

Índice

02 INTRODUCCIÓN

- 02** Biotecnología tradicional y biotecnología moderna
- 03** Aplicaciones de la biotecnología moderna y la ingeniería genética

06 MÓDULO 1. BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA MODERNA

- 06** La biotecnología vegetal y sus objetivos
- 07** ¿Cómo se obtiene una planta transgénica?
- 08** Características modificadas en la plantas transgénicas
- 13** Beneficios de los cultivos transgénicos
- 15** Evaluación de la seguridad de los cultivos transgénicos

17 MÓDULO 2. PANORAMA MUNDIAL

- 17** Superficie con cultivos transgénicos
- 22** Mercado de semillas transgénicas
- 22** Situación de los eventos transgénicos autorizados

23 MÓDULO 3. REGULACIÓN

- 23** Marco Regulatorio en Chile
- 25** Marcos Regulatorios en otros países

29 MÓDULO 4. PANORAMA NACIONAL

33 MÓDULO 5. ORGANIZACIONES INTERNACIONALES FRENTE A LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS

36 MÓDULO 6. CASOS CONTROVERTIDOS

- 36** Alergenicidad
- 39** Resistencia a antibióticos
- 40** Publicaciones científicas

47 MÓDULO 7. BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA ON-LINE

51 MÓDULO 8. GLOSARIO



Introducción

1. Biotecnología tradicional y biotecnología moderna

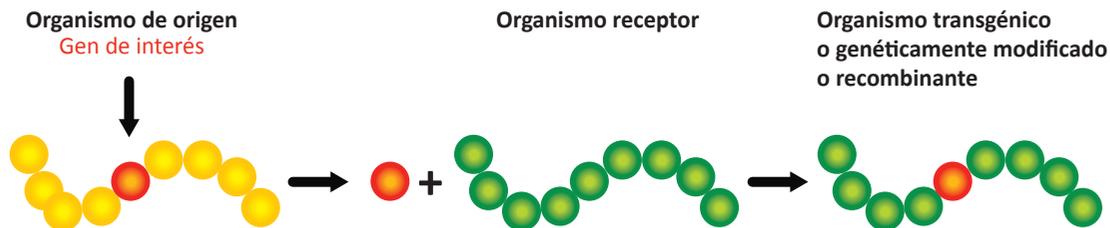
La biotecnología puede definirse como el empleo de organismos vivos para la obtención de un bien o servicio útil para el hombre. Así, la biotecnología tiene una larga historia, que se remonta a la fabricación del vino, el pan, el queso y el yogurt. El descubrimiento que el jugo de uva fermentado se convierte en vino, que la leche puede convertirse en queso o yogurt, o que se puede hacer cerveza fermentando soluciones de malta y lúpulo, fue el comienzo de la biotecnología, hace miles de años.

El primer uso conocido de la biotecnología ocurrió en China, 500 años AC. Aunque en ese entonces los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, podían utilizarlos para su beneficio. Estas aplicaciones constituyen lo que se conoce como biotecnología tradicional, que se basa en la obtención y utilización de los productos de ciertos microorganismos.

Hoy en cambio los científicos comprenden cómo ocurren estos procesos biológicos, lo que les ha permitido modificarlos o imitarlos para obtener mejores productos. Saben, además, que los microorganismos producen compuestos químicos claves para la industria (aminoácidos, ácidos orgánicos, alcoholes) y enzimas que pueden emplearse eficientemente en diversos procesos, como la fabricación de detergentes, papel y medicamentos.

La biotecnología moderna surge en la década de los '80, y utiliza técnicas, denominadas en su conjunto "ingeniería genética", para modificar y transferir genes de un organismo a otro. De esta manera es posible producir insulina humana en bacterias y, consecuentemente, mejorar el tratamiento de la diabetes. Mediante ingeniería genética también se ha posibilitado que hoy se produzca y se obtenga a partir de microorganismos la quimosina bovina, enzima clave para la fabricación del queso y que evita el empleo del cuajo en este proceso. La ingeniería genética también es hoy una herramienta fundamental para el mejoramiento de los cultivos vegetales. Por ejemplo, es posible transferir un gen proveniente de una bacteria a una planta, tal es el ejemplo del maíz transgénico resistente a insectos, conocido como maíz Bt. En este caso, bacterias del suelo producen una proteína que controla a las larvas de un insecto que normalmente ataca al maíz. Al transferirle el gen correspondiente a esta proteína, el maíz puede sintetizar esta proteína y así resistir a la plaga.

