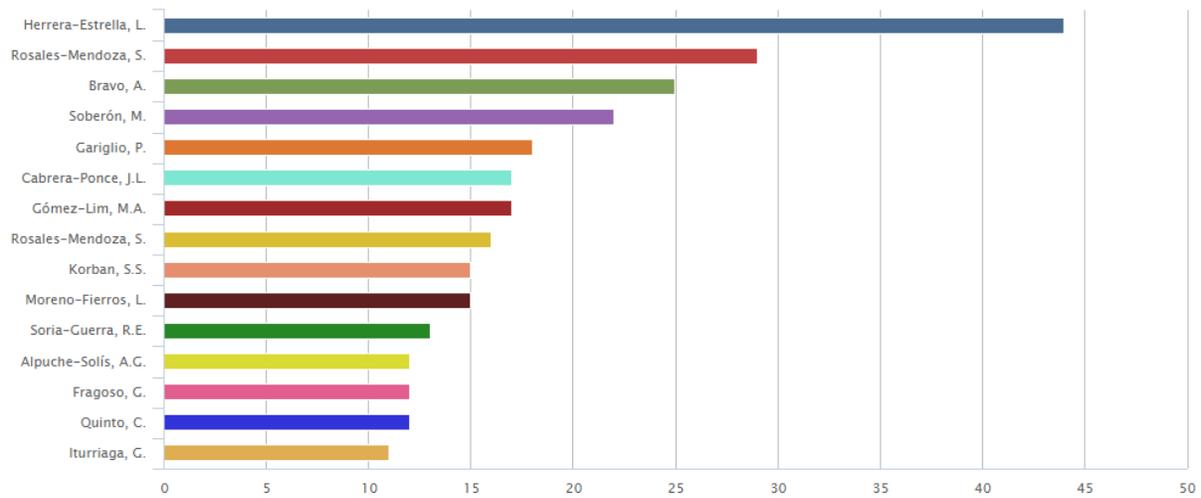
4.3 Principales investigadores en OGMs en México

Acorde a la base de datos Scopus™, en México se cuenta con avances significativos en el desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados, reportándose en la bibliografía científica, artículos desde el año 1986 hasta el 2018, abarcando un total de 920 documentos científicos empleando la palabra de búsqueda “*transgenic*” y acotado al país “*México*”, donde se incluyen: artículos científicos (81.8%), resúmenes (10.8%), conferencias (2.6%), capítulos de libro (2.5%), escritos (1.0%), editoriales (0.4%), erratas (0.2%) y libros (0.1%).

4.3.1 Investigadores que desarrollan OGMs en México

Para el caso de investigadores, con los mismos criterios de búsqueda en Scopus™, destacan publicaciones científicas de Herrera- Estrella, Rosales-Mendoza, Bravo, Soberón, entre otros.

Figura 16 Investigadores desarrolladores de OGMS

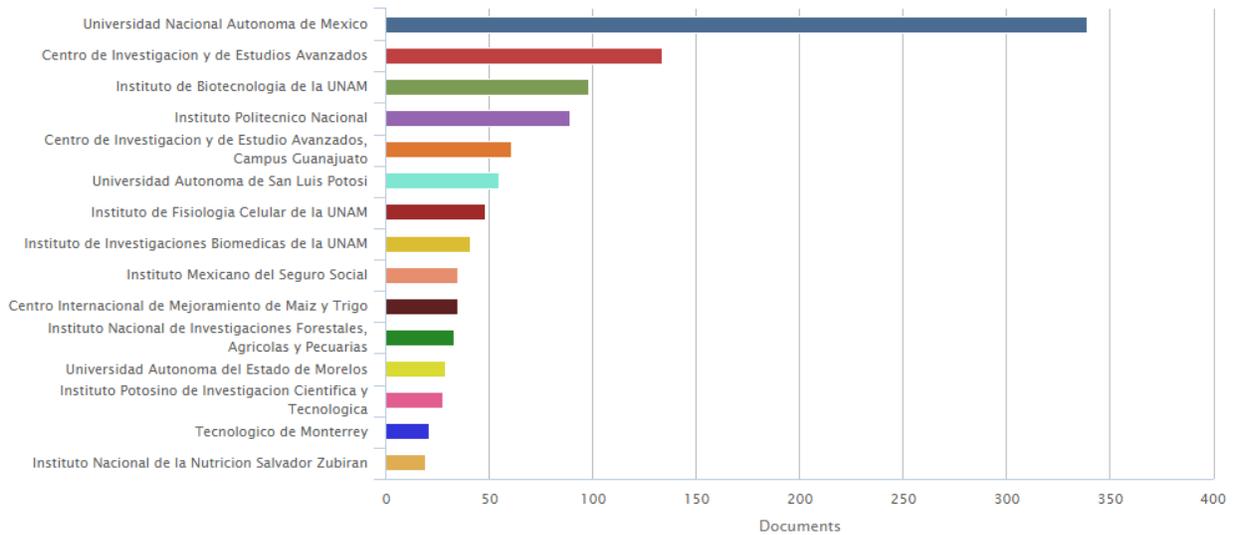


Fuente Elaboración propia con datos de (scopus, 2018)

4.3.2 Instituciones de afiliación de los investigadores

Para el caso de investigadores, con los mismos criterios de búsqueda en Scopus™, los principales centros de investigación en donde se realizan investigaciones con OGMS son la UNAM, CINVESTAV, IBT-UNAM, IPN, entre otros.

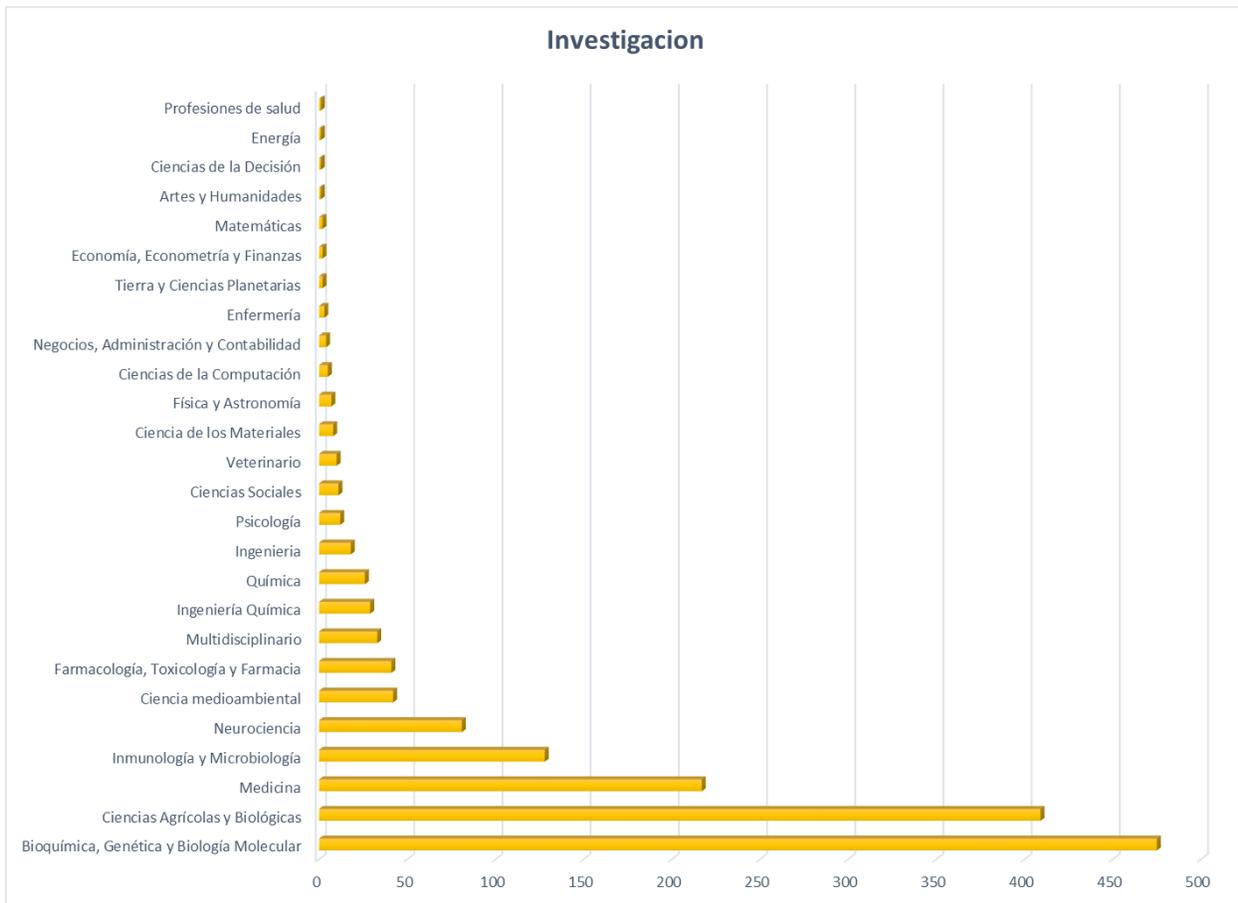
Figura 17 Institutos desarrolladores de OGMS



Fuente Elaboración propia con datos de (scopus, 2018)

Para el caso de los Documentos de investigación de interés con los criterios de búsqueda se encontraron 1569 artículos en distintas áreas y la que mayor investigación encontramos es bioquímica, genética y biología molecular.

Figura 18 Área de investigación



Fuente Elaboración propia con datos de (scopus, 2018)

4.4 Principales desarrollos de OGMs mexicanos

El Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), cuenta con un amplio reconocimiento de la investigación que realizan en sus distintos campus sobre biotecnología de alimentos, granos y semillas, biotecnología ambiental, bioingeniería, ingeniería genética, bioinsecticidas, análisis biofarmacéutico y análisis de biodiversidad. (Amaro Rosales & Robles Belmont, 2015)

4.4.1 Papa tolerante a virus del CINVESTAV

El interés del grupo de investigadores del CINVESTAV en la transformación de la papa para resistencia a enfermedades ocasionadas por virus por medio de la técnica de ingeniería genética data de la mitad de los 80's, época en que empezaron a participar en el proyecto de desarrollo a nivel latinoamericano en este campo apoyado por el programa de biotecnología para américa latina y el caribe de la organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial. En 1991 el CINVESTAV inicio un proyecto de colaboración con una de las empresas más importantes del mundo de la biotecnología agrícola Monsanto, la empresa transfirió los genes del capside viral para los virus *PVX* y *PVY*, las técnicas de la ingeniería genética para lograr la resistencia a ambos virus en un evento simple de transformación del CINVESTAV. (Mala Garcia , 2015)

Figura 19 Papa genéticamente modificada



Fuente (Norero, 2017)

4.4.3 Frijol resistente a enfermedades del INIFAP

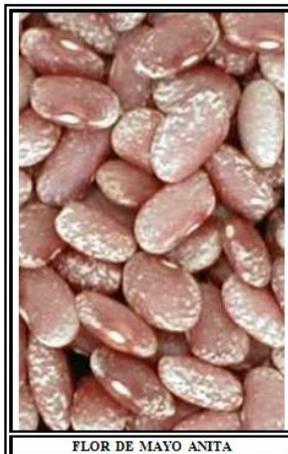
El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolló diez variedades de frijol de alto rendimiento, resistentes a patógenos, tolerantes a la sequía y con la calidad que demanda el consumidor. Las principales ventajas de estas variedades de frijol son que tienen un grano con la calidad demandada por los consumidores, así como resistencia a enfermedades por hongos como la

antracnosis, la mancha angular y la roya además cuentan con resistencia a enfermedades virales y bacteriosis, entre otras, así como una alta calidad comercial y una amplia adaptación a los temporales de la región del Altiplano Semiárido y a los suelos ácidos. (INIFAP, 2015).

La variedad de frijol Flor de Junio que es resistente a enfermedades, ahorra costos de producción, tiene alto potencial de rendimiento y buena aceptación en el mercado la Secretaría de Agricultura detalló en un comunicado que Flor de Junio León es más resistente a enfermedades como la roya y a pudriciones de raíz, además de que sus granos son de elevado valor comercial, culinario y nutracéutico. (Notimex, 2014)

Otra variedad de frijol con resistencia de amplio espectro contra hongos fitopatógenos ha sido caracterizado por su efectividad biológica en condiciones confinadas. (Castellanos Ramos, Guzmán Maldonado, Muñoz-Ramos, & Acosta Gallegos, 2003)

Figura 20 Variedades de frijol OGMs desarrolladas por el INIFAP



Fuente (INIFAP, 2017)

4.4.4 Maíz tolerante a sequía del CINVESTAV

La sequía y el mal clima podrían dejar de ser un problema para los agricultores. El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), un organismo público descentralizado dedicado a los estudios científicos, obtuvo el permiso para la siembra

experimental de maíz genéticamente modificado, la variedad *CIEA-9*. Su desarrollo biotecnológico es una semilla de maíz blanco criollo que resiste la sequía. Con ella los agricultores podrían reducir 14% los costos de producción y mejorar en un 13% el rendimiento. Afirma (Reyes, 2010) que el maíz posee la ventaja de soportar sequías prolongadas y necesita un 20% menos de agua en comparación con los granos tradicionales. Esta variedad probó su resistencia a los cambios climáticos, “El maíz tolera el estrés ambiental”, desarrollado por Beatriz Xoconostle, investigadora del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV y líder del proyecto a lo cual lleva que los productores de maíz tengan una mayor satisfacción y permitir a los científicos que tengan un mayor campo en la investigación en la biotecnología. (CINVESTAV, 2014). El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) asegura que este maíz podría ser una alternativa a los cultivos tradicionales en las zonas áridas o semiáridas, en especial en el norte y centro del país.

Figura 21 Maíz genéticamente modificado



Fuente (CINVESTAV, 2017)

4.4.5 Limón tolerante a HLB del CINVESTAV

El limón puede ser afectado por diversas enfermedades infecciosas (bióticas) y no infecciosas (abióticas) siendo las primeras causadas por hongos, bacterias, nematodos y

otros organismos; en tanto que las enfermedades abióticas son provocadas por condiciones ambientales adversas, defectos genéticos, factores nutricionales y toxicidad provocada por uso inadecuado de productos químicos que reducen tanto la producción como la calidad de la fruta. La investigación que se lleva a cabo en México para encontrar alternativas para el manejo del Huanglongbing de los cítricos (*HLB*), derivadas del convenio de colaboración entre el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), ha mostrado importantes avances. apreciarse han podido desarrollar plantas de limón mexicano y otros cítricos que han mostrado niveles de supresión del *HLB*, debido a que expresan proteínas antimicrobianas, las cuales son promisorias para mitigar los daños que ocasiona la bacteria que causa el *HLB*. (SAGARPA, 2014). Por este logro científico, tanto el CINVESTAV como el SENASICA cuentan con una patente internacional para dotar de resistencia los cítricos contra el *HLB*, la enfermedad más devastadora de este cultivo a nivel mundial.

Figura 22 Limón genéticamente modificado



Fuente (notimex, 2014)

4.5 Desarrollos potenciales de OGMs en México

4.5.1 Captación mejorada de fósforo en plantas de tabaco transgénico que sobre producen citrato

El fósforo es uno de los nutrientes más importantes que limitan la producción agrícola en todo el mundo, en suelos ácidos y alcalinos constituyen más del 70% de la tierra cultivable del mundo, el fósforo forma compuestos insolubles que no están disponibles para uso en plantas. Para reducir las deficiencias de fósforo y garantizar la productividad de la planta, se aplican casi 30 millones de toneladas de fertilizante de fósforo por año, donde hasta el 80% del fertilizante se pierde porque se vuelve inmóvil y no está disponible para la absorción de la planta. El desarrollo de nuevas variedades de plantas más eficientes en el uso de fósforo representa la mejor alternativa para reducir el uso de fertilizantes de fósforo y lograr una agricultura más sostenible. Las plantas que sobre producen citrato producen más biomasa de hojas y frutas cuando se cultivan en condiciones limitantes de fósforo y requieren menos fertilizante fósforo para lograr un crecimiento óptimo. (López Bucio & Herrera Estrella, 2000)

4.5.2 Una enzima TPS-TPP bifuncional de la levadura confiere tolerancia a condiciones de estrés abiótico múltiple y extremo en *Arabidopsis*

La tolerancia al estrés es un objetivo principal para la agricultura. La trehalosa es una molécula clave involucrada en la tolerancia a la sequía en organismos anhidrobióticos. La construcción de una fusión traduccional quimérica de levadura trehalosa-6-fosfato sintasa y trehalosa-6-fosfato fosfatasa, se sobre expresó en células de levadura que exhiben tanto actividades de enzima TPS como TPP y logra la biosíntesis de trehalosa. En *Arabidopsis thaliana* la fusión génica se sobre expresó utilizando el promotor 35S o el promotor rd29A regulado por estrés en la inserción de transgén en el genoma se verificó mediante PCR y expresión de transcripción mediante RT-PCR. Las líneas TPS1-TPS2 mostraron un aumento significativo en la tolerancia a la sequía, la congelación, la sal y el calor. (Miranda & Suárez, 2007)