Ingeniería Genética



La ingeniería genética o metodología del ADN recombinante permite transferir genes de un organismo a otro mediante herramientas de biología molecular.

2. Aplicaciones de la biotecnología moderna y la ingeniería genética

En la actualidad, en el área médica se utilizan una serie de proteínas provenientes de organismos transgénicos (técnicamente proteínas recombinantes) para el tratamiento de distintas enfermedades. Por ejemplo, la diabetes es tratada con insulina humana producida en bacterias (es decir insulina obtenida a partir de bacterias transgénicas) permitiendo tratar esta enfermedad a bajo costo.

Existe una diversidad de proteínas recombinantes que se emplean como fármacos para el tratamiento de diversas patologías en seres humanos. También pueden producirse antígenos y anticuerpos como proteínas recombinantes, que se emplean en sistemas de diagnóstico de diversas enfermedades en Chile y el mundo.

Por otro lado, algunas enzimas y aditivos utilizados en el procesamiento de los alimentos se obtienen desde hace años mediante técnicas de ADN recombinante, es decir se obtienen a partir de organismos transgénicos.

Por su parte, la modificación genética en la fabricación del vino se ha aplicado a las levaduras viníferas. Existen algunas levaduras transgénicas que permiten la producción de ácido láctico para mejorar problemas de baja acidez. Otro ejemplo son las levaduras transgénicas que llevan a cabo la fermentación maloláctica (conversión del ácido málico en ácido láctico), la cual produce una disminución de la acidez y una mayor estabilidad microbiológica del vino. También existen levaduras transgénicas capaces de incrementar los aromas varietales por medio de la liberación de terpenos.

En el caso de la producción de cerveza se ha incorporado a algunas levaduras genes procedentes de *Trichoderma reesei* o de *T. longibrachiatum* que expresan una enzima β -glucanasa que resuelve un problema importante de la fabricación de la cerveza como es el representado por la colmatación y acúmulo de β -glucanos procedentes de la cebada, que exige la limpieza de los tanques y un importante gasto desde el punto de vista técnico.

También se han obtenido cepas de levadura de cerveza que portan un gen de por *Saccharomyces diastaticus* que expresa una glucoamilasa, la cual se caracteriza por degradar las dextrinas y el almidón, responsables de la gran carga energética de la cerveza (especialmente de algunos tipos) obteniéndose de esta manera un tipo de cerveza baja en calorías.

En la actualidad se investiga, también, cómo obtener alcohol procedente de maíz, no a partir de la fermentación del almidón del grano, sino a partir de restos de hojas, cañas y otros residuos fibrosos que permanecen en el campo después de la cosecha, mediante la utilización de una levadura modificada genéticamente que, además de la glucosa, también degrada la xilosa.

PROTEÍNAS OBTENIDAS A PARTIR DE ORGANISMOS TRANSGÉNICOS UTILIZADAS EN LA MEDICINA

PRODUCTO	SISTEMA DE PRODUCCIÓN	ENFERMEDAD
FACTORES DE COAGULACIÓN		
Factor VIII	Células de mamífero	Hemofilia A
Factor IX	Células de mamífero	Hemofilia B
Factor VIIa	Células de mamífero	Ciertas formas de hemofilia
ANTICOAGULANTES		
Activador del plasminógeno tisular	Células de mamífero	Infarto de miocardio
Activador del plasminógeno tisular	Bacterias	Infarto de miocardio
Hirudina	Levaduras	Trombocitopenia y prevención de trombosis
HORMONAS		
Insulina	Bacterias / Levaduras	Diabetes mellitus
Hormona de crecimiento	Bacterias	Deficiencia de la hormona en niños, acromegalia, síndrome de Turner
Folículo-estimulante	Células de mamífero	Infertilidad, anovulación y superovulación
Paratiróidea	Bacterias	Osteoporosis
Gonadotrofina coriónica	Células de mamífero	Reproducción asistida
Tirotrófina	Células de mamífero	Detección /tratamiento de cáncer de tiroides
Luteinizante	Células de mamífero	Ciertas formas de infertilidad
Calcitonina	Bacterias	Enfermedad de Paget
Glucagon	Levaduras	Hipoglucemia
FACTORES HEMATOPOYÉTICOS		
Eritropoyetina (EPO)	Células de mamífero	Anemia
Factor estimulante de colonias de granulocitos/macrófagos (GM-CSF)	Bacterias	Netropenia, trasplante autólogo de médula
INTERFERÓN E INTERLEQUINAS		
Interferón alfa (IFN alfa)	Bacterias	Hepatitis B y C, distintos tipos de cáncer
Interferón beta (IFN beta)	Células de mamífero	Esclerosis múltiple
Interferón gamma (IFN gamma 1b)	Bacterias	Enfermedad granulomatosa crónica
Interleuquina 2 (IL-2)	Bacterias	Cáncer de riñón
VACUNAS		
Anti-hepatitis B	Levaduras	Inmunización contra la hepatitis B
Anti-hepatitis A	Levaduras	Inmunización contra la hepatitis A
Anti-enfermedad de Lyme	Bacterias	Inmunización contra la enfermedad de Lyme
ANTICUERPOS MONOCLONALES RECOMBINANTES		
Anti-IgE (recombinante)	Células de mamífero	Asma
Anti-TNF (recombinante)	Células de mamífero	Artritis reumatoidea
Anti-IL2	Células de mamífero	Prevención rechazo agudo trasplante de riñón
OTROS PRODUCTOS RECOMBINANTES		
Proteína morfogénica del hueso-2	Células de mamífero	Fractura de tibia
Galactosidasa	Células de mamífero	Enfermedad de Fabry
Iaronidasa	Células de mamífero	Mucopolisacaridosis
Proteína C	Células de mamífero	Sepsis severa
Beta-glucocerebrosidasa	Bacterias	Enfermedad de Gaucher
DNAsa	Células de mamífero	Fibrosis quística

En otro ámbito de aplicación, mientras que otras monedas usan distintas composiciones, los billetes de euro están elaborados exclusivamente de algodón, materia que el Banco Central Europeo (BCE) importa principalmente de Estados Unidos, país donde casi el 93% de los cultivos de algodón son transgénicos y donde no se separa el producto convencional del genéticamente modificado. La Unión Europea exige que los alimentos que proceden de organismos transgénicos estén etiquetados, sin embargo el algodón transgénico (empleado sobre todo como fibra) no precisa ningún etiquetado como tampoco lo precisan los billetes de euro. Sin ir más lejos, en Chile los antiguos billetes de mil, dos mil, cinco mil, diez mil y veinte mil pesos y los nuevos billetes de diez mil y veinte mil pesos son elaborados en base a fibra de algodón, y más del 80% del algodón mundial es transgénico.

En relación a los detergentes, hoy podemos lavar nuestra ropa en agua fría gracias a los organismos transgénicos. En la industria de los detergentes y jabones para la ropa se utilizan enzimas provenientes de diferentes microorganismos extremófilos (que viven en ambientes extremos, como las bajas temperaturas de la Antártida) como biocatalizadores

que quitan las manchas a bajas temperaturas. En principio, los propios organismos extremófilos eran la fuente de donde se extraían las enzimas, sin embargo luego se clonaron los genes relacionados a dichas enzimas y actualmente se las produce a escala industrial en bacterias que sobre-producen la enzima de interés en biorreactores.

Del mismo modo, la ingeniería genética es hoy una de las herramientas fundamentales para el mejoramiento de los cultivos vegetales. En este contexto, se estima que los cultivos transgénicos autorizados y los alimentos e ingredientes derivados de éstos, luego de 17 años de consumo a nivel global, se encuentran en más del 60% de los alimentos elaborados disponibles en los supermercados. Para el 2011 se estimó que el 75% de la producción mundial de soja fue soja transgénica, como a su vez el 32% del maíz, el 26% de la canola y el 82% del algodón.