4.5.5 Plátanos Cavendish transgénicos con resistencia a la marchitez de *Fusarium* raza tropical 4

El plátano (*Musa spp.*) Es un alimento básico para más de 400 millones de personas. Más del 40% de la producción mundial y prácticamente todo el comercio de exportación se basa en el plátano Cavendish. El plátano Cavendish está bajo la amenaza de un hongo virulento, *Fusarium oxysporum f. sp.* Raza tropical cubense 4 (*TR4*) para la cual no se ha identificado un reemplazo resistente aceptable, la identificación de Cavendish transgénica con resistencia a *TR4* estas dos líneas de Cavendish transgénicas, una transformada con *RGA2* un gen aislado de un banano diploide resistente a *TR4* y la otra con un gen derivado de nematodos, *Ced9*, permanecen libres de la enfermedad. La expresión transgénica en las líneas *RGA2* está fuertemente correlacionada con la resistencia. Los homólogos de *RGA2* endógenos también están presentes en Cavendish, pero se expresan diez veces más bajos que en la línea transgénica más resistente. La expresión de estos homólogos puede elevarse mediante la edición de genes para proporcionar resistencia no transgénica. (Peraza-Echeverría, García-Bastidas, Mengersen, & Waterhouse, 2015)

4.5.6 Papaya transgénica: una plataforma útil para las vacunas orales

Las líneas de callos transgénicos de papaya que expresan los componentes de la vacuna *S3Pvac* constituyen una plataforma estable para producir una vacuna oral contra la cisticercosis causada por cisticerco (*Taiaia crassiceps*). El desarrollo de sistemas de administración eficaces para hacer frente a la inmunogenicidad reducida de las nuevas vacunas de subunidades es una prioridad en vacunología. Se han desarrollado pruebas experimentales que respaldan una plataforma basada en papaya para producir vacunas recombinantes, altamente inmunogénicas sin aguja. Las líneas de callo de papaya (*Carica papaya*) se diseñaron previamente mediante bombardeo de partículas para expresar los tres péptidos protectores de la vacuna anticorticercosis *S3Pvac* (*KETc7*, *KETc12*, *KETc1*). Los callos se propagaron in vitro, y se ha mantenido una integración y expresión estables de los genes diana, como se confirmó por PCR, qRT-PCR y HPLC. En general la inmunogenicidad oral de esta vacuna estable *S3Pvac*-papaya en ratones y cerdos, que no requiere coadyuvantes adicionales, respalda el interés en el callo de papaya como una plataforma útil para las vacunas basadas en plantas. (Hernández, Cervantes Torres, & Ramírez Aquino, 2017)

4.5.8 La expresión de un gen de proteína de tipo germinal (CchGLP) a partir de un pimiento resistente a geminivirus (*Capsicum chinense* Jacq) mejora la tolerancia a la infección por geminivirus en el tabaco transgénico

Los geminivirus son virus de ADN de plantas que causan daño a muchos cultivos en todo el mundo. Una nueva superóxido dismutasa (SOD) identificada en un acceso resistente a geminivirus de *Capsicum chinense* Jacq. BG-3821 y nombrado CchGLP se expresó transgénicamente en geminivirus-susceptible *Nicotiana tabacum xanthi* nc plantas. La expresión de CchGLP mejora los síntomas en plantas transgénicas en comparación con la infección de plantas silvestres. Además, algunos genes relacionados con la Resistencia Adquirida Sistémica (SAR) en *N. tabacum xanthi* nc se indujeron en plantas transgénicas. Por lo tanto, la CchGLP ha demostrado estar involucrado en la defensa contra la infección por geminivirus. (Guevara Olvera, y otros, 2012)

4.5.9 Plantas de tabaco que expresan la toxina Cry1AbMod suprimen la tolerancia a la toxina Cry1Ab de las larvas silenciadas con cadherina de *Manduca sexta*

Las toxinas *Cry* producidas por la bacteria *Bacillus thuringiensis* son proteínas insecticidas utilizadas en todo el mundo en el control de diferentes plagas de insectos. Las alteraciones en la interacción toxina-receptor representan el mecanismo más común para inducir resistencia a las toxinas *Cry* en insectos lepidópteros. Las toxinas *Cry* se unen con alta afinidad a la proteína cadherina presente en las células del intestino medio y esta interacción facilita la eliminación proteolítica de la formación de oligómero hélice α -1 y pre-poro. La resistencia a las toxinas *Cry* se ha relacionado con mutaciones en el gen cadherin. Una estrategia efectiva para superar la resistencia a las larvas de las toxinas *Cry1A* es la producción de toxinas *Cry1AMod* que carecen de hélice α -1. *Cry1AMod* puede formar estructuras oligoméricas sin unirse al receptor de cadherina y se demostró que son tóxicas para las larvas de *Manduca sexta* silenciadas con cadherina y la cepa *Pectinophora gossypiella* con resistencia vinculada a mutaciones en un gen de cadherina. Desarrollamos plantas transgénicas de tabaco *Cry1AbMod* para analizar si las toxinas *Cry1AMod* pueden expresarse en cultivos transgénicos, no afectan el desarrollo de la planta y son capaces de controlar las plagas de insectos. Nuestros resultados

muestran que la producción de la toxina Cry1AbMod en plantas transgénicas no afecta el desarrollo de la planta, ya que estas plantas exhibieron un crecimiento saludable, produjeron abundantes semillas y eran prácticamente indistinguibles de las plantas de control. Lo que es más importante, la proteína Cry1AbMod producida en plantas de tabaco conserva su actividad tóxica funcional contra larvas de *M. sexta* susceptibles y tolerantes debido al silenciamiento del receptor de cadherina por ARNi. Estos resultados sugieren que las toxinas CryMod podrían potencialmente expresarse en otros cultivos transgénicos para protegerlos contra las larvas de lepidópteros resistentes a toxinas y resistentes en el gen de la cadherina. (Porta, y otros, 2011)

CAPITULO V BENEFICIOS POTENCIALES PARA MÉXICO

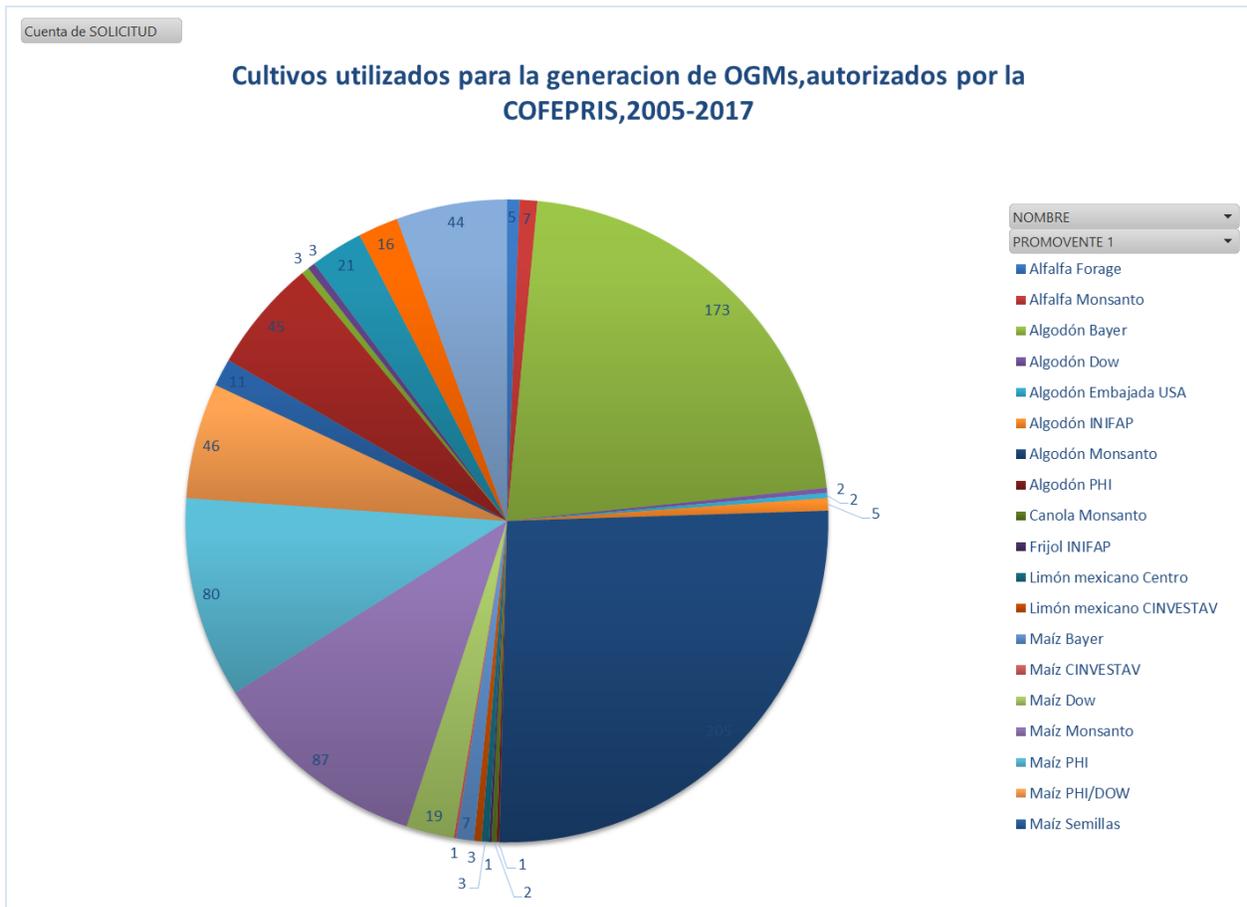
5.1 Definición de los cultivos y tecnologías prioritarias

Los organismos genéticamente modificados (OGMs) son aquellos cuyo genoma fue alterado mediante procedimientos de ingeniería genética.

Los principales cultivos prioritarios utilizados en la generación de OGMs y solicitados para su autorización en México son en su mayoría de maíz y de algodón y en menor cantidad solicitudes de soya, canola, remolacha, arroz, alfalfa, jitomate y papa.

Desde 1995 hasta diciembre de 2017, la Secretaría de Salud ha evaluado la inocuidad alimentaria y otorgado su no inconveniencia o su autorización para su comercialización con fines de uso o consumo humano de eventos genéticamente modificados, de acuerdo a lo que establece la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y el Reglamento de la Ley de Bioseguridad de OGMs. (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, 2017), afirma (Rodríguez Yunta, 2013) que cada país debe buscar su propia forma de regular el tema de los alimentos transgénicos para evitar abusos por empresas transnacionales, evitar riesgos y proteger sectores vulnerables de la agricultura y ganadería. Se propone la forma de diálogo bioético para poner en la balanza los sectores que apoyan o rechazan la producción y el uso de organismos genéticamente modificados para alimentación, clarificando los datos con ayuda de la ciencia y fomentando la libre información para un ambiente adecuado de posible desarrollo de esta tecnología en cada país y comunidad.

Figura 23 Cultivos genéticamente modificados



Fuente: Elaboración propia con datos de (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, 2017)

5.2 Identificación de áreas para el fomento y uso de la biotecnología moderna en la agricultura mexicana

Fomentar la aplicación de la biotecnología para atender responsablemente las amenazas a la salud humana, animal y en la biodiversidad, la disponibilidad de alimentos y de recursos energéticos y a los provenientes del cambio climático, se requieren incentivos y apoyos para que las aplicaciones de los organismos genéticamente modificados transiten adecuadamente por el entramado regulatorio, así como el proceso de investigación y desarrollo tecnológico. Los señalamientos sobre la importancia estratégica y prioritaria de la biotecnología y los apoyos necesarios indicados en el plan nacional de desarrollo

(PND) y en el programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) coinciden con el apoyo a nivel internacional a la biotecnología y los pronunciamientos a favor de los Organismos Genéticamente Modificados, en particular en países desarrollados, además de corresponder con los amplios beneficios y la ausencia de daño por su uso a nivel nacional e internacional, así como por los esfuerzos a nivel nacional para regular y utilizar responsablemente esta tecnología. En congruencia con los señalamientos del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI), la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), establece instrumentos para el fomento de la investigación científica y tecnológica en bioseguridad y biotecnología; además, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), considera la biotecnología como “una tecnología que utiliza recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”, por lo que esta Ley ambiental prevé el uso de la biotecnología y, por ende, de los Organismos Genéticamente Modificados para usar responsablemente la biotecnología. (Zapata, 2017).

En México, el campo de la biotecnología tiene un importante desarrollo científico, y como sector ha sido considerado como un factor clave de crecimiento, sin embargo, no existe hasta ahora una estrategia integral que la promueva. Pero sin duda la cantidad y calidad de la investigación en biotecnología en el país son dos de los factores que obligan a su análisis, sobre todo a partir de distintos estudios sobre el desarrollo desigual de capacidades científicas y tecnológicas. (Amaro Rosales & Robles Belmont, 2015)

Con el uso de la biotecnología moderna y el desarrollo de plantas genéticamente modificadas se ha logrado expandir los horizontes del mejoramiento vegetal, ahora se puede recurrir a genes de otras especies para combatir plagas particulares en cultivos, además permite la rotación de cultivos los cuales se complementan con sistemas de producción agrícola que fomentan un uso de insumos químicos más racional. (AgroBIO, 2017)

Acorde a información de la SAGARPA por conducto del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable (SNITT), el Gobierno Federal Mexicano ha identificado diversas necesidades de inversión en ciencia y tecnología plasmados en lo que han denominado “Agenda Mexicana Agroalimentaria (AMEXAGRO)”, la cual se considera como un documento donde por primera vez se integran los temas que requieren investigación, innovación y transferencia de tecnología de los subsectores agrícola, pecuario, acuícola y pesquero, y que busca establecer líneas de trabajo prioritarias para orientar las políticas públicas hacia la atención de las necesidades captadas y validadas en conjunto con los productores, los investigadores y las dependencias gubernamentales mexicanas.

Esta plataforma también es fruto del esfuerzo de coordinación interinstitucional y multidisciplinario de la información disponible en la Planeación Agrícola Nacional de la Subsecretaría de Agricultura de la SAGARPA; las Agendas Estatales de la Fundaciones Produce; las Agendas Estatales de Innovación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); los Planes Rectores de los Sistemas Producto; la Carta Nacional Pesquera; la Carta Nacional Acuícola; los Planes de Manejo de las Pesquerías; así como de las aportaciones del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por mencionar algunas.

La AMEXAGRO considera los rubros de conservación de recursos genéticos, producción, mejoramiento genético, transformación o agroindustria, alimentación y comercialización de las principales cadenas, así como diversos temas transversales, que contribuirán al desarrollo rural sustentable a través del impulso a la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico, para continuar posicionando a México como uno de los 10 principales productores de alimentos a nivel mundial.

En AMEXAGRO se pueden identificar diversos cultivos agrícolas de gran importancia socioeconómica para México, así como sus respectivas líneas de investigación, de las cuales, el Gobierno Federal mediante SAGARPA deben focalizar y priorizar los recursos para desarrollar estas investigaciones en beneficio de los productores agrícolas nacionales; al respecto, se realizó una identificación de las problemáticas que se presentan en AMEXAGRO y que pueden atenderse mediante investigaciones y desarrollo tecnológicos considerando la biotecnología y en algunos casos, el desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados, los cuales se pueden identificar en el cuadro 18.

Cuadro 18 Necesidades de Investigación de AMEXAGRO que pueden ser atendidas con el uso de la Biotecnología

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Aguacate	Obtención de portainjertos tolerantes-resistentes a <i>Phytophthora cinnamomi</i> , sequía y salinidad.	Mediante CRISPR-Cas9 se pueden generar portainjertos más resistentes al sobre expresar genes PR.
Algodón hueso	<ul style="list-style-type: none"> •Manejo integrado de plagas (gusano tabacalero [<i>Heliothis virescens</i>], picudo del algodónero [<i>Anthonomus grandis</i>] y el gusano rosado [<i>Pectinophora gossypiella</i>]) y enfermedades. •Generación de variedades con mejor calidad de fibra y líneas resistentes al complejo de pudriciones radiculares en algodón, con énfasis en <i>Fusarium oxysporum</i>. 	<p>Desarrollar variedades transgenicas que tengan resistencia lepidópteros y tolerancia a herbicidas.</p> <p>Con empleo de edición de genomas, modificar genes de calidad en materiales nativos de México para desarrollar variedades nacionales.</p>

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de nuevas variedades que se adapten a diferentes condiciones agroecológicas. 	
Arroz	Seguimiento y determinación del estatus fitosanitario del Rice hoja blanca virus y potenciales vectores en regiones productoras de arroz en México.	Desarrollar equipos portátiles de alta eficiencia y bajo costo, que mediante PCR en tiempo real permita analizar enfermedades de alto riesgo fitosanitario en México.
Arándano	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades mexicanas de arándano altamente productivas para las diferentes regiones agroecológicas, y resistentes a plagas y enfermedades. 	Con el empleo de marcadores moleculares, mutagénesis dirigida y cultivo de tejidos, desarrollar un arándano que cumpla con las características que el mercado mexicano requiere
Avena Forrajera	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades de alto rendimiento, resistencia a sequía y roya del tallo. 	Desarrollar variedades transgénicas de avena resistentes a sequía y roya del tallo.
Cacao	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades e híbridos de alto rendimiento y calidad, resistentes-tolerantes a Moniliasis. 	Con el empleo de marcadores moleculares, secuenciación y mutagénesis dirigida, desarrollar un programa nacional efectivo de mejoramiento genético de cacao, mejorando características organolépticas y dotando de resistencia a moniliasis.

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Café	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades de café altamente productivas, de mejor calidad, con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades (<i>Xylella fastidiosa</i> y <i>roya</i>), capaces de adaptarse a las regiones agroecológicas. 	Generación de plantas cisgenicas de cafeto tolerantes a roya con alta calidad de taza
Canola	<ul style="list-style-type: none"> •Obtención de variedades mexicanas con características sobresalientes que se adapten a las diferentes regiones agroecológicas. 	Con empleo de edición de genomas, modificar genes de calidad en variedades nacionales
Caña de azúcar	Generación de variedades con mayor contenido de sacarosa, mayor rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, y adaptación a las diferentes regiones agroecológicas.	Desarrollar variedades transgénicas resistentes a enfermedades y plagas, así como para la sobreproducción de sacarosa.
Cebada grano	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de nuevas variedades de cebada altamente productivas y que se adapten a diferentes regiones agroecológicas. 	Mediante CRISPR-Cas9 se puede mejorar las variedades de cebada para que exista una mayor productividad y una mejor adaptación a la zona en donde se encuentre.