ALGUNAS ENZIMAS RECOMBINANTES (TRANSGÉNICAS) DESTINADAS A LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

PRODUCTO	SISTEMA DE PRODUCCIÓN	FUNCIÓN O USO
Quimosina	Hongos	Coagular la leche en la producción de quesos
α -amilasa	Bacterias	Licuar el almidón y convertirlo en dextrina en la producción de jarabes. En la industria cervecera, favorece la retención de la humedad del producto y baja el contenido calórico del producto
Pectinasas	Hongos	Clarificar jugos concentrados al degradar las pectinas provenientes de restos de semillas
Glucosa oxidasa y catalasa	Hongos	Eliminar azúcares de huevos y evitar que aparezcan olores anormales durante la deshidratación de los mismos. Además se utilizan como pretratamiento para la pasteurización de huevos
Lipasas	Hongos	fabricación de concentrados de aceites de pescado
Glucosa isomerasa	Hongos	Permite obtener, a partir de glucosa, jarabes ricos en fructosa, con mayor poder endulzante
β -glucanasa	Levaduras	En la industria cervecera facilita la filtración del producto

Biotecnología Agrícola Moderna

1. La biotecnología vegetal y sus objetivos

A sí como la ingeniería genética se emplea para introducir genes en los microorganismos para que produzcan medicamentos o enzimas industriales, también sirve para incorporar nuevos genes a las plantas con el fin de mejorar los cultivos. Uno de los objetivos de esta tecnología es aumentar la productividad de los cultivos contribuyendo a una agricultura sustentable. De esta forma se busca producir más, usar menor superficie agrícola, disminuir los costos de producción, utilizar prácticas más amigables con el medio ambiente (en comparación a la

agricultura convencional), y obtener productos de mejor calidad. También se propone mejorar los alimentos, eliminando sustancias tóxicas o alergénicas, modificando la proporción de ciertos componentes o aumentando el valor nutricional de las materias primas vegetales. Otra aplicación de la biotecnología vegetal es el empleo de las plantas como biorreactores o fábricas para la producción de medicamentos, anticuerpos, vacunas, biopolímeros y biocombustibles.

Objetivos de la biotecnología vegetal y el mejoramiento genético

■ Mejoras agronómicas:

Resistencia a plagas o enfermedades, tolerancia a herbicidas, mayor rendimiento, tolerancia a sequía, salinidad, heladas, etc. Los cultivos que actualmente se comercializan en el mundo pertenecen a este grupo de mejoras: soja tolerante a glifosato, maíz resistente a insectos, entre otros.

■ Mejores alimentos:

Mayor contenido proteico, de azúcar o vitaminas, composición de ácidos grasos más saludable, menor cantidad de alérgenos o toxinas. Ya están llegando al mercado algunos alimentos de este tipo, como soja con alto contenido de ácido oleico y maíz rico en lisina, y hay una extensa lista de desarrollos que incluye al arroz dorado (con beta caroteno), soja con omega 3, papa y batata con más proteínas, maní hipoalergénico, etc.

■ Obtención de moléculas industriales:

Producción de vacunas, medicamentos, bioplásticos, entre otros compuestos de valor industrial. Aún no hay productos comerciales de este tipo.

Hoy la ingeniería genética se suma a las prácticas convencionales empleadas en el mejoramiento de los cultivos. En este sentido, esta metodología ofrece algunas ventajas respecto al mejoramiento genético basado en el cruzamiento, entre las que se puede destacar la posibilidad de saltar

la barrera de especie (por ejemplo, un gen de una bacteria puede incorporarse al genoma de la soja) y de introducir un único gen de forma precisa, preservando en la descendencia el resto de los caracteres deseados de la planta original.

2. ¿Cómo se obtiene una planta transgénica?