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Chile	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades e híbridos de alto rendimiento y calidad (chile serrano, ancho, poblano y habanero). •Mejoramiento genético de chiles criollos. 	Desarrollar variedades cisgenicas que resistan enfermedades de raíz y que poseen las calidades que el mercado nacional demanda.
Cártamo	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades con alta productividad y tolerantes a plagas y enfermedades (<i>Alternaria</i>, mancha de la hoja, royas, araña roja y falsa cenicilla), de calidad para la industria y que se adapten a las regiones agroecológicas. 	Generación de variedades transgénicas de cártamo que sobre expresen genes <i>PR</i> (<i>pretinas relacionadas con la patogénesis</i>) y que produzcan más ácido linoleico por la sobre expresión de genes de la familia <i>CtFAD2</i> .
Frambueso	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades mexicanas de frambueso altamente productivas, con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, y que se adapten a las diferentes regiones agroecológicas. 	Mediante análisis moleculares de cruzas interespecificas identificar alelos favorables asociados a caracteres de resistencia a enfermedades, que con edición de genomas se pueden mejorar calidades organolépticas y de postcosecha.
Fresa	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades mexicanas de fresa de alta productividad y adaptadas a diferentes regiones agroecológicas. 	Mediante análisis moleculares de cruzas interespecificas identificar alelos favorables asociados a caracteres de resistencia a enfermedades, con edición de

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
		genomas se pueden mejorar calidades organolépticas y de postcosecha.
Frijol	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades de frijol sensibles a fotoperiodo, con alta plasticidad para adaptarse a las variaciones de precipitación de la zona productora, resistentes a roya, <i>antracnosis</i>, mancha angular y pudriciones de raíz. 	Desarrollar frijoles resistentes a enfermedades utilizando marcadores moleculares y transgénesis se puede para dotar de resistencia enfermedades de pudrición de raíz.
Girasol	<ul style="list-style-type: none"> •Obtención de materiales sobresalientes para la producción de aceite y producción de biomasa, tolerantes a plagas y enfermedades y que se adapten a las diferentes condiciones agroecológicas. 	Generación de variedades transgénicas de cártamo que sobre expresen genes <i>PR</i> (<i>proteínas relacionadas con la patogénesis</i>) y que produzcan más ácido linoleico por la sobre expresión de genes de la familia <i>CtFAD2</i> .
Higuerilla	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades con alto contenido de aceite, alto rendimiento, precocidad, porte bajo, resistentes a plagas y enfermedades y adaptabilidad a diferentes zonas agroecológicas. 	Desarrollo de plantas transgénicas que sobre expresen y acumulen aceite mediante el sistema Acyl-ACP thioesterasas, además de que expresen toxinas <i>cry</i> para resistencia a plagas.

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
		(Sánchez García , Moreno-Pérez , Muro Pastor , Martínez Force, & Gaces, 2010)
Jatropha	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades con alto potencial de rendimiento. •Selección de clones de <i>J. curcas</i> con alto contenido de aceite. •Selección de clones sobresalientes de <i>J. curcas</i> para el consumo humano o animal (no tóxicas). 	<p>Desarrollar variedades <i>Jatropha</i> empleando marcadores moleculares ALFP para tener un alto potencial de rendimiento. (INIFAP, 2015)</p>
Jitomate	<ul style="list-style-type: none"> •Obtención de nuevas variedades de jitomate de alto rendimiento y resistentes a plagas y enfermedades, con mejor sabor y alto valor nutricional. 	<p>Mediante la técnica CRISPR-Cas9 se pueden obtener variedades resistente a plagas (virus y viroide principalmente) y así mejorar la calidad de fruto.</p>
Limón	<ul style="list-style-type: none"> •Obtención de variedades e híbridos de cultivo de limón mexicano altamente productivo y resistente al Virus de la Tristeza de los Cítricos y HLB. •Generación de portainjertos enanizantes y adaptables a las regiones productoras. 	<p>Desarrollar limones transgénicos que tengan la característica de ser tolerantes a HLB.</p>

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Maíz	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades de maíz blanco y amarillo para riego y temporal con alto potencial productivo y específico para las regiones agroecológicas (tolerantes o resistentes a plagas y enfermedades, resistentes a sequía y de calidad para la industria). 	Mediante la técnica CRISPR-Cas generar variedades tolerantes a sequía y con mayor rendimiento.
Mango	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades de alto rendimiento con resistencia a plagas y enfermedades nuevas o persistentes (ejemplo, antracnosis) y a condiciones de estrés. •Desarrollo de las variedades 'Manila' y 'Haden' con cáscara gruesa resistente al tratamiento hidrotérmico. 	Desarrollar variedades de mango transgénico que sean resistentes a plagas y enfermedades. (Rivera Domínguez, Astorga Cienfuegos, Vallejo Cohen, Vargas Arispuro, & Sánchez Sánchez, 2011)
Manzana	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades de manzana de floraciones y frutos tempranos. 	Desarrollar nuevas variedades de manzano con ayuda de marcadores moleculares para obtener las características de maduración y floración tempranas.

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Naranja	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de estrategias para el combate de la mosca de la fruta, greening, HLB, leprosis y su ácaro vector. 	Generar variedades de naranjos transgénicos que sean tolerantes al HLB.
Nuez	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de variedades con alto potencial de rendimiento y tolerancia a factores restrictivos como: deficiencias de zinc, tolerancia a enfermedades y plagas, y con mejor adaptación a cada una de las regiones productoras. 	Desarrollar variedades cisgénicas de nuez asimile mejor el zinc y toleren enfermedades.
Palma de coco	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades e híbridos altamente productivos, resistentes o tolerantes a plagas y enfermedades y factores ecológicos adversos como sequía. 	Desarrollar palmas de coco transgénico resistentes a las principales plagas.
Palma de aceite	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de genotipos con resistencia genética a pudrición del cogollo (<i>Phytophthora palmivora</i>). 	Desarrollar palmas transgénicas tolerantes a <i>Phytophthora palmivora</i> y mayor contenido de aceite. (Rajanaidu, Kushairi, Rafii, Mohd Din, & Maizura, 2012)

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Papaya	<ul style="list-style-type: none"> •Manejo fitosanitario de la mosca blanca y su asociación con el virus de la mancha anular. 	Desarrollar plantas de papaya tolerante a virus utilizando la técnica la edición de genes para introgresar genes de resistencia a PRSV-P y PapMV.
Piña	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades mexicanas de piña. 	Con el empleo de mutagénesis dirigida se pueden desarrollar variedades nacionales.
Sorgo	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades mexicanas de sorgo para grano y forraje, tolerantes a plagas y enfermedades, tolerantes a sequías y bajas temperaturas, y de alta calidad. 	Se pueden desarrollar variedades editadas genéticamente.
Sorgo dulce	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades mexicanas de sorgo con mayor concentración de azúcar, tolerantes a plagas y enfermedades, así como características de calidad que demanda el mercado. 	Desarrollar variedades transgénicas que sobre produzcan azúcares y tengan resistencia a insectos lepidópteros y pulgón amarillo.
Soya	<ul style="list-style-type: none"> •Generación y validación de variedades de soya, con alto potencial de rendimiento, tolerantes a mosca blanca y geminivirus, con calidad de 	Generar plantas transgénicas tolerantes a herbicidas con alta calidad de grano.

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Toronja	<p>grano y que se adapten a las diferentes regiones agroecológicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Generación de estrategias para el combate de la mosca de la fruta, greenning, HLB, leprosis y su ácaro vector •Obtención de variedades e híbridos de cultivos de toronja altamente productivos, de mejor calidad y resistentes al VTC y HLB. 	<p>Desarrollar variedades transgénicas resistentes al HLB.</p>
Trigo	<ul style="list-style-type: none"> •Obtención de variedades o híbridos panificables y duros con alto potencial de rendimiento, de mejor calidad (mayor contenido de proteína) y con resistencia o tolerancia a las principales plagas y enfermedades. 	<p>Desarrollar plantas de trigo transgénico tolerante a roya a sequía.</p>
Uva	<ul style="list-style-type: none"> •Propagación de variedades viníferas y portainjertos certificados libres de plagas y enfermedades. •Generación y validación de variedades altamente productivas, con alto contenido 	<p>Desarrollar variedades de uva editadas genéticamente que tengan resistencia a plagas y virus.</p>

Cultivo	Necesidad de Investigación	Alternativa Biotecnológica
Vainilla	<p>de azúcar, resistentes a plagas y enfermedades, y libres de virus.</p> <p>•Generación de nuevas variedades de vainilla con características sobresalientes (mayor productividad, tolerancias a plagas y enfermedades).</p>	<p>Generar variedades mediante mutagénesis directa, para evitar la dehiscencia y dotar de resistencia a enfermedades.</p>
Zarzamora	<p>•Generación de variedades mexicanas de zarzamora con alto potencial productivo, con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, y que se adapten a las diferentes regiones agroecológicas.</p>	<p>Mediante análisis moleculares de cruza interespecíficas identificar alelos favorables asociados a caracteres de resistencia a enfermedades, los cuales se pueden optimizar mediante edición de genomas.</p>

Fuente Elaboración propia con datos de (SNITT, 2018)

5.3 La coexistencia como práctica sostenible

Las variedades nativas han coexistido durante años con cientos de variedades mejoradas, en particular con los denominados híbridos mejorados convencionales, que portan amplios cambios genéticos. Las variedades nativas y convencionales coexistirán también sin detrimento con diferentes plantas genéticamente modificadas, ya que se trata de organismos vivos esencialmente con el mismo genoma que podrían intercambiar y recibir sin problemas material genético de otros orígenes, como parte de un proceso natural y evolutivo.

Las plantas genéticamente modificadas y sus precursores convencionales han sido rigurosamente caracterizados y evaluados mediante ciencias ómicas y se ha demostrado que son organismos muy parecidos. Por ello, resulta difícil entender la preocupación biológica de que la coexistencia entre plantas que realmente son muy parecidas, implique riesgo a las variedades convencionales y nativas por la coexistencia con cultivares genéticamente modificados.

No hay evidencias científicas robustas que sustente esta preocupación, ya que las plantas genéticamente modificadas no tendrían por qué causar daño, aun aceptando la posibilidad de que las secuencias genéticamente modificadas pudieran transferirse a las variedades nativas o convencionales, lo que no implica un daño biológico, derivado de que las plantas pudieran ganar una función por la nueva secuencia genéticamente modificada adicional.

Para el caso del maíz, es fundamental destacar la característica de que dicho cultivo es una planta en la que más del 80% de su genoma son transposones, y por ello reorganiza y cambia con frecuencia su material genético. Este fenómeno es responsable de rearrreglos de genes, causante de crear variedades distintas a sus progenitores, lo cual, visiblemente se puede observar como es el caso de los colores diferentes en granos de una misma mazorca. No existe razón o evidencia científica alguna que sustente que haya daño en maíces convencionales o nativos por la presencia de transgenes provenientes de cultivares genéticamente modificados ya que, aun si la transferencia y el rearrreglo de material genético del transgén se dieran (lo cual es poco probable), el genoma del maíz se rearreglaría gracias a su gran plasticidad genotípica, como de hecho lo hace cotidianamente a través de sus transposones.

Un ejemplo claro de la coexistencia de diferentes variedades de maíz es la producción de maíz blanco y amarillo en el Bajío mexicano, en donde por décadas se ha producido maíz blanco sin problemas en la región, aunque algunos podrían pensar que se “contaminaría” con el maíz amarillo de uso industrial y de alimento para ganado. Esto se refuerza con el hecho de que las 60 razas de maíz identificadas hasta ahora se hayan

mantenido a lo largo de siglos, a pesar de que varias de ellas se siembran en coexistencia en cultivos vecinos. (Zapata, 2017)

Las prácticas agrícolas que incluyen organismos genéticamente modificados pueden necesitar desarrollar mejores sistemas que permitan una coexistencia apacible de la agricultura biotecnológica y convencional, en la cual se acepta un limitado nivel de cruzamiento, definido en diversos instrumentos regulatorios a nivel internacional como presencia en bajos niveles (LLP por sus siglas en inglés), tomando como referencia los criterios de evaluación de riesgo, donde el riesgo cero no existe, y que para cualquier actividad o proceso industrial las diversas normativas siempre consideran un porcentaje mínimo de error.

El Comité Asesor del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos sobre Biotecnología y Agricultura del Siglo XXI (AC21) ha fomentado la identificación y la cuantificación de las pérdidas económicas reales de los agricultores como consecuencia de la presencia accidental de material de OGMs en sus cultivos tradicionales (LLP). Los miembros del AC21 reconocen la premisa de que la producción agrícola (USDA, 2012) afirma que la presencia de secuencias geneáticas producto de la ingeniería genética en los cultivos no crea riesgos novedosos en la agricultura convencional. Los principios de coexistencia y la necesidad de gestionar el riesgo y preservar la integridad de los cultivos se aplica a todos los productos agrícolas producidos, y son particularmente importantes en cualquier sistema de cultivo preservado de identidad (IP), por ejemplo en los cultivos orgánicos y biosellos. Ejemplos de coexistencia exitosa en la producción de IP incluyen el cultivo de variedades de cultivos de especialidad, tales como maíz dulce y palomitas de maíz, y prácticas dentro de la producción de semillas.

En este sentido, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) ha recomendado llevar a cabo investigaciones en una serie de áreas de interés para la promoción de la coexistencia en la agricultura, enfocada en lo siguiente:

1. La cuantificación de las pérdidas económicas reales sufridas por los agricultores como consecuencia de la presencia no intencionada, y en los casos de estas pérdidas generadas a través del tiempo y en diferentes áreas geográficas.
2. Evaluación de la eficacia de las actuales predios agrícolas y de las técnicas de pos intencionales de mitigación de la presencia de cultivo por cultivo y el desarrollo de mejores técnicas según sea necesario.
3. Evaluación de la eficacia de las técnicas existentes de la mitigación de flujo de genes en la propagación de semillas, multiplicación o la producción cultivo por cultivo y el desarrollo de técnicas mejoradas según sea necesario.
4. El desarrollo de herramientas genéticas para limitar el flujo genético no deseado de plantas sexualmente compatibles.

5.3.1 Medidas de coexistencia

Las medidas de coexistencia son las prácticas o medidas agronómicas o normativas que se aplican para que dos o más sistemas de producción, incluido el convencional, orgánico y biotecnológico (organismos genéticamente modificado) puedan establecerse simultáneamente, sin causar daños en sus procesos de producción, certificación y/o comercialización, las cuales puede consistir en: aislamiento espacial y/o temporal, barreras de cultivos, rotación de cultivos, pureza de semillas y determinación de zonas libres.

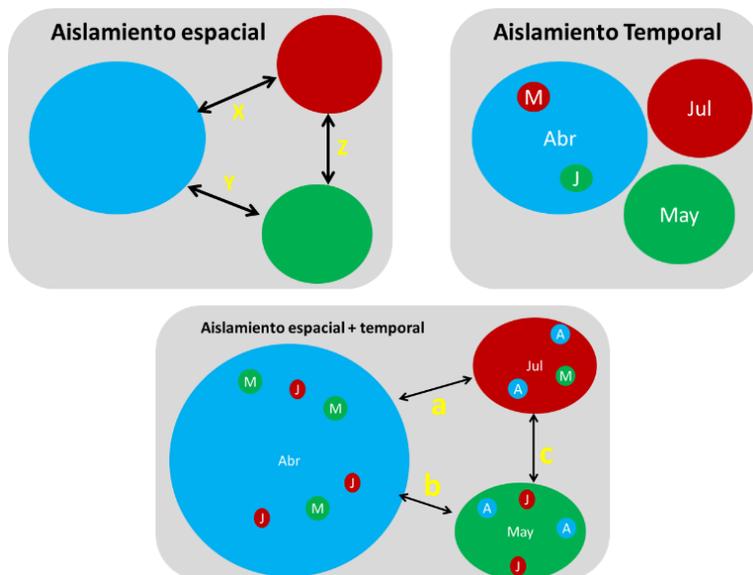
5.3.1.1 Aislamiento (espacial y/o temporal)

El aislamiento trata de impedir la baja presencia de polen genéticamente modificado o productos no permitidos en sistemas de producción convencional y orgánica, por encima del umbral de tolerancia fijado por las regulaciones o esquemas de certificación a nivel nacional e internacional. El aislamiento espacial consiste en establecer las siembras de los diferentes materiales a distancias donde biológicamente el polen de los cultivos biotecnológicos o el uso de los insumos químicos asociados no puedan afectar la certificación de la producción orgánica, o la comercialización de los productos convencionales de identidad preservada, como los materiales no orgánicos, pero que se comercializan con un valor agregado por ser materiales nativos asociados a un sistema

de producción específico. Las distancias mínimas para evitar dichas afectaciones por lo general ya están considerados en diversas normativas, por ejemplo para el caso de orgánicos, mientras que en diversos estudios científicos se han determinado las distancias donde biológicamente el polen sigue siendo viable para fecundar óvulos de otras plantas, que posiblemente sean de otros sistemas de producción.

Para el caso del aislamiento temporal, significa que biológicamente no podrá existir una polinización cruzada, porque los materiales (semillas, ya sean orgánicas, convencionales o biotecnológicas) se establecen o siembran en fechas distintas donde no existe la coincidencia en la floración, lo cual, para muchos cultivos también ya está normado en las regulaciones técnicas para la producción de semillas certificadas, y que en algunos países, se han establecido políticas públicas para que dicho margen de separación temporal de los sistemas de producción de semillas sea más amplio, y pasar de algunas semanas a varios meses, o lo que en México se definen como ciclos agrícolas, primavera-verano y otoño-invierno.

Figura 24 Aislamiento espacial y temporal como medida de coexistencia



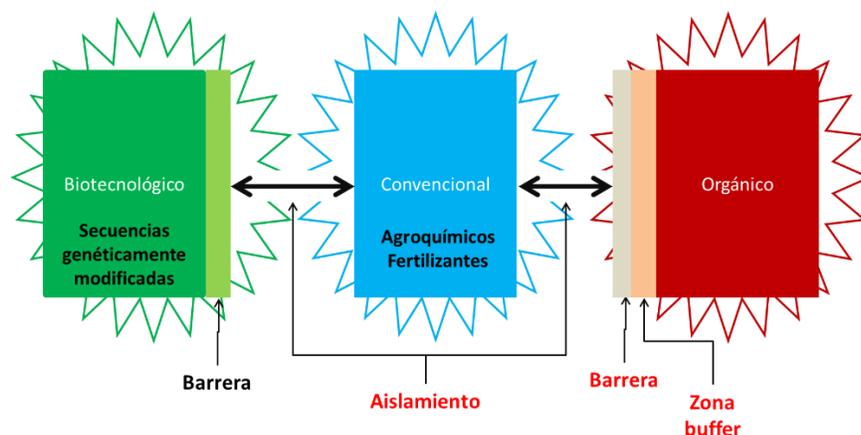
Fuente (SAGARPA, 2017)

5.3.1.2 Barreras de cultivos

Consisten en barreras del mismo cultivo pero sin la modificación genética o la aplicación de productos no permitidos en sistemas de producción convencional y orgánica.

El cultivo externo puede funcionar como una barrera o surcos borderos, para la retención de polen o sustancias prohibidas por encima del umbral de tolerancia fijado por las regulaciones o esquemas de certificación a nivel nacional e internacional. La barrera se puede establecer únicamente en áreas adyacentes a otros sistemas de producción que pudieran verse afectados. Esta práctica, ha sido avalada internacionalmente en los sistemas de producción de semilla certificada, con la cual se garantiza la identidad genética de los materiales y se puede reducir el aislamiento espacial y garantizar la efectividad del aislamiento temporal, cuando éste es de solo unos cuantos días.

Figura 25 Barrera de cultivo como medida de coexistencia



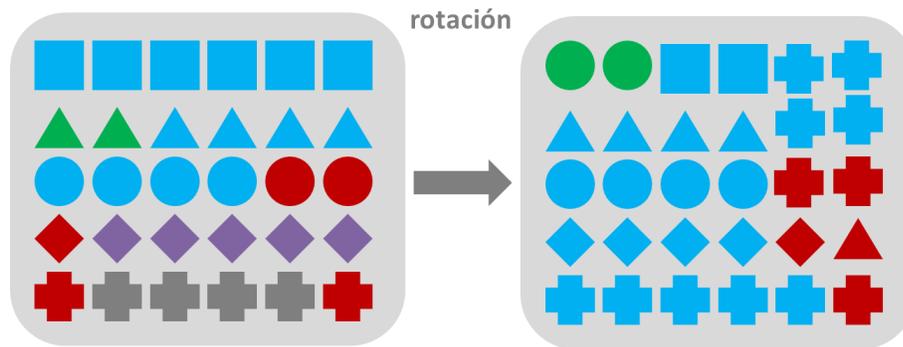
Fuente (SAGARPA, 2017)

5.3.1.3 Rotación de cultivos

Los agricultores pueden establecer mutuamente una planeación productiva, con la finalidad de rotar los sistemas de producción que se puedan ver afectados (cultivos sexualmente compatibles), con la finalidad de programarlos en diferentes años o ciclos

productivos y cumplir con las regulaciones o esquemas de certificación a nivel nacional e internacional.

Figura 26 Rotación de cultivos como medida de coexistencia



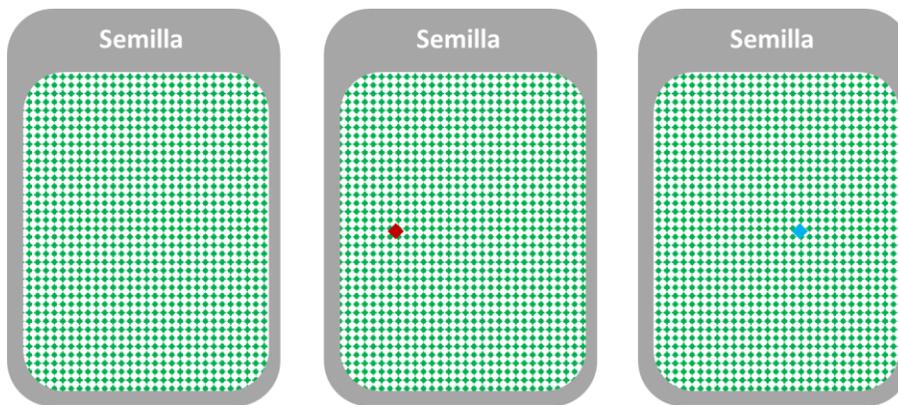
Fuente (SAGARPA, 2017)

5.3.1.4 Pureza de semillas

Las semillas convencionales y orgánicas empleadas por los productores deben cumplir con los requerimientos de pureza genética que establezcan las regulaciones o esquemas de certificación a nivel nacional e internacional. Este tema conlleva a un gran paradigma con la incorporación de umbrales de tolerancia de secuencias genéticamente modificadas en materiales convencionales (LLP), derivado de que el tolerar un umbral en especiales de polinización alógama (polinización cruzada) en donde el principal polinizador es el viento (caso maíz), existe un riesgo latente no comprobado científicamente de una posible acumulación de secuencias genéticamente modificadas en materiales donde los productores obtienen sus propias semillas, pero que en algún momento cultivan dichas semillas con semillas mejoradas que pudieran traer dichas secuencias [pueden cultivar semillas mejoradas por varios factores: 1) reciben la semilla por programas de gobierno; 2) adquieren la semilla por sus recursos con la finalidad de evaluarla o mezclarla con sus semillas; además, puede ser consecuencia también, de la polinización cruzada por el empleo de este tipo de semillas en un predio aledaño]. Por lo anterior, el Gobierno Federal debe garantizar la integridad de pureza de semillas en regiones prioritarias donde el

escenario planteado con anterioridad se pueda realizar, con la finalidad de evitar posibles repercusiones en materia de propiedad intelectual, tema ampliamente discutido por grupos que consideran que las semillas biotecnológicas representan un riesgo para los pequeños productores de autoconsumo.

Figura 27 Pureza de semilla como medida de coexistencia

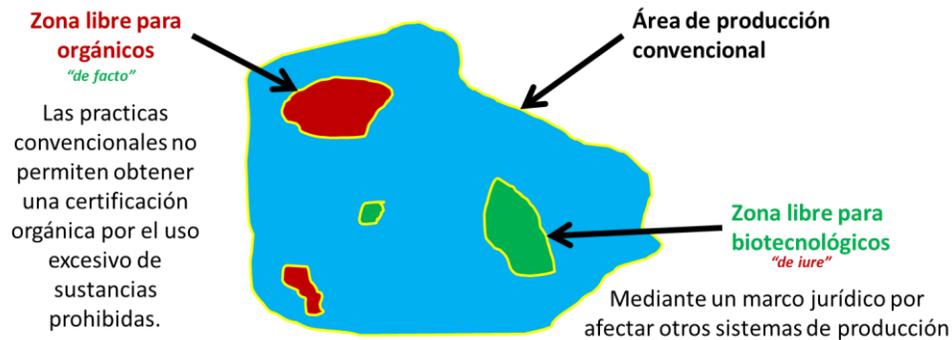


Fuente (SAGARPA, 2017)

5.3.1.5 Zonas libres

Es una medida de alcance regional para la agrupación de cultivos genéticamente modificados, convencionales y orgánicos, en donde los niveles requeridos de calidad genética de la semilla, grano o de producción orgánica no pueden ser alcanzados por otras medidas como: pureza de la semilla, aislamiento espacial y temporal, barreras de cultivo y rotación de cultivos. Bajo este escenario, debe existir un consenso entre los diferentes productores y Gobierno, para delimitar con base en criterios productivos, científicos y legales, el alcance y distribución geográfica de las zonas libres, así como los criterios técnicos para conservar su criterio como tal; además, el Gobierno deberá brindar alternativas tecnológicas productivas y rentables para compensar el posible impacto por la declaratoria de zona libre.

Figura 28 Zonas libres de OGMs como medida de coexistencia



Fuente (SAGARPA, 2017)

5.3.2 Acciones que pueden favorecer la coexistencia

La coexistencia entre diversos sistemas de producción agrícola es posible, siempre y cuando se establecen c

1. Educar a los productores y actores de la cadena de producción y comercialización sobre la importancia de la coexistencia.
2. Desarrollar programas agrícolas que fomenten la coexistencia mediante herramientas e incentivos.
3. Identificar áreas prioritarias para emprender acciones de coexistencia y desarrollar mejores prácticas para la gestión de la coexistencia en el futuro.
4. Establecer un marco regulatorio que reconozca la coexistencia y favorezca su aplicación. Establecer requisitos obligatorios de gestión de cultivos biotecnológicos.
5. Desarrollar un sistema de compensación por las pérdidas económicas reales para los productores, considerando una norma de elegibilidad para demostrar que los productores que pudieran verse afectados (orgánicos, de identidad preservada) antes de producir un producto o durante su proceso de producción emplean las mejores prácticas de coexistencia.

5.4 Beneficios socioeconómicos

Las necesidades sociales y las tendencias económicas son elementos clave a la hora de diseñar el futuro de los sectores productivos de cualquier economía incluyendo, entre esos sectores, el agrícola, ganadero y forestal. Necesidades sociales derivadas de las nuevas demandas del consumidor o los nuevos hábitos de vida, así como tendencias económicas que incluye el desmantelamiento de barreras comerciales y la incipiente precaución por la innovación, representan, sin lugar a duda, los catalizadores del cambio. Respecto a la tendencia de mercado carácter social.

- El incremento de la población mundial. Las estimaciones de la FAO sobre el crecimiento de la población señalan que habrá 8,000 millones de habitantes en el año 2020 y que incluso podrá duplicarse para el año 2050. Ante esta perspectiva se hace necesario seguir incrementando la productividad agrícola.
- El envejecimiento de la población en los países desarrollados. El envejecimiento de nuestra población sin duda genera un cambio en el perfil del consumidor medio, enfocado hacia una mayor preocupación por la salud, y por el consumo de alimentos saludables y/o funcionales o incluso los denominados nutracéuticos.
- Un consumidor más informado. Una mayor formación e información juega un papel clave en la dinámica hacia la demanda de calidad e higiene. La crisis alimentaria ha generado desconfianza en el consumidor que ha tenido como consecuencia el endurecimiento de los controles de calidad, la implantación de nuevas normas de trazabilidad de los alimentos o incluso han hecho ganar cuota de mercado a la agricultura orgánica.

Tendencia económica

- El fenómeno de la globalización, tendrá como resultados la homogenización en la demanda de los consumidores, el incremento de los flujos comerciales, una mayor competencia en los mercados, y a su vez la generación de nuevas oportunidades de negocio.
- La política macroeconómica. La economía está experimentando un incremento estable en los países desarrollados (ej. Norteamérica y Europa) atenuándose a los

ciclos económicos, y por lo tanto generando un consumo de alimentos igualmente estable.

- El incremento de los ingresos familiares y de la urbanización ha provocado un cambio paulatino en los hábitos alimentarios. En los países desarrollados aumenta el consumo humano de proteína animal, vegetal y alimentos de primera necesidad. (Enriquez, 2012)

Diversos estudios sugieren que en el corto plazo el beneficio económico que genera la adopción de cultivos transgénicos no es necesariamente mayor que el que genera la adopción de cultivos que no son genéticamente modificados. Gran parte de los estudios realizados en los países desarrollados señalan que los beneficios del uso de cultivos Genéticamente Modificados, desde el punto de vista del productor agrícola, presentan diferencias importantes entre las zonas productivas, dependiendo de factores climáticos, la incidencia de plagas y de malezas, irrigación y otros factores. Esto hace que los cultivos Genéticamente modificados resulten más atractivos para ciertas zonas productivas y menos en otras. En efecto, mientras mayor es el grado de incidencia de plagas y malezas, mayores serán también los beneficios obtenidos de la siembra de cultivos Genéticamente Modificados. A esto se agregan factores relacionados con la simplificación de las labores para el productor agrícola, que se traducen en una reducción en las necesidades de labranza de la tierra y una mayor flexibilidad en los requerimientos laborales, lo que en el mediano plazo debería traducirse en un aumento de la productividad laboral y un ahorro en mano de obra. En el largo plazo podría implicar toda una reestructuración del sector agrícola. (Soledad Parada, 2011)

Las principales ventajas para los productores de OGMs son los menores costos del cultivo, la mejora en el rendimiento (y por consiguiente en los ingresos netos) y la simplificación de las labores agrícolas. Estas ventajas dependen en buena medida de cada zona productiva, de sus condiciones climáticas, la incidencia de plagas y malezas, la humedad y muchos otros factores. A mayor incidencia de plagas y malezas, mayores beneficios se obtendrán de los cultivos OGMs y éstos gozarán de mayor simplificación. Sin embargo, pueden compensar el aumento en sus gastos reduciéndolos costos por

concepto de control de insectos y malezas, y gracias a la menor necesidad de mano de obra y equipos. (García Menéndez, 2014).

Las semillas que toleran herbicidas y expresan toxinas *Bt* cuentan principalmente con las siguientes ventajas:

- Permiten utilizar un solo compuesto en vez de varios herbicidas para controlar malezas. Éste suele ser el glifosato, que es de menor costo (pero se requiere aplicar dosis cada vez más altas y frecuentes)
- El control químico reduce el uso de máquinas y equipos para controlar malezas, salvo los utilizados para aplicar herbicidas. Esta reducción se acentúa todavía más con las técnicas de la branza cero y acaba generando una disminución de los costos y menor impacto ambiental por la quema de combustible fósil.
- Se necesita menos fuerza de trabajo para controlar malezas y aplicar herbicidas.
- No afectan a abejas y otros polinizadores al no requerir la aplicación de insecticidas de amplio espectro de control, con lo que se aumenta la sostenibilidad y biodiversidad.
- Se incrementa el número de organismos no blanco o insectos beneficios para controlar otras plagas.
- El daño económico que pudiera provocar una plaga objetivo es mínimo.
- Se puede considerar una tecnología de bajo impacto ambiental, siempre y cuando su producción no fomente un cambio de uso de suelo forestal.

5.5 Impacto en los sistemas productivos sostenibles

El aprovechamiento de los beneficios podrá ser maximizado y el impacto de los potenciales riesgos podrán ser manejados y minimizados, si se instrumentan programas nacionales de desarrollo científico-tecnológico que cuente con medidas apropiadas de bioseguridad y si se compatibilizan los compromisos internacionales jurídicamente vinculantes, como los derivados del convenio sobre la diversidad biológica (CDB) con los de la Organización Mundial del Comercio (OMC). (Artunduaga & Alarcón, 2014)

Se ha mencionado que cultivos genéticamente modificados pueden poner en riesgo la biodiversidad, lo cual se ha catalogado como un posible riesgo el desplazamiento de cultivos nativos y silvestres por plantas OGMs más resistentes o desarrollo de malezas invasivas, la desaparición tanto de variedades más antiguas como de variedades originarias, pérdida de diversos genes, así como la pérdida de compuestos químicos presentes en variedades originarias, todo lo anterior, como consecuencia de la polinización cruzada con especies genéticamente modificadas. Además de la desaparición de variedades o cepas más antiguas por falta de su cultivo; desaparición de especies (insectos, plantas u otros organismos) por efecto de nuevos compuestos químicos nocivos (insecticidas) o como consecuencia del desplazamiento por especies genéticamente modificadas, la alteración en especies convencionales por transferencia de genes; aparición de microorganismos resistentes a antibióticos y cambios en equilibrios ecológicos.

Los posibles efectos potenciales de los cultivos genéticamente modificados en el ambiente en forma directa son el flujo de genes, invasividad, destino final en el ambiental de los productos genéticamente modificados (en ecosistemas de suelo), efectos sobre organismos no blanco, y dentro de los efectos indirectos se citará la amenaza que representan los cultivos genéticamente modificados sobre la diversidad agrícola. (Red de acción en la agricultura alternativa, 2007)

Los Sistemas Productivos Sostenibles y que integren Biodiversidad tienen como objetivo “conservar y proteger la biodiversidad de importancia nacional y global mediante la mejora de prácticas de manejo sostenible en espacios productivos de alta biodiversidad”, este tipo de sistemas fomentan un mejor aprovechamiento del patrimonio natural de la región, fomentando actividades que no degraden progresivamente la capacidad productiva de los territorios y recursos, fomentando prácticas productivas sostenibles amigables con la biodiversidad, donde incorporan técnicas para la adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad en ecosistemas de alto valor ambiental nacional y global, así como mecanismos financieros y técnicas que aumenten la efectividad de manejo de las asociaciones de productores y

su sostenibilidad financiera, en este sentido, el desarrollar cultivos o insumos genéticamente modificados de bajo impacto ambiental como los cisgénicos puede permitir aprovechar la agrobiodiversidad para desarrollar productos con mayor aceptación en el mercado, que se puedan darles valor agregado, que en su producción semi-intensiva y diversificada no implique un alto uso de agroquímicos que afectan la biodiversidad o generen una contaminación al suelo y agua, y que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático. Los OGMs no deben estar peleados con la biodiversidad, es importante mencionar, que el Protocolo de Nagoya promueve el uso de la biotecnología moderna para aprovechar los recursos genéticos, garantizando una repartición justa y equitativa de los beneficios derivados, por ello, los mecanismos regulatorios deben evolucionar y facilitar la coexistencia de los cisgénicos y cultivos editados genéticamente con la biodiversidad al considerarse productos de bajo impacto ambiental.