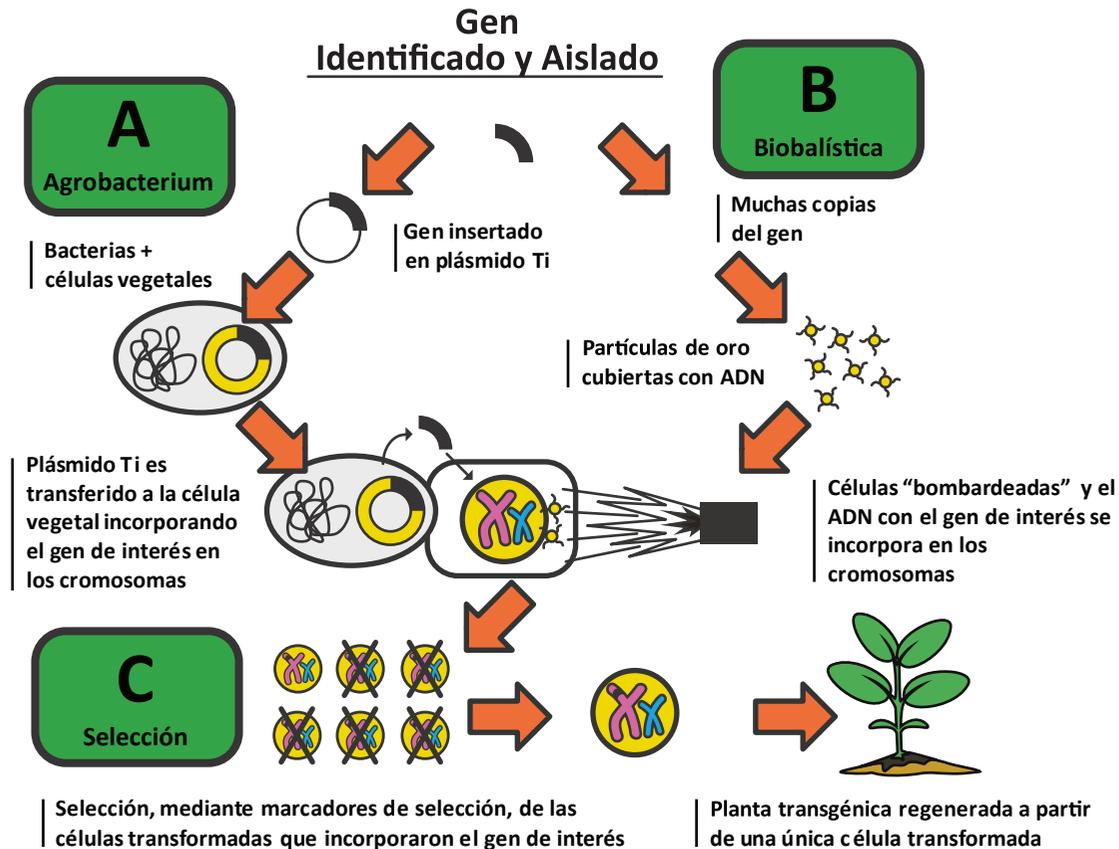
La primera etapa del proceso de obtención de una planta transgénica se denomina transformación genética. En muchas especies vegetales es posible introducir genes a través de una bacteria del suelo, llamada *Agrobacterium tumefaciens*. Durante la infección, esta bacteria le transfiere a la planta un fragmento de su propio ADN, que termina integrándose en algún cromosoma de la célula vegetal. Mediante ingeniería genética se puede insertar un gen de interés en este ADN, para que sea también transferido a la célula vegetal e insertado en el genoma de la planta. Sin embargo, no todas las especies pueden ser transformadas usando *A. tumefaciens*. Por eso se ha desarrollado un método alternativo, denominado “bombardeo con micropartículas” (también llamado biolística o biobalística). En este método, se recubren micropartículas de oro o de tungsteno con el ADN, las cuales son aceleradas en una “pistola” para adquirir suficiente velocidad y poder penetrar la célula vegetal.

(además del gen de interés se introducen otros genes, denominados “marcadores de selección” que le confieren resistencia a las células que los llevan). Las células vegetales son totipotentes, es decir, una célula de cualquier parte de la planta puede multiplicarse y generar la planta completa. Para eso, las células transformadas se cultivan en el laboratorio hasta regenerar plantas completas, que tienen en todas sus células el gen de interés.