5.6 GAANTRY, técnica novedosa para la transferencia de múltiples genes

Científicos del Servicio de Investigación Agrícola (ARS) en Albany, California, han encontrado una forma de simplificar el proceso que usan los científicos para insertar múltiples genes en una planta de cultivo, desarrollando un método confiable que facilitará la cría de una variedad de cultivos con una gran mejora rasgos. (USDA, 2018)

Se espera que la tecnología acelere el proceso para desarrollar nuevas variedades de patatas, arroz, cítricos y otros cultivos que estén mejor equipados para tolerar el calor y la sequía, producir mayores rendimientos y resistir una gran cantidad de enfermedades y plagas. Los cultivos con mayor resistencia a patógenos e insectos podrían reducir en gran medida el uso de pesticidas y evitar miles de millones de dólares en pérdidas de cultivos.

Los científicos a lo largo de los años han modificado la genética de la soya, el maíz, la canola y otras plantas de cultivo para desarrollar variedades que toleren herbicidas específicos y resistan las plagas de insectos; Pero esos rasgos estaban controlados por uno o dos genes, y en la mayoría de las plantas de cultivo, rasgos importantes como la

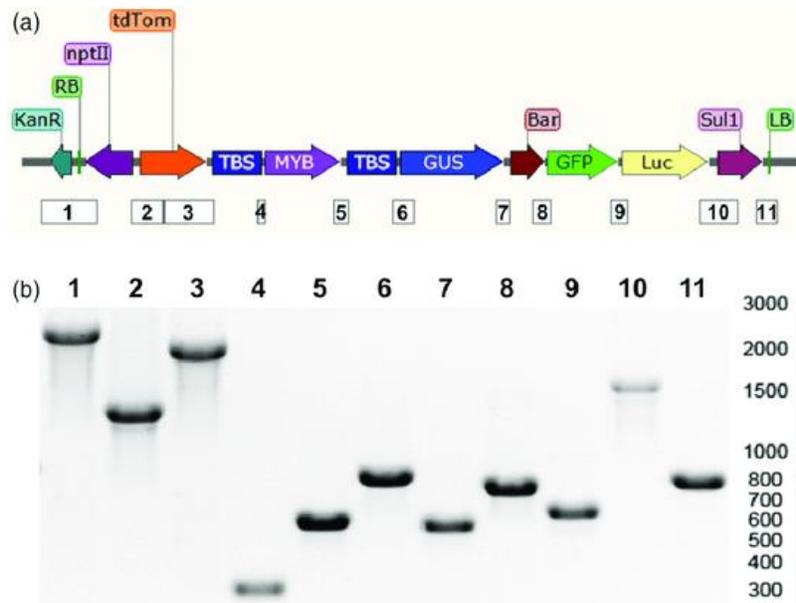
tolerancia al frío y la sequía, el rendimiento y la producción de semillas casi siempre están controlados por múltiples genes.

Insertar más de dos o tres genes en el mismo sitio en un cromosoma vegetal ha sido notoriamente difícil, sin embargo, mediante la tecnología de apilamiento de genes GAENTRY que estará disponible gratuitamente para cualquier persona interesada, se permitirá a los investigadores insertar conjuntos de genes “con tanta precisión que no se agrega ni se pierde ADN no intencional durante el proceso”, antes de esta tecnología ensamblar 10 genes para insertar en una nueva línea sería difícil o imposible, pero esta tecnología básicamente estabiliza el apilamiento y produce resultados que son más estables y mucho más fáciles de predecir”. (ChileBio, 2018)

GAENTRY; Ensamblaje de genes en *Agrobacterium* mediante transferencia de ácidos nucleicos usando tecnología Recombinase) para el apilamiento flexible e in vivo de múltiples genes dentro de un ADN de transferencia de plásmido de virulencia de *Agrobacterium* (T-ADN). (Thilmony, Thomson, & Collier, 2018)

El sistema GAENTRY utiliza expresión transitoria in vivo de recombinasas específicas de sitios unidireccionales y un esquema de selección alternante para ensamblar secuencialmente genes múltiples en una construcción de transformación única. Para demostrar las capacidades de GAENTRY, se juntaron secuencialmente 10 secuencias de carga para producir un T-DNA de 28.5 kilobases de par, que se usó para generar cientos de eventos transgénicos. Aproximadamente el 90% de los eventos identificados usando una pantalla de selección dual de antibióticos exhibieron todos los rasgos introducidos. Un total del 68% de las líneas analizadas portaban una copia única del transgén marcador de selección situado cerca del borde izquierdo del T-ADN y solo el 8% contenía una secuencia desde fuera del T-ADN. El sistema GAENTRY se puede modificar para acomodar fácilmente cualquier método de ensamblaje de ADN y generar plantas transgénicas de alta calidad, convirtiéndolo en una herramienta poderosa pero simple de usar para la ingeniería genética de plantas.

Figura 29 Construcción transferida mediante GAANTRY en Arabidopsis.



Fuente (Collier, Thomson, & Thilmony, 2018)

5.7 La edición de genomas y su impacto en la productividad agrícola

La expansión de la agricultura derivó en un incremento del área cultivada y después en la necesidad de aumentar la productividad por planta. Así, la transgénesis y los organismos genéticamente modificados permitieron la obtención de cultivos tolerantes a herbicidas (TH) y resistentes a insectos (*Bt*), ayudaron a reducir los costos de producción por el menor consumo de combustible, cantidad de labores, aplicaciones y reducir el impacto ambiental por el menor uso de insecticidas entre otros. Un nuevo cambio de paradigma propone a la edición de genes como la herramienta que permitirá desarrollar cultivos más eficientes en el consumo de agua y en la absorción de nutrientes, con ciclos más cortos y resistentes a los eventos climáticos extremos. (ArgenBio, 2016)

Los avances de la ciencia no pueden hacerse esperar un nuevo hallazgo genético llamado CRISP/Cas9 que promete superar a los organismos genéticamente modificados. Esta técnica fue descubierta en el año 2012 por Jennifer Doudna especialista en

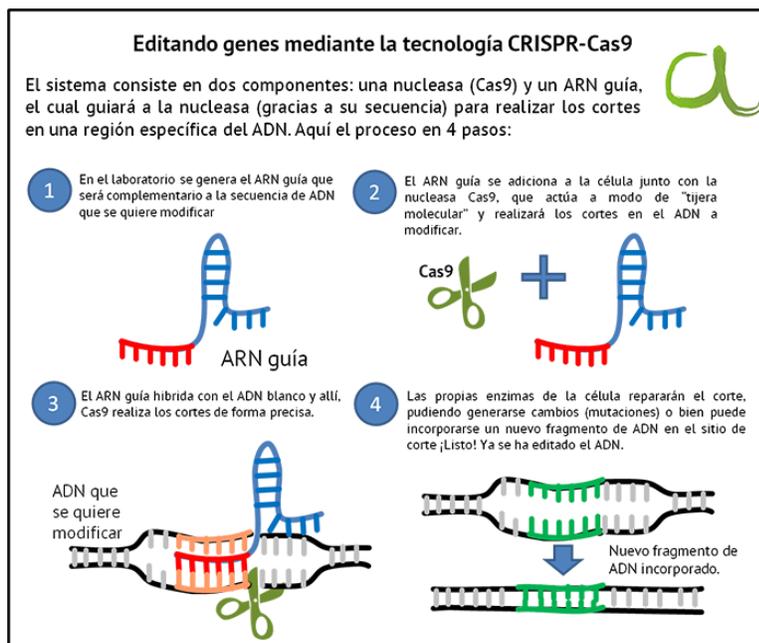
bioquímica de la universidad de California Berkeley junto con Emmanuelle Charpentier, microbióloga del Instituto de Biología de las Infecciones; esta técnica permite editar el ADN para evitar resultados poco favorables a nivel genético que permite añadir características deseables a nivel celular. Así que la principal ventaja CRISP/Cas9 es que permite activar, desactivar o cambiar la función de un gen, por lo que si un gen produce alguna toxina o alguna proteína alergénica la planta ya no podrá producir esa proteína y como no se está añadiendo material genético adicional, la planta deja de considerarse como genéticamente modificada (Agriculturers, Kenong Xu, Cornell University, 2017)

Las nuevas técnicas para editar ADN con CRISPR utilizan la proteína endonucleasa Cas9 y otras nucleasas que cortan el ADN, constan de dos partes las cuales permiten inactivar genes en organismos usando ARN de hélice sencilla como guía, específico para el gene que se desea inactivar. Esta es la forma en que funciona la endonucleasa Cas9 que reconoce moléculas de la doble hélice en las cuales hay ARN específico para este locus, hibridando con el ADN y en donde procede el corte de la doble hélice del ADN. Para lograrlo se requiere de secuencias en el ADN con “Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas” (CRISPR, por sus siglas en inglés), que son reconocidas por la endonucleasa Cas9. Además si así se diseña es posible insertar en un segundo paso, una vez inactivado el gene específico, el material genético. (Nava Morales & Santamaría Balmaceda, 2016)

En el campo de la biotecnología y específicamente de la ingeniería genética, siempre fue un reto poder “identificar” un sitio específico del ADN y poder editarlo al mismo tiempo, por ejemplo, para cambiar una mutación puntual que impide la formación de una proteína poder eliminar toda una variante defectuosa de un gen, la tecnología CRISPR/Cas9 logra justamente identificar un segmento específico de ADN y eliminarlo o reemplazarlo, usando siempre las mismas herramientas un RNA dúplex con la copia del ADN que se debe identificar (RNA) y con una secuencia corta (PAM) que se unirá al ADN y estabilizará la proteína Cas9 y una proteína (Cas 9, con actividad de endonucleasa y helicasa) guiada por el RNA que separa y corta las dos hebras de ADN. (Lamprea Bermúdez & Lizarazo Cortés, 2016). Afirma (Lammogliá Cobo, Lozano Reyes, & Avilez-Bahena, 2016) que la

ingeniería genética puede activar genes, puede reprimir genes, inducir mutaciones puntuales y cambiar secuencias mediante recombinación homóloga. CRISPR también se ha empleado para generar modelos marinos de enfermedades humanas y evaluar la fisiología celular mediante la activación o represión simultánea de diversos genes. En esta revisión se explica el funcionamiento del sistema CRISPR/Cas:

Figura 30 Edición de genes mediante la técnica CRISPR-Cas9



Fuente (Nava Morales & Santamaría Balmaceda, 2016)

Esta técnica desarrollada recientemente permite la edición final del ADN del genoma de los organismos vivos, en donde participan endonucleasas tipo Cas9 que tienen la capacidad de reconocer moléculas de doble hélice de ADN usando moléculas de ARN de hélice sencilla como guía que se asocia con el fragmento del ADN que se desea editar. Gracias a esta innovadora capacidad de enorme valor, Cas9 es capaz de romper las dos hebras del ADN en la región que hibridiza el ARN de hélice sencilla que sirve como guía este rompimiento del ADN en sus dos hebras la célula es capaz de reparar el ADN roto y en algunos casos generar mutaciones por eliminación o deleción de uno o más pares

de bases del ADN roto. Por lo anterior implica la inactivación del gen roto. Simultáneamente (si así se diseña) es posible insertar en el gen inactivado material genético de cualquier origen (transgén) con las características y funciones adecuadas en la célula blanca. De esta manera se atiende una de las preocupaciones de los grupos antitransgénicos a partir del uso de Cas9 y otra endonucleasa se construirán nuevos organismos genéticamente modificados inactivando específicamente un gen o locus blanco, y la integración del transgén no se hará al azar (Zapata, 2017)

La edición de genomas usa nucleasas del ADN que permiten hacer mutaciones precisas, planeadas, permanentes y heredables la menor probabilidad de cometer errores y sin dejar secuencias de ADN extraño, por lo que es la tecnología más moderna para acelerar la investigación básica y el mejoramiento de plantas. Además de permitir la modificación precisa del genoma para lograr características deseables, también nos permite interrogar el genoma para asignar y/o descubrir funciones de los genes. Los siguientes son ejemplos concretos tomados de trabajos en curso del equipo de investigación del CIAT, que comenzó a experimentar con la edición de genomas de arroz, yuca y frijol en el año 2014: (Centro Internacional De Agricultura Tropical, Ciencia Para Cultivar El Cambio, 2017)

- Arroz: Resistencia a virus y bacterias, calidad nutricional, semilla híbrida.
- Yuca: Calidad del almidón, Resistencia a herbicidas.
- Frijol: Calidad nutricional.
- Diagnóstico: Detección temprana de patógenos.

El Abogado General del Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE) analizó si los organismos desarrollados por mutagénesis, incluidos aquellos obtenidos aplicando técnicas como CRISPR-Cas, pueden ser considerados como organismos genéticamente modificados en el marco de la Directiva 2001/18/CE, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos genéticamente modificados; al respecto, el Abogado General considera que los organismos editados, a su juicio, sí deben ser considerados como OGM si cumplen con los criterios de la normativa, que establece como tal al "organismo, con excepción de los seres humanos, cuyo material

genético haya sido modificado de una manera que no se produce naturalmente en el apareamiento ni en la recombinación natural".

Sin embargo, el Abogado General menciona que es preciso diferenciar la transgénesis de la mutagénesis:

- Transgénesis: técnica de ingeniería genética que consiste en insertar uno o varios genes de una especie en el genoma de otra especie;
- Mutagénesis: técnica que no implica insertar ADN extraño en un organismo vivo, pero que sí "supone una alteración del genoma de una especie viva".

Para la mutagénesis, el Abogado General reconoce que las técnicas relacionadas con mutagénesis de forma tradicional incluían la exposición a radiación ionizante o a agentes químicos, pero con el paso del tiempo, los científicos han logrado desarrollar métodos de mutagénesis dirigida, que no implican la introducción de ADN de otro ser vivo (como la transgénesis), mucho más específicos, gracias a la llegada de sistemas como CRISPR-Cas9 o la utilización de las nucleasas de dedos de zinc (ZFN, por sus siglas en inglés) o TALEN.

El análisis del Abogado General del TJUE también valora si los Estados miembros pueden establecer leyes específicas sobre los organismos desarrollados mediante mutagénesis, incluyendo las técnicas dirigidas como CRISPR-Cas, yendo más allá de la Directiva de 2001. Según el Abogado General, en principio los países son libres para regular los organismos obtenidos mediante mutagénesis siempre que cumplan con las obligaciones impuestas por el Derecho europeo. "La Directiva 2001/18 no impide a los Estados miembros adoptar medidas que regulen la mutagénesis siempre que, al hacerlo, éstos respeten las obligaciones generales que se derivan del Derecho de la Unión", señala el Abogado General del Tribunal de Justicia de la Unión Europea.

El Abogado General del TJUE afirma que el "simple temor al riesgo invocado con carácter vago y abstracto" no es suficiente para aplicar el principio de precaución, sino que debe

haber evidencia científica al respecto, por lo que el Abogado General afirma que los organismos obtenidos por mutagénesis como los editados mediante CRISPR-Cas pueden considerarse dentro de las excepciones de la Directiva de 2001, siempre y cuando "no entrañe el uso de moléculas de ácido nucleico recombinante ni de OGMs distintos de los obtenidos con una o varias de las técnicas relacionadas en el anexo I B" (mutagénesis y fusión de células).

El Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE) afirma que los organismos modificados genéticamente con las nuevas técnicas de edición genómica, como el sistema CRISPR-Cas9 deben ser regulados como si fueran transgénicos a la luz de la actual normativa comunitaria. La sentencia contradice la postura adoptada el pasado mes de enero por el Abogado General del TJUE, cuya opinión no era vinculante. (Hipertextual, 2018).

La respuesta del Tribunal es que todas esas nuevas técnicas deben ser consideradas OMG y, por ello, pasan a ser reguladas por la directiva 2001/18/CE. En la práctica, la decisión del Tribunal va a dejar a Europa fuera de juego en la gran carrera biotecnológica.

5.8 Política Mexicana en materia de Organismos Genéticamente Modificados

Acorde al artículo 2 de la Ley de Bioseguridad, la CIBIOGEM es responsable de la política Nacional de Bioseguridad, donde dicha política queda plasmada en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (Peciti) que para el periodo 2014-2018 establece las siguientes estrategias:

Estrategia 6.1 "Fortalecer la investigación en bioseguridad de los desarrollos biotecnológicos, que sustente científicamente la toma de decisiones en la materia":

6.1.1 Fomentar investigación para establecer científicamente la adopción de medidas de bioseguridad señaladas en la LBOGM

6.1.2 Apoyar investigaciones sobre posibles efectos de OGM en: medio ambiente, diversidad biológica, salud humana, sanidad animal, vegetal y acuícola

6.1.3 Generar conocimiento sobre los efectos socioeconómicos del uso de OGM

Estrategia 6.2 Fomentar aplicaciones innovadoras de la biotecnología moderna, orientadas hacia la atención de las necesidades del país:

6.2.1 Promover aplicaciones biotecnológicas innovadoras para la atención de problemas sanitarios emergentes humanos, animales y vegetales

6.2.2 Promover desarrollos biotecnológicos que contribuyan a la producción de alimentos de calidad y con valor agregado

6.2.3 Promover desarrollos biotecnológicos que beneficien al medio rural y al sector productivo de manera sustentable

6.2.4 Desarrollar aplicaciones biotecnológicas para la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de la biodiversidad

6.2.5 Promover desarrollos biotecnológicos para procesos industriales que impulsen la competitividad y generen productos de alto valor agregado

Estrategia 6.3. Favorecer el intercambio, cooperación internacional y vinculación de especialistas en bioseguridad y biotecnología:

6.3.1 Facilitar el intercambio internacional de información y experiencias científicas y técnicas en bioseguridad y biotecnología

6.3.2 Coordinar la cooperación e intercambio de información con instituciones internacionales

6.3.3 Promover iniciativas de fortalecimiento de capacidades regionales en bioseguridad

Estrategia 6.4. Promover la comunicación, difusión y apropiación social del conocimiento en bioseguridad y biotecnología:

6.4.1 Impulsar programas y acciones para el fortalecimiento de la cultura en bioseguridad y biotecnología

6.4.2 Fomentar la comunicación continua de información en bioseguridad y biotecnología hacia la sociedad

Acorde a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, en su artículo 34, faculta al Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo (SNITT) a establecer acciones de investigación y Desarrollo Tecnológico empleando la biotecnología moderna, considerando lo estipulado en la Ley de Bioseguridad de bioseguridad.

Considerando que la Biotecnología moderna puede traer grandes beneficios para el Campo Mexicano, en el 2014 en las instalaciones del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), la SAGARPA en el marco de la denominada “Reforma para el Campo”, desarrollo un Foro de Biotecnología, insumos estratégicos (semillas y fertilizantes) y equipamiento, en donde se recibieron más de 161 propuestas o recomendaciones al Gobierno Federal para impulsar la biotecnología, las cuales se resumen en los siguientes puntos:

1. Establecer políticas públicas explícitas para el uso de la biotecnología moderna aplicada al campo, con el objeto de lograr un desarrollo sustentable, combatir el hambre, y lograr la independencia alimentaria.
2. Aplicar de manera previsible y transparente el marco jurídico, para lo cual es indispensable que la autoridad interprete y aplique la ley con apego a evidencia científica.
3. Generar y poner a disponibilidad de los productores variedades mejoradas genéticamente para que sean más productivos y competitivos.
4. Divulgar entre la ciudadanía información sobre las aplicaciones y beneficios de la biotecnología, como una opción viable y sustentable que puede contribuir a alcanzar la seguridad alimentaria.
5. Fortalecer los vínculos entre instituciones públicas (Universidades, institutos de investigación como INIFAP), instituciones privadas y sector gubernamental, para la generación de equipos interinstitucionales y multidisciplinarios que garanticen la generación de innovaciones a través de la aplicación de la investigación biotecnológica, para la solución de problemas nacionales.

6. Generar los instrumentos regulatorios adecuados para facilitar e incentivar la experimentación con productos nacionales y así poder llevarlos a las etapas comerciales o de aplicación con fines sociales.
7. Establecer un sistema simplificado para el licenciamiento de tecnologías biotecnológicas, cuando estas ya cuenten con algún permiso comercial, para que otras empresas no tengan que someter sus solicitudes a todo el proceso regulatorio donde ya se evaluó el bajo riesgo.
8. Dar acceso a las semillas biotecnológicas de maíz de acuerdo a la Ley y las diferentes regulaciones y políticas públicas.
9. Promover la investigación nacional en materia de biotecnología, para desarrollar mejores variedades de los cultivos nativos de México, y que sean más rentables para nuestros agricultores.

Derivado de lo antes mencionado, SAGARPA en coordinación con CONACYT mediante el Fondo Sectorial de Investigación en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos, en la convocatoria 2016-01, establecieron como temas prioritarios de investigación, el desarrollar programas de mejoramiento genético de algodón, soya y caña de azúcar, empleando la biotecnología moderna (CONACYT, 2016), Solicitando los siguientes desarrollos tecnológicos:

- Variedades de algodón de amplia adaptabilidad, altos rendimientos, con la calidad requerida por la industria textil, que posean tolerancia a herbicidas de baja residualidad.
- Variedades mejoradas de soya de alta adaptabilidad, con mayor rendimiento, alto contenido de ácido oleico, tolerante a sequía y herbicidas, así como resistentes a geminivirus y roya asiática, amplia adaptación y requerimientos de la industria.
- Nuevas variedades mejoradas de caña que atiendan las necesidades de los productores y de la agroindustria, incluidos: mayor productividad agroindustrial, contenido de sacarosa, resistencia a problemas fitosanitarios principalmente a roya, marchitamiento y barrenadores del tallo.

Sin embargo, en la página del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT, se publicó una actualización a las demandas de investigación en la cual se advertía que ya no se podría hacer uso de la ingeniería genética (SAGARPA, 2016), sin mencionar las razones científicas o normativas para ello. Es importante mencionar que debe existir coherencia entre las Políticas Públicas del Gobierno Federal y las actuaciones de funcionarios públicos, que por desconocimiento, falta de información u opinión personal, ejecutan acciones en contra de las Políticas Públicas y del desarrollo científico de toda una nación, que puede favorecer la productividad, competitividad y rentabilidad de los pequeños y medianos productores que también son los más afectados por el cambio climático y poseen una alta diversidad genética, la cual, también se podría ver beneficiada.

Actualmente México no cuenta con una política clara para apoyar la investigación y desarrollo de cultivos e insumos genéticamente modificados mediante el uso de la biotecnología moderna, que beneficien a los productores agrícolas nacionales, sin embargo, se recomienda que dicha política incluya las siguientes líneas de acción:

- Fortalecer las capacidades de las instancias públicas relacionadas con el desarrollo y regulación de los OGMs
- Crear las capacidades humanas y de infraestructura nacionales para el desarrollo de tecnologías nacionales basadas en OGMs de bajo nivel de riesgo.
- Impulsar el desarrollo de OGMs que atiendan demandas estratégicas nacionales, cuidando en todo momento la salud humana, el medio ambiente y la diversidad genética.
- Adecuar el marco regulatorio con fundamentos científicos, para aprovechar los beneficios de la biotecnología moderna en el campo mexicano.
- Fortalecer la difusión asertiva de los beneficios de los OGMs, con elementos técnico-científicos.
- Promover la investigación científica y el fortalecimiento de programas de mejoramiento vegetal clásico, con herramientas de caracterización molecular y empleo de ingeniería genética, con énfasis en la edición de genomas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La biotecnología moderna ha permitido al sector agropecuario mexicano aumentar la eficiencia en la productividad y calidad de los productos alimenticios del campo mexicano, haciendo uso de las herramientas biotecnológicas actuales entre las cuales se encuentran; micro propagación, marcadores moleculares, secuenciación, ingeniería genética, y esperando contar en el mediano plazo con desarrollos tecnológicos mediante CRISPR-Cas.

Es fundamental que el Gobierno Federal Mexicano y la Sociedad Civil tomen decisiones basadas en ciencia, que abran sus pensamientos críticos al uso de nuevas tecnologías, que no solo mejoran la productividad y competitividad en la producción primaria, sino también generan satisfactores en los consumidores y beneficios ambientales, con lo cual se puede mejorar la condición de vida del sector más vulnerable, siendo conscientes de aplicar en todo momento medidas que garanticen la inocuidad y seguridad de la tecnología.

En México contamos con una amplia gama de científicos de renombre internacional e infraestructura de primer nivel, con lo cual se pueden ofertar tecnologías más sustentables, productivas y económicas a los productores nacionales, contribuyendo con ello a mejorar la competitividad del sector agroalimentario en mercados internacionales, y haciendo frente al mismo tiempo, a disminuir las pérdidas ocasionadas por los cambios climáticos (sequías, heladas, plagas, enfermedades, etc.), contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad.

La siembra de cultivos biotecnológicos en diversos países ha permitido incrementar los ingresos de los productores, mejorar la calidad de vida de los trabajadores agrícolas y población vecina, además de contribuir en temas medioambientales como la reducción de gases de efecto invernadero por la adopción de la agricultura de conservación (evitar la quema de rastrojos, capturar CO₂ en rastrojos, evitar liberación de CO₂ por quema de combustibles fósiles), y está documentado que también incrementan la biodiversidad de organismos benéficos para una agricultura más sustentable, aunque, el uso desmedido

de los insumos asociados a esta tecnología (herbicidas no selectivos) pueden provocar graves efectos de erosión edáfica si no existe un manejo de agricultura de conservación.

La SAGARPA consiente de los posibles riesgos y beneficios ha otorgado permisos de liberación al ambiente de cultivos biotecnológicos en fase experimental, piloto y comercial a aquellas empresas e instituciones que han cumplido con lo dispuesto la normatividad aplicable (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y su Reglamento), así como un dictamen de bioseguridad vinculante de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y a cada uno de los permisos se les determinaron medidas de bioseguridad específicas con la finalidad de prevenir, reducir o mitigar los posibles riesgos que pudieran ocasionar a la sanidad vegetal, animal o acuícola, así como a la biodiversidad y medio ambiente, sin que hasta el momento se haya documentado un efecto adverso por la siembra de esta tecnología.

Todas las tecnologías que ha desarrollado la humanidad han sufrido etapas de incertidumbre y rechazo en su adopción (la rueda, máquinas de vapor, el automóvil, horno de microondas y celulares, por mencionar algunas), pero al final han sido fundamentales para la competitividad y desarrollo económico de las civilizaciones y poblaciones que han sido visionarias en su fomento y adopción, procurando medidas para mitigar posibles riesgos y daños.

La poca aceptación de algunos cultivos biotecnológicos (transgénicos) por parte de grupos ambientalistas, comunidades y gobiernos, se debe a un temor infundado por los propios científicos (Conferencia de Asilomar) que desarrollaron la tecnología, y que algunos grupos de especialistas pudieron monetizar para financiar sus causas, provocando un descontento en la sociedad con información pseudocientífica, que en varios países como México, desalentaron el desarrollo científico y tecnológico al promover un temor infundado, así como el desarrollo de un oligopolio de la tecnología por empresas transnacionales, derivado de que fomentaron que los productores nacionales solo tuvieran acceso a tecnologías de estas compañías, al imponer moratorias *de facto* y *de iure* que desalentó a los investigadores nacionales, que con financiamiento

público, generaban alternativas de libre acceso, alta calidad y bajo costo para atender problemáticas de los pequeños y medianos productores, principalmente.

El Gobierno Federal Mexicano, de manera coordinada entre SAGARPA, CONACYT, Secretaría de Economía o alguna otra Dependencia Federal o mecanismo de financiamiento, debe fomentar una estrategia de investigación, innovación y desarrollo tecnológico a mediano plazo, donde la biotecnología y la ingeniería genética jueguen un papel fundamental para posicionar a nuestro país como un generador tecnológico y no solo un importador de tecnologías y fuga de mentes brillantes.

Actualmente, en Europa CRISPR-Cas9 se regula como un Organismo Genéticamente Modificado así como también la mutagénesis

Es importante mencionar que la Unión Europea había expresado un rechazo a los OGMs, por lo anterior, es fundamental que el Gobierno Mexicano promueva y financie esta tecnología que se considera que a nivel internacional no se someterá a una normatividad y evaluación tan rigurosa y costosa como la aplicada a los productos OGMs, pero que si puede ofrecer las mismas ventajas productivas que un transgénico en la mayoría de los casos de los productos de segunda y tercera generación de Organismos Genéticamente Modificados.

Considero que la edición de genomas en combinación con programas sólidos y consolidados de programas de mejoramiento vegetal clásico puede ser una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático como heladas y sequías, puede optimizar los procesos de producción en condiciones poco favorables como suelos con baja fertilidad o salinos, así como incrementar la competitividad de los productores que los empleen, al facilitar su manejo agronómico y de poscosecha, además de ofertar productos de mejor calidad para el consumidor en cuanto al contenido nutricional, por lo que en México se debe promover una regulación en base al producto y no a la técnica, ya que tanto los transgénicos como los CRISPR-Cas ocupan la técnica de ingeniería genética, el producto final no conlleva el mismo riesgo. Las plantas obtenidas por edición

de genomas deberían ser reguladas como un cultivo obtenido por técnicas clásicas de mejoramiento genético, siempre y cuando no contengan secuencias genéticas que deban ser reguladas por la regulación aplicada a los Organismos Genéticamente Modificados o cuando presenten un riesgo de convertirse en plagas o en super malezas.

En manos de los políticos, funcionarios y tomadores de decisión está el que México entre en la carrera científica para el desarrollo de tecnología nacional basada en la biotecnología moderna, que puede traer grandes beneficios para la economía nacional, o simplemente, por temor e información sin fundamento científico tomar la decisión de mantener a nuestro país rezagado tecnológicamente argumentados por principios precautorios sin fundamento científico, por preocupaciones que han incentivado los propios miedos de control económico y de propiedad intelectual de los cuales garantizaban procurar a los productores nacionales. México, aún está a tiempo en invertir dinero en biotecnología moderna agrícola, de no hacerlo así, en unos pocos meses y años, nosotros, la población en general estaremos consumiendo productos editados genéticamente y nuevos transgénicos autorizados por COFEPRIS de la Secretaria Salud por su bajo riesgo, pero que serán productos importados, de alta calidad y bajos costos de producción y que, ante el escenario de un comercio globalizado, nuestros productores serán los más afectados.

El Gobierno, como ente regulador, debe garantizar el acceso a las diferentes tecnologías, que en un país como México, con una amplia diversidad de climas, de ambientes productivos, de sistemas de producción, de culturas, de tipologías de productores y hábitos de consumo, requerimos también de una amplia gama de tecnologías, desde las agroecológicas, orgánicas, sostenibles, convencionales y biotecnológicas, y el papel de los funcionarios públicos en facilitar estas tecnologías y que con algunas medias de control garanticen su bajo riesgo. EL PAPEL DEL GOBIERNO MEXICANO COMO REGULADOR DE LOS CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS, DEBE SER COMO UN VERDADERO ORGANISMO REGULADOR DE COMPETENCIA Y NO COMO UNOS CUANTOS FUNCIONARIOS QUE DICEN NO A UNA TECNOLOGIA CON

ALTO POTENCIAL PRODUCTIVO, COMPETITIVO, SOSTENIBLE Y AMIGABLE CON LA BIODIVERSIDAD.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brookes, G., & Barfoot, P. (2016). GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2014. *crop impact*.
- Corti, J. L. (2016). los riesgos derivados del cultivo de Organismos Genéticamente Modificados (OGM) y el contrato de seguro. *trebol*, 2-8.
- Gouffon, C., Vliet, A. V., & Jansens, S. (2011). Binding Sites for Bacillus thuringiensis Cry2Ae Toxin on Heliothine Brush Border Membrane Vesicles Are Not Shared with Cry1A, Cry1F, or Vip3A Toxin. *American Society For Microbiology*, 7.
- Manzur, M., Catacora, G., Cárcamo, M., Bravo, E., & Altieri, M. (2009). *América Latina La trasgénesis de un continente*. Mexico: HEINRICH BÖL.
- Nava Morales, E., & Santamaría Balmaceda, G. K. (2016). *Edición genética con la técnica CRISPR/Cas9*. Obtenido de Edición genética con la técnica CRISPR/Cas9: http://www.coniunctus.amc.edu.mx/boletines/amc_boletin55.pdf
- Rajanaidu, N., Kushairi, A., Rafii, M., Mohd Din, A., & Maizura, I. (2012). oil palm breeding and genetic resource. *CAB Direct*, 171-237.
- Reyes, I. (28 de Septiembre de 2010). *México: crean un maíz resistente a la sequía*. Obtenido de México: crean un maíz resistente a la sequía: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/09/100927_mexico_maiz_resistente_sequia_jp
- Rivera Domínguez, M., Astorga Cienfuegos, K. R., Vallejo Cohen, S., Vargas Arispuro, I., & Sánchez Sánchez, E. (2011). Embriones Transgénicos de Mango (*Mangifera indica*) cv. 'Ataulfo' con el Gen de la Defensina J1. *mex. fitopatol*.
- Rodríguez Yunta, E. (2013). Temas éticos en investigación internacional con alimentos transgénicos. *scielo*.
- Snell, C., & Bernheim, A. (2012). Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials. *ScienceDirect*.
- Solleiro, J. L., & Una Sanchez, I. (1993). La innovación tecnológica En La Agricultura Mexicana. *Bancomext*, 17.
- Trigo, Y. M., Chauvet, M., Castañeda Zavala, Y., Barajas Ochoa, R. E., & González Aguirre, R. L. (2000). Consecuencias de la biotecnología en México. *Redaly*, 133-159.
- 2000AGRO. (2017). Avances de la biotecnología en México. *REVISTA INDUSTRIAL DEL CAMPO*, 1.
- Acosta Hurtado, M. (2016). Alimentos Transgénicos, una mirada social. *clave social*, 41-47.
- Agriculturers, Kenong Xu, Cornell University. (2017). Tecnología revolucionaria para la agricultura. *TecnoAgro*, 3.
- AgroBIO. (2017). *Biotecnología moderna como una herramienta para aumentar la productividad del campo mexicano*. Obtenido de Biotecnología moderna como una herramienta para aumentar la productividad del campo mexicano.: <http://www.agrobiomexico.org.mx/biotecnologia-moderna-del-campo-mexicano/>
- Alianza protransgenicos. (2017). *Miembros de la Alianza*. Obtenido de Miembros de la Alianza: <http://alianzaprotransgenicos.org/miembros-de-la-alianza/>
- Almada, M., & Vitti, D. (2016). *Importancia del refugio en cultivos genéticamente modificados*. Obtenido de Importancia del refugio en cultivos genéticamente