Posteriormente, mediante mejoramiento genético tradicional se logra la incorporación del gen de interés en las variedades de valor comercial que requieren los agricultores.

Después de la transformación (usando biolística o *A. tumefaciens*), las células que recibieron el gen de interés se seleccionan empleando antibióticos o herbicidas en el medio de cultivo

Transformación genética de plantas por Agrobacterium (A) o por biobalística (B)



3. Características modificadas en la plantas transgénicas

Desde 1987, los científicos han desarrollado y evaluado en el campo, plantas transgénicas que pueden tolerar herbicidas, resistir el ataque de insectos o virus y producir frutos con mejores características nutricionales o flores de otros colores, entre otras.

Como ejemplo de ello existen plantas de maíz

que producen una proteína insecticida con resistencia al gusano barrenador del maíz y tomates que pueden mantenerse maduros por más tiempo en el estante antes de ser transportados.

Hasta el momento la transformación genética se ha utilizado para mejorar la resistencia a plagas, la tolerancia a herbicidas y el valor nutricional del alimento.

a. Cultivos resistentes a insectos (Bt)

La denominación Bt deriva de *Bacillus thuringiensis*, una bacteria común del suelo y cuyas esporas contienen proteínas tóxicas sólo para las larvas de ciertos insectos. El gen responsable de la síntesis de esta proteína se ha identificado y hoy los científicos han logrado encontrar diferentes tipos de estos genes, los cuales producen proteínas denominadas Cry con acción específica contra diferentes tipos de insectos.

Los cultivos Bt fueron genéticamente modificados para producir en sus tejidos proteínas Cry. Así, cuando las larvas intentan alimentarse de alguna parte de la planta, mueren. Estas proteínas Cry, se activan en el sistema digestivo del insecto y se adhieren a su epitelio intestinal, alterando el equilibrio osmótico del intestino, produciendo la muerte del insecto. Las proteínas Cry son muy específicas para determinados tipos de insectos, siendo inocuas para mamíferos, pájaros e insectos

“no-blanco”. Por ejemplo, las proteínas Cry expresadas en plantas transgénicas son inocuas para las abejas. En el hombre tampoco causan daño pues nuestro intestino carece de los receptores para esta proteína. Además, las proteínas Cry solamente actúan en medios alcalinos, como el del intestino del insecto, y no en ácidos, como el del hombre.

Los beneficios de los cultivos Bt se basan en la posibilidad de expresar el potencial de rendimiento en presencia de la plaga y una disminución en el número de aplicaciones de insecticidas, lo que constituye un beneficio económico y ambiental. Se ha demostrado además que el maíz Bt contiene niveles mucho menores de micotoxinas, en comparación con el maíz no Bt, y esto es debido a que al no haber daño por insectos en las plantas, no hay forma de que los hongos productores de estas toxinas, muy peligrosas para la salud humana y animal, las infecten.

b. Cultivos tolerantes a herbicidas (TH)

El crecimiento de las malezas disminuye drásticamente el rendimiento y la calidad de los cultivos. Muchos herbicidas sirven para un determinado tipo de malezas y suelen dejar residuos que permanecen en el suelo por años. El empleo de cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas resuelve estos problemas, ya que estos cultivos son tolerantes a los herbicidas glifosato o glufosinato, ambos de amplio espectro (es decir, eliminan a todas las malezas, exceptuando aquellas plantas tolerantes a

dichos herbicidas) y de menor efecto residual que los herbicidas tradicionales. Además, los cultivos tolerantes a glifosato facilitan la siembra directa (y el doble cultivo trigo soja), con los consecuentes beneficios económicos y ambientales derivados de esta práctica.