- modificados:
https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_vye_no_36_5_importancia_del_refugio_en_cultivos_geneticamente_modificados.pdf
- Altieri, M. (2001). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria*. Obtenido de Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria:
http://ambiental.uaslp.mx/Agricultura/2002%201-Altieri%20Agroecologia_principios_y_estrategias.pdf
- Altieri, M. (2009). Biotecnología Agrícola En El Mundo. *Revista De Cultura Científica* , 14.
- Amaro Rosales, M., & Robles Belmont, E. (2015). Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana. *Entreciencia dialogo en la sociedad del conocimiento.*, 183-195.
- Amigo de la tierra. (2006 de Abril de 6). *Numerosas organizaciones sociales reafirman su rechazo a los transgenicos en el dia internacional contra los OMG*. Obtenido de Numerosas organizaciones sociales reafirman su rechazo a los transgenicos en el dia internacional contra los OMG: <https://www.tierra.org/numerosas-organizaciones-sociales-reafirman-su-rachazo-a-los-transgenicos-en-el-dia-internacional-contra-los-omg/>
- Ana de Ita, & Sandoval, D. (Abril de 2014). Maíz Transgenico En Mexico . *El Surco*, pág. 16.
- Angharad, M., Gatehouse, J. A., Boulter, D., & Newell, C. A. (2003). Approaches to insect resistance using transgenic plants. *BIOLOGICAL SCIENCE*.
- ArgenBio. (12 de 09 de 2016). *Genética aplicada: la ingeniería detrás de un cultivo* . Obtenido de Genética aplicada: la ingeniería detrás de un cultivo :
<http://www.argenbio.org/index.php?action=notas¬e=7118>
- Artunduaga, R., & Alarcón, E. (2014). *El impacto de la nueva biotecnología en el desarrollo sostenible de la agricultura de america latina y el caribe*. Costa Rica: Agroamerica.
- barfoot, p. (2014). Biotechnology in Agriculture and the Food Chain. *Research Paper* .
- Barreda, M. E. (23 de 05 de 2013). *Traición a México el solapar transgénicos*. Obtenido de Traición a México el solapar transgénicos: <http://redendefensadelmaiz.net/wp-content/uploads/2013/05/Traición-a-México-el-solapar-transgénicos.pdf>
- Bernardo , Á. (18 de 01 de 2018). *Los ecologistas sufren el primer rapapolvo judicial sobre la edición genómica*. Obtenido de Los ecologistas sufren el primer rapapolvo judicial sobre la edición genómica:
<https://hipertextual.com/2018/01/crispr-cas-edicion-genomica-abogado-tjue>
- Biodiversidad Mexicana. (2016). *Convenio Sobre La Biodiversidad Biologica*. Obtenido de Convenio Sobre La Biodiversidad Biologica:
<http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/convencion-cancun.html>
- Bisanga, R. (Marzo de 2009). *Biotecnología y desarrollo*. Santiago de Chile : Copyright © Naciones Unidas.
- Bolivar Zapata, F. G. (2003). *RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO Y CONSOLIDACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO*. México: CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

- Bolivar, F., Bosch, P., & Cardenas, H. (2014). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. Mexico: Rosa Campos de la Rosa.
- Boll Stiftung, H. (2015). *El incumplimiento del gobierno mexicano de la resolución emitida por la SCJN en el marco de la consulta a la tribu yanqui*. Obtenido de El incumplimiento del gobierno mexicano de la resolución emitida por la SCJN en el marco de la consulta a la tribu yanqui:
<https://observacionconsultayaqui.files.wordpress.com/2015/02/informe-yaquisweb.pdf>
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2016). GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2014. *GM crop impact*.
- Castellanos Ramos, J. Z., Guzmán Maldonado, H., Muñoz-Ramos, J., & Acosta Gallegos, J. A. (2003). FLOR DE MAYO ANITA, NUEVA VARIEDAD DE FRIJOL PARA LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.
- Centro Internacional De Agricultura Tropical, Ciencia Para Cultivar El Cambio. (18 de Octubre de 2017). *Simposio Edición Del Genoma Cambiando la Investigación Agrícola En America Latina*. Obtenido de Simposio Edición Del Genoma Cambiando la Investigación Agrícola En America Latina:
http://ciat.cgiar.org/event/simposio_edicion_genoma/?lang=es
- Chávez, I. P. (2015). *Comisión de Autosuficiencia Alimentaria*. Obtenido de Comisión de Autosuficiencia Alimentaria.:
http://www.senado.gob.mx/comisiones/autosuficiencia_alimentaria/docs/Organismos_GM.pdf
- ChileBio. (2018). *Desarrollan tecnología libre de patente para insertar varios genes en cultivos agrícolas*. Obtenido de Desarrollan tecnología libre de patente para insertar varios genes en cultivos agrícolas:
<http://www.chilebio.cl/2018/08/09/desarrollan-tecnologia-libre-de-patente-para-insertar-varios-genes-en-cultivos-agricolas/>
- CIBIOGEM. (2017). *Resoluciones emitidas para las solicitudes de permiso de liberación al ambiente de Organismos Genéticamente Modificados*. Obtenido de Resoluciones emitidas para las solicitudes de permiso de liberación al ambiente de Organismos Genéticamente Modificados:
<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/resoluciones/resoluciones-permisos>
- cibiogem. (2012). *ABC De La Biotecnología Agrícola*. Obtenido de ABC De La Biotecnología Agrícola.:
http://www.agrobiomexico.org.mx/publicaciones/ABC_Biotecnologia.pdf
- Cibiogem. (2012). *marco rEgulatorio dE los organismos gEnÉticamEntE modificados dEstinados a la agricultura*. Obtenido de marco rEgulatorio dE los organismos gEnÉticamEntE modificados dEstinados a la agricultura:
file:///F:/tesis/Marco_Regulatorio.pdf
- CIBIOGEM. (2017). *Autoridades Nacionales De Liberacion de organismos genéticamente modificados*. Obtenido de Autoridades Nacionales De Liberacion de organismos genéticamente modificados:
<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/preguntas-frecuentes>

- CIBIOGEM. (2017). *Reglamento de la bioseguridad biológica de los organismos genéticamente modificados*. Obtenido de Reglamento de la bioseguridad biológica de los organismos genéticamente modificados : <http://www.conacyt.gob.mx/>
- CIMMYT. (2016). <http://www.cimmyt.org/es/primera-cosecha-de-maiz-transgenico-apilado-tolerante-a-la-sequia-y-resistente-a-insectos-en-kenia/>. Obtenido de <http://www.cimmyt.org/es/primera-cosecha-de-maiz-transgenico-apilado-tolerante-a-la-sequia-y-resistente-a-insectos-en-kenia/>: <http://www.cimmyt.org/es/primera-cosecha-de-maiz-transgenico-apilado-tolerante-a-la-sequia-y-resistente-a-insectos-en-kenia/>
- CIMMYT. (2016). *Organización*. Obtenido de Organización: <http://www.cimmyt.org/es/organizacion/>
- CINVESTAV. (2014). *Cinvestav crea maíz que resiste sequías*. Obtenido de Cinvestav crea maíz que resiste sequías: http://expansion.mx/especiales/2014/05/01/maiz-modificado-opcion-contrala-sequia?internal_source=PLAYLIST
- CINVESTAV. (2017). *México avanza en el desarrollo del maíz transgénico resistente a la sequía*. Obtenido de México avanza en el desarrollo del maíz transgénico resistente a la sequía: <http://www.elimparcial.com/EdicionEnLinea/Notas/CienciayTecnologia/04052014/837392-Cinvestav-crea-maiz-que-resiste-sequias.html>
- COFEPRIS. (2017). *LISTA DE EVALUACIÓN DE INOCUIDAD CASO POR CASO DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGMs)*. Obtenido de LISTA DE EVALUACIÓN DE INOCUIDAD CASO POR CASO DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGMs): <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/OGMS/Lista.aspx>
- COFUPRO. (2015). *Los microorganismos del suelo y su aprovechamiento en la Agricultura*. Obtenido de Los microorganismos del suelo y su aprovechamiento en la Agricultura.: <http://www.biofabrica.com.mx/blog/?p=1237>
- Collier, R., Thomson, J. G., & Thilmony, R. (2018). A versatile and robust Agrobacterium-based gene stacking system generates high-quality transgenic Arabidopsis plants. *The Plant Journal*, 573–583.
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. (2017). *CUÁLES SON LOS PRINCIPALES CULTIVOS UTILIZADOS EN LA GENERACIÓN DE OGMs*. Obtenido de CUÁLES SON LOS PRINCIPALES CULTIVOS UTILIZADOS EN LA GENERACIÓN DE OGMs: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/OGMS/Cultivos.aspx>
- Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad. (22 de Septiembre de 2011). *Aprueba Brasil frijol transgénico*. *Expansión en alianza*, págs. http://expansion.mx/manufactura/2011/09/22/aprueba-brasil-frijol-transgenico?internal_source=PLAYLIST.
- Comite Nacional Sistema Producto Oleaginosas. (2016). *Soya GM en México*. Obtenido de Soya GM en México: http://www.oleaginosas.org/cat_151.shtml
- CONACYT. (2016). *Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos*. Obtenido de Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos:

- <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos-sectoriales-constituidos/convocatoria-sagarpa-conacyt/convocatorias-cerradas-sagarpa-conacyt/2016-01-sagarpa-conacyt/12252-sagarpa-demandas-2016/file>),
- CONACYT. (2017). *Normatividad Vigente en Materia de Bioseguridad*. Obtenido de Normatividad Vigente en Materia de Bioseguridad:
<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/normatividad/normatividad-vigente-en-materia-de-bioseguridad?showall=&limitstart=>
- Conecto mexico. (2016). *Sistemas productivos sostenibles y biodiversidad*. Obtenido de Sistemas productivos sostenibles y biodiversidad:
<https://www.conecto.mx/es/sistprodsostenibles-biodiversidad/>
- Copyright . (2008). A Critical Assessment of the Effects of Bt Transgenic Plants on Parasitoids. *Plos One* , 3-5.
- Corti Varela, J. (2016). Seguridad Humana ante nuevos riesgos biotecnológicos: entre la “cientificación” y la “politización”. *Sevilla*, 4017-437.
- Del Valle, J. R., Carrillo Castaneda, G., & Mendoza, J. V. (1996). Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) production from vitroplantlets. *Biotecnología Aplicada*, 77-82.
- Demanda colectiva del maiz. (2017). *colectividad demandante*. Obtenido de colectividad demandante: <http://demandacolectivamaiz.mx/wp/quienesomos/>
- Diario Oficial De La Federacion. (2014). *Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5346453&fecha=28/05/2014
- Earle , E., & Shelton, A. (2001). Different Cross-Resistance Patterns in the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) Resistant to *Bacillus thuringiensis* Toxin Cry1C. *Journal of Economic Entomology*, 1547-1552.
- EFSA. (2012). Final review of the Séralini et al. (2012a) publication on a 2-year rodent feeding study with glyphosate formulations and GM maize NK603 as published online on 19 September 2012 in Food and Chemical Toxicology. *European Food Safety Authority*.
- ENB. (2011). *Acceso y participación en los beneficios Usos de los recursos genéticos Conocimiento tradicional Las Directrices de Bonn Implementación nacional El Protocolo de Nagoya*. mexico: Copyright.
- Enriquez, S. (2012). *Impacto De La Biotecnología En El Sector Agrícola y Ganadero*. copyright.
- Farah Lizeth, E. M. (2015). Tratamiento jurídico de la soberanía alimentaria y del uso de transgénicos en el Ecuador. *repositorio de tesis* .
- Febres, V. J., Richard, F., & Moore, G. A. (2008). Transgenic resistance to Citrus tristeza virus in grapefruit. *Plant Cell Reports*, 93–104.
- Fernández, T., & Cortés Flores, A. (2005). CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA MEXICANA . *Terra Latinoamericana*, 9.
- Flores Jimenez, J. (2017). Evaluación de riesgos y dictaminación de solicitudes de permisos de liberación al ambiente de organismos genéticamente modificados. *repositorio dspace*, 24.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Obtenido de agricultura mundial: hacia los años 2015/2030: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s09.htm#TopOfPage>
- García Menéndez, J. R. (2014). Productos transgénicos: efectos en el ambiente, la economía y la salud. *Bancomext*, 431-441.
- García Minaya, Ó. B. (2015). Riesgos de los alimentos genéticamente modificados para la salud humana. *In Crescendo Ciencias de la salud*.
- Garro Monge, G. (2017). Inocuidad de cultivos y alimentos biotecnológicos, “20 años de comercialización”. *tecnología en marcha*, 67-74.
- Gerencia energetica. (2015). *A favor o en contra de alimentos transgénicos*. Obtenido de A favor o en contra de alimentos transgénicos: <http://www.genergetica.com/a-favor-o-en-contra-de-alimentos-transgenicos/>
- Godoy Avila, S., & Traxler, G. (2004). Transgenic cotton in Mexico. *AgBioForum*, 57-62.
- González Cabrera, J., Farinós, G. P., Caccia, S., Díaz Mendoza, M., Castañera, P., Leonardi, M. G., & Giordana, B. (2006). Toxicity and Mode of Action of Bacillus thuringiensis Cry Proteins in the Mediterranean Corn Borer, *Sesamia nonagrioides* (Lefebvre). *Appl Environ Microbiol*, 7.
- Grain. (2003). *Respuestas de la sociedad civil de América Latina a los cultivos transgénicos*. Obtenido de Respuestas de la sociedad civil de América Latina a los cultivos transgénicos: <https://www.grain.org/es/article/entries/969-respuestas-de-la-sociedad-civil-de-america-latina-a-los-cultivos-transgenicos>
- Guevara Olvera, L., Ruíz Nito, M. L., Rangel Cano, R. M., Torres Pacheco, I., Rivera Bustamante, R. F., Muñoz Sánchez, C. I., & González Chavira, M. M. (2012). Expression of a germin-like protein gene (CchGLP) from a geminivirus-resistant pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) enhances tolerance to geminivirus infection in transgenic tobacco. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 45-50.
- Gutierrez Galeano, D. F., Ruiz Medrano, R., & Xoconostle Cázares, B. (2015). *Estado Actual De Los Cultivos Genéticamente Modificados En Mexico*. México: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Gutierrez, A. (2015). *ESTADO ACTUAL DE LOS CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EN MÉXICO Y SU CONTEXTO INTERNACIONAL*. Mexico: Printed in Mexico. Obtenido de ESTADO ACTUAL DE LOS CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EN MÉXICO Y SU CONTEXTO INTERNACIONAL.
- Hernández Fuentes, L. M., Urías López, M. A., Gómez Jaimes, R., López Arroyo, J. I., Velázquez Monreal, J. J., & Orozco Santos, M. (2014). *EL HUANGLONGBING Y SU VECTOR Diaphorinacitri EN LIMÓN PERSA EN NAYARIT: RECOMENDACIONES PARA SU MANEJO*. México.
- Hernández, M., Cervantes Torres, J., & Ramírez Aquino, R. (2017). Transgenic papaya: a useful platform for oral vaccines. *Planta*, 1037-1048.
- Hipertextual. (2018). *Victoria ecologista: la modificación con CRISPR se regula como si fueran transgénicos*. Obtenido de Victoria ecologista: la modificación con CRISPR se regula como si fueran transgénicos: Victoria ecologista: la modificación con CRISPR se regula como si fueran transgénicos
- Iáñez Pareja, E., & Moreno, M. (1997). Promesas y conflictos de la I.G. vegetal. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 30.

- Ibarra, J., & Castro, C. (2015). Mitos y realidades sobre las plantas transgénicas resistentes a insectos. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 13-23.
- Iermanó, M., & Oyhamburu, M. (2015). A5-610 Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos en la agricultura extensiva de Buenos Aires, Argentina. *congreso latinoamericano de agroecología la plata argentina*, 6.
- INIFAP. (2015). *Desarrolla el INIFAP 10 variedades de frijol resistente a plagas*. Obtenido de Desarrolla el INIFAP 10 variedades de frijol resistente a plagas: <http://www.2000agro.com.mx/biotecnologia/desarrolla-el-inifap-10-variedades-de-frijol-resistente-a-plagas/>
- INIFAP. (2015). el arte en la ciencia y tecnología para la producción y procedimiento de *Jatropha no toxica* . *science an technology*, 3-110.
- INIFAP. (2017). Desarrolla el INIFAP 10 variedades de frijol resistente a plagas. *Revista industrial del campo*.
- INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATION. (2016). *Principales cultivos transgénicos*. Obtenido de Principales cultivos transgénicos: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/pptslides/default.asp>
- International service for the Acquisition of Agri-Biotech application. (2017). *lista de genes* . Obtenido de lista de genes : <https://isaaa.org/gmapprovaldatabase/geneslist/default.asp>
- ISAAA. (15 de Noviembre de 2007). Obtenido de <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf>
- ISAAA. (2017). *lista de genes*. Obtenido de lista de genes: <https://isaaa.org/gmapprovaldatabase/geneslist/default.asp>
- Lammoglia Cobo, M., Lozano Reyes, R., & Avilez-Bahena, C. M. (2016). La revolución en ingeniería genética:sistema CRISPR/Cas. *Investigacion en discapacidad*, 116-128.
- Lamprea Bermúdez, N., & Lizarazo Cortés, O. (2016). Tecnología CRISPR/CAS9 presente y futuro en biotecnología, y controversias de sus patentes. *Boletín virtual*.
- Láñez Pareja, E. (2017). *Biotecnología y Tercer Mundo*. Obtenido de Biotecnología y Tercer Mundo: https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/tercer_mundo.htm
- Lara, M. d. (2006). No hay evidencia científica sobre daños de los organismos genéticamente modificados. *Universia.net*, 1.
- Lazos Chavero, E. (2015). Riesgos en la introducción del maíz transgénico: discursos y controversias. *repositorio universitario digital*.
- Ling Liang , G., Ying Wen, X., Yuan-Biao, W., Li, C., Jin feng , S., & Wei, W. (2012). Isolation and Characterization of a Temperature-Regulated Microsomal Oleate Desaturase Gene (CtFAD2-1) from Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plant Molecular Biology Reporter*, 391-402.
- López Bucio, J., & Herrera Estrella, L. (2000). Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nature Biotechnology*, 450-453.

- Macias-De la Cerda, C. G., Cantú-Iris, M., & Cruz-Requena, M. (2012). Transgenic sequences detected in corn, soybean and cotton grains imported to Mexico. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 38-45.
- Mala Garcia , B. (2015). papa resistente a virus. *crítica y propuesta*.
- Manuel, & Robert. (1999). *Biotecnología de plantas y sus aplicaciones a la agricultura en México*. Obtenido de Biotecnología de plantas y sus aplicaciones a la agricultura en México:
<http://www.infoasercia.gob.mx/claridades/revistas/077/sup077.pdf>
- Marvier, M., McCreedy, C., Regetz, J., & Kareiva, P. (2007). A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates. *science*.
- Massieu Trigo, Y., Chauvet, M., Castañeda Zavala, Y., Barajas Ochoa, R. E., & González Aguirre, R. L. (2000). Consecuencias de la biotecnología en México:el caso de los cultivos transgénicos. *redalyc*, 150-152.
- Mendoza-Herrer, A., Fernández-Dávila, S., & Cruz-Hernández, M. A. (2016). Bacterial diversity in the rhizosphere of a transgenic versus a conventional maize (*Zea mays*). *Phyton*, 210-217.
- Mesa García , O. (2016). LA TRAZABILIDAD COMO INSTRUMENTO DE GARANTÍA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA . *revista de derecho civil* , 109-138 .
- Mexicana, Biodiversidad. (2016). *Convenio Sobre La Biodiversidad Biologica*. Obtenido de Convenio Sobre La Biodiversidad Biologica:
<http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/convencion-cancun.html>
- Ministerio de ambiente . (2017). *Sistemas Productivos Sostenibles y Conservación de la Biodiversidad en el Corredor Biológico Mesoamericano* . Obtenido de Sistemas Productivos Sostenibles y Conservación de la Biodiversidad en el Corredor Biológico Mesoamericano : <http://www.miambiente.gob.pa/index.php/en/2013-02-20-08-59-23/avisos-y-eventos/otros-sitios/1350-proyecto-spscb>
- Miranda, J., & Suárez, R. (2007). A bifunctional TPS-TPP enzyme from yeast confers tolerance to multiple and extreme abiotic-stress conditions in transgenic *Arabidopsis*. *Planta*, 1411-1421.
- Monsanto. (2014). Monsanto la semilla del diablo. *Esther Vivas* , 2.
- Montes García, N., Williams Alanis, H., Arcos Cavazos, G., Vargas Valero, E., Pecina Quintero, V., & Espinosa Ramírez, M. (2014). RB-Norteño, sorgo de grano para áreas con sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , 1337-1342.
- Mora Avilés, M. A., & Espinosa Huerta, E. (2015). FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CV. FLOR DE MAYO ANITA CON TOLERANCIA DE AMPLIO ESPECTRO A HONGOS FITOPATÓGENOS. Obtenido de FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CV. FLOR DE MAYO ANITA CON TOLERANCIA DE AMPLIO ESPECTRO A HONGOS FITOPATÓGENOS:
<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/Fomento-investigacion/sala-exhibicion.virtual/Poster-inifap.pdf>
- Mora, A. A., & Earle, E. D. (2001). Resistance to *Alternaria brassicicola* in transgenic broccoli expressing a *Trichoderma harzianum* endochitinase gene. *Molecular Breeding*, 1-9.
- Muñoz, M. (2017). *El futuro de la biotecnología en México*. Obtenido de El futuro de la biotecnología en México:

- <http://newsnet.conacytprensa.mx/index.php/documentos/32797-el-futuro-de-la-biotecnologia-en-mexico>
- NCBI. (10 de Abril de 2008). *Toxicity and characterization of cotton expressing Bacillus thuringiensis Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests*. Obtenido de Toxicity and characterization of cotton expressing Bacillus thuringiensis Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18459423>
- Niblett, C. L., & Bailey, A. M. (2012). *Potential applications of gene silencing or RNA interference (RNAi) to control disease and insect pests of date palm*. USA: Food Agric.
- Nicolia, A., Manzo, A., & Verone, F. (2013). An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety. *critical reviews*.
- Nodari, R. O. (2009). CALIDAD DE LOS ANÁLISIS DE RIESGO E INSEGURIDAD DE LOS TRANSGÉNICOS PARA LA SALUD AMBIENTAL Y HUMANA. *Salud Publica*, 9.
- Norero, D. (2015). *Un almuerzo transgénico reductor del colesterol, hipertensión, riesgo de cáncer y alto en omega-3*. Obtenido de Un almuerzo transgénico reductor del colesterol, hipertensión, riesgo de cáncer y alto en omega-3: <http://www.siquierotransgenicos.cl/2015/09/10/un-almuerzo-transgenico-reductor-del-colesterol-hipertension-riesgo-de-cancer-y-alto-en-omega-3/>
- Norero, D. (06 de 18 de 2017). Obtenido de <http://www.argenpapa.com.ar/noticia/4291-papa-transgenica-muestra-alta-resistencia-al-hongo-del-tizon-tardio-en-uganda>
- Norero, D. (18 de 08 de 2017). *Qué dice la evidencia científica sobre la seguridad de los cultivos y alimentos transgénicos*. Obtenido de Qué dice la evidencia científica sobre la seguridad de los cultivos y alimentos transgénicos: <http://www.siquierotransgenicos.cl/2015/01/02/que-dice-la-evidencia-cientifica-sobre-la-seguridad-de-los-cultivos-y-alimentos-transgenicos/>
- NORMA Oficial Mexicana. (2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5328792&fecha=03/01/2014
- notimex. (2014). *Limón mexicano muestra resistencia a plaga devastadora*. Obtenido de <http://pulsoslp.com.mx/2014/05/30/limon-mexicano-muestra-resistencia-a-plaga-devastadora/>
- Notimex. (2014). *México desarrolla una variedad de frijol resistente a enfermedades*. Obtenido de México desarrolla una variedad de frijol resistente a enfermedades: <https://www.20minutos.com.mx/noticia/b110936/mexico-desarrolla-una-variedad-de-frijol-resistente-a-enfermedades/>
- Núñez, J., & Bernal, R. (2015). *Beneficios y riesgos del Maíz transgénico en México*. Obtenido de Beneficios y riesgos del Maíz transgénico en México: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/MT_Debate_transgenicos_Guiageneral_V001_23oct14_29090.pdf
- Oliver Quintián, I. (2017). *Silencio informativo: El caso de Monsanto y el diario El País*. Obtenido de Silencio informativo: El caso de Monsanto y el diario El País: https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/64667/silencioinformativo_monsanto.pdf?sequence=1

- ONU. (2017). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Obtenido de Convenio sobre la Diversidad Biológica:
<http://www.un.org/es/events/biodiversityday/convention.shtml>
- Organización de las Naciones Unidas. (2001). Los organismos genéticamente modificados, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente . *Dirección de Información de la FAO*, 34.
- Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. (2017). *Declaración de la FAO sobre biotecnología*. Obtenido de Declaración de la FAO sobre biotecnología: <http://www.fao.org/biotech/fao-statement-on-biotechnology/es/>
- Organización mundial de la salud. (2016). *Biotecnología moderna de los alimentos, salud y desarrollo humano: estudio basado en evidencias*. Mexico: Avenue Appia.
- Ortega Ramírez, R. (2017). Maíz transgénico: Riesgos y beneficios. *Revista Universidad de Sonora*, 41-43.
- Otero, A. (20 de Diciembre de 2017). *FAS-USDA Agricultural Biotechnology Annual Mexico*. Obtenido de FAS-USDA Agricultural Biotechnology Annual Mexico: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Agricultural%20Biotechnology%20Annual_Mexico%20City_Mexico_7-15-2015.pdf
- Peraza-Echeverria, S., Garcia-Bastidas, F., Mengersen, K., & Waterhouse, P. (2015). Transgenic Cavendish bananas with resistance to Fusarium wilt tropical race 4. *Nature Communications*, 233-243.
- Porta, H., Jiménez, G., Cordoba, E., León, P., Soberón, M., & Bravo, A. (2011). Tobacco plants expressing the Cry1AbMod toxin suppress tolerance to Cry1Ab toxin of *Manduca sexta* cadherin-silenced larvae. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 513-519.
- PROMÉXICO. (2016). *BIOTECNOLOGÍA*. Obtenido de BIOTECNOLOGÍA: <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/biotecnologia.pdf>
- Red de acción en la agricultura alternativa. (Diciembre de 2007). *DIAGNÓSTICO SOBRE AL SITUACIÓN DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS*. Obtenido de DIAGNÓSTICO SOBRE AL SITUACIÓN DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/8DBED8A146AD3530052574AC006BE910/\\$FILE/Diagn%C3%B3stico_situaci%C3%B3n_ogm_en_Per%C3%BA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/8DBED8A146AD3530052574AC006BE910/$FILE/Diagn%C3%B3stico_situaci%C3%B3n_ogm_en_Per%C3%BA.pdf)
- Rodríguez, P. (2017). PLANTAS TRANSGENICAS:UNA REVISIÓN DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO. *e-GNOSIS* , 22.
- Romero Polanco, E. (2002). *Un siglo de agricultura en Mexico*. México: Printed in Mexico.
- Romo, A. (5 de Octubre de 2011). Alfonso Romo: el Bejarano de los empresarios. *SDP noticias* .
- Rubio, B. (1991). Desarrollo del capital en la agricultura mexicana y biotecnología. *Sociologica*, 16.
- Ruiz Funes , M. (7 de 11 de 2013). Transgénicos: beneficios y riesgos potenciales. *El Financiero* , pág. 1.

- SAGARPA. (2014). *México avanza en la investigación contra el HLB*. Obtenido de México avanza en la investigación contra el HLB: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2014/06/03/mexico-avanza-en-la-investigacion-contra-el-hlb/>
- SAGARPA. (2016). *FONDO SAGARPA*. Obtenido de FONDO SAGARPA: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos-sectoriales-constituidos/convocatoria-sagarpa-conacyt/convocatorias-cerradas-sagarpa-conacyt/2016-01-sagarpa-conacyt>
- SAGARPA. (2017). *Convenio De La Diversidad Biologica*. Obtenido de Convenio De La Diversidad Biologica: <https://www.gob.mx/sagarpa>
- Sánchez González, J., Rodríguez, F. A., Gutiérrez Hernández, G. F., Varela Gómez, E. J., & Oyervides García, M. (1996). *Los cultivos del futuro*. Mexico: Jilguera S.A de CV.
- Sánchez García , A., Moreno-Pérez , A. J., Muro Pastor , A. M., Martínez Force, E., & Gaces, G. (2010). Acyl-ACP thioesterases from castor (*Ricinus communis* L.): An enzymatic system appropriate for high rates of oil synthesis and accumulation. *Phytochemistry*, 860-869.
- Sánchez García , A., Moreno-Pérez, A. J., & Martínez Force , E. (2010). *Phytochemistry*, 860-869.
- Santamarta, J. (2004). *Los transgénicos En El Mundo*. Obtenido de Los transgénicos En El Mundo: <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/trans.pdf>
- Satorre, E. (2005). Cambios tecnológicos En La Argentina Actual. *Ciencia Hoy*, 8.
- Schaafsma, A. W., Sears, M. K., & Kullik, S. A. (2010). Sublethal Effects of Cry 1F Bt Corn and Clothianidin on Black Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Larval Development. *Entomological Society of America*, 484- 493.
- scopus. (2018). *investigacion sobre los cultivos genéticamente modificados*. Obtenido de investigacion sobre los cultivos genéticamente modificados: [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5267079&fecha=06/09/2012](https://servicioar.pbidi.unam.mx/cgi-bin/ezpmysqlssl.cgi?url=https://www.scopus.com/results/handle.uri?sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=cl&sid=920108b227bcba63bfef8f8be50203db&s=TITLE-ABS-KEY%28transgenic%29&sl=25&origin=resultsAnalyzer&cluster=scoaffilctry%2c%Secretaria De Gobernación . (2012). <i>Diario Oficial De La Federación</i>. Obtenido de Diario Oficial De La Federación: <a href=)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Normas Oficiales Mexicanas*. Obtenido de Normas Oficiales Mexicanas: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105139/Normas_Oficiales_Mexicanas.pdf
- SENASICA. (2017). *MANEJO DEL RIESGO* . Obtenido de MANEJO DEL RIESGO : <http://publico.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=32559&IdUrl=94007&objeto=Documento&IdObjetoBase=32559&down=true>.
- SNICS. (2017). *Bioseguridad*. Obtenido de Bioseguridad: <http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/Paginas/Bioseguridad.aspx>
- SNITT. (2018). *Planeacion agricola nacional*. Obtenido de Planeacion agricola nacional: <http://www.amexagro.mx/agricola/>

- Soberon , M., Gao, Y., & Bravo, A. (2015). *BT resistance-Characterization and Strategies For GM Crops Producing Bacillus thuringiensis Toxins* . México: CAB International 2015.
- Soledad Parada, M. S. (2011). *Organismos genéticamente modificados su impacto socioeconómico en la agricultura de los países de la Comunidad Andina, Mercosur y Chile*. Chile: Naciones Unidas.
- Thilmony, R., Thomson, J. G., & Collier, R. (2018). A versatile and robust Agrobacterium-based gene stacking system generates high-quality transgenic Arabidopsis plants. *the plant journal*.
- Torrez Cruz., I. (14 de 03 de 2012). *Los transgénicos pueden tener riesgos, pero científicos aprueban su uso*. Obtenido de Los transgénicos pueden tener riesgos, pero científicos aprueban su uso: <https://www.expoknews.com/los-transgenicos-pueden-tener-riesgos-pero-cientificos-aprueban-su-uso-premio-principe-de-asturias/>
- Tribe, D. (2016). *GMO Pundit a.k.a*. Obtenido de GMO Pundit a.k.a: <http://gmopundit.blogspot.mx/>
- Turrent-Fernández, A., Serratos-Hernández, , J. A., & Mejía-Andrade, H. (2009). Propuesta de cotejo de impacto de la acumulación de transgenes en el maíz (*Zea mays* L.) nativo Mexicano. *Agrociencia*, 257-265.
- Umaña, J. (23 de Junio de 2016). *papaya transgénica le da vuelta al mundo* . Obtenido de papaya transgénica le da vuelta al mundo : <https://www.stopogmpacifico.org/2016/06/23/la-papaya-transg%C3%A9nica-le-da-la-vuelta-al-mundo/>
- UNAM. (2016). *ciclo del nitrógeno*. Obtenido de ciclo del nitrógeno: http://www.academia.edu/23100667/Ciclo_nitrogeno_UNAM
- UNIDAS, N. (2017). PROTOCOLO DE CARTAGENA. *centro de noticia ONU*, 1.
- Unión Mundial para la Naturaleza. (2004). *Organismos Genéticamente Modificados y Bioseguridad*. Obtenido de Organismos Genéticamente Modificados y Bioseguridad: <http://www.lacbiosafety.org/wp-content/uploads/2011/09/organismos-geneticamente-modificados-y-bioseguridad1.pdf>
- USDA. (2012). Enhancing Coexistence A Report of the AC21 to the Secretary of Agriculture . *Committee on Biotechnology*, 3-61.
- USDA. (2018). *Técnicas para la transferencia de múltiples genes*. Obtenido de Técnicas para la transferencia de múltiples genes: <https://www.ars.usda.gov/news-events/news/research-news/2018/innovative-approach-to-breeding-could-mean-higher-yields-and-better-crops/>
- Van Deynze, A., Zamora, P., Marc Delaux, P., Heitmann, C., & Jayaraman, D. (2018). Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. *PLoS Biol*, 16(8).
- Varma, A., Jain, R. K., & Bhat, A. I. (2002). Virus Resistant Transgenic Plants for Environmentally Safe Management of Viral Diseases. *NISCAIR-CSIR*, 73-86.
- Vasil, I. K., Fromm, M. E., & Castillo, A. M. (2011). Herbicide Resistant Fertile Transgenic Wheat Plants Obtained by Microprojectile Bombardment of Regenerable Embryogenic Callus. *nature biotechnology*.

-
- Vital López, L., & Cruz-Hernández, M. A. (2015). Bacterial diversity in roots of conventional and genetically modified hybrid maize. *Phyton*, 233-243.
- Zamora , A. (28 de Mayo de 2013). *Fundación Antama analiza con la Fundación Concorde los beneficios de los cultivos transgénicos en España*. Obtenido de Fundación Antama analiza con la Fundación Concorde los beneficios de los cultivos transgénicos en España: <http://fundacion-antama.org/fundacion-antama-analiza-con-la-fundacion-concorde-los-beneficios-de-los-cultivos-transgenicos-en-espana/>
- Zapata, F. B. (22 de 08 de 2017). *Facultad de quimica, Instituto de Biotecnología de la UNAM*. Obtenido de Facultad de quimica, Instituto de Biotecnología de la UNAM.: <https://quimica.unam.mx/evidencia-cientifica-danos-a-la-salud-los-ogm-francisco-bolivar/>