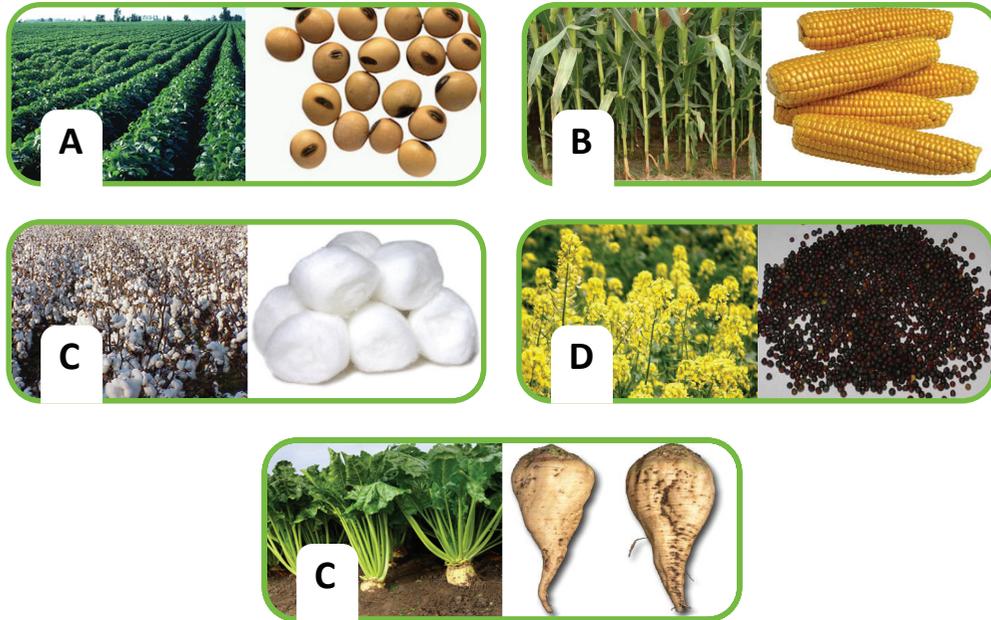
En las plantas, la enzima 3-enolpiruvilshiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS) es clave para la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina, triptófano). Esta enzima

sólo está presente en plantas y microorganismos, y ausente en animales y humanos. En la década del '70 se descubrió que el glifosato podía inhibir a la enzima EPSPS, impidiendo la producción de aminoácidos aromáticos. Su poder herbicida radica en que los aminoácidos son esenciales para la síntesis proteica, y ésta a su vez es fundamental para el crecimiento y las funciones de las plantas. Las plantas tolerantes a glifosato tienen el gen *epsps* de la cepa CP4 de la bacteria del suelo

Agrobacterium tumefaciens. Como la enzima EPSPS producida en esta cepa bacteriana no es afectada por el glifosato, su introducción en el genoma de las plantas las vuelve tolerantes al herbicida. Uno de los nombres comerciales del glifosato es "Roundup", por eso, quienes desarrollaron esta tecnología denominaron a los cultivos tolerantes al glifosato "Roundup Ready", o RR.



Ejemplos de cultivos transgénicos resistentes a insectos disponibles comercialmente en la actualidad son el maíz y el algodón: A) larva de gusano dañando una mazorca de maíz; B) comparación de maíz Bt (arriba) y maíz convencional (abajo) luego del ataque de insectos; C) comparación de la contaminación con micotoxinas entre maíz Bt (izquierda) y maíz no Bt (derecha); D) larva de gusano dañando una planta de algodón; E) vista aérea de un campo de algodón dañado por insectos (derecha) y algodón transgénico resistente al ataque de esos insectos (izquierda)



Ejemplos de cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas disponibles comercialmente en la actualidad son: A) soja; B) maíz; C) algodón; D) canola; E) remolacha azucarera.

c. Resistencia a virus

La biotecnología ofrece alternativas, que permiten insertar en las plantas genes que codifican la proteína de la cubierta de los virus (cápside), los cuales al ser transferidos mediante métodos de ingeniería genética en las plantas expresan la proteína y confieren la resistencia. Otros métodos incluyen la “tecnología del ARN anti-sentido”.

Ejemplos de cultivos transgénicos con la característica de resistencia a virus disponibles comercialmente son la papaya hawaiana y una variedad de zapallo italiano (zucchini).

d. Maduración retardada

La maduración de las frutas es un proceso fisiológico y molecularmente complejo que produce el ablandamiento de las paredes celulares y que afecta el color, sabor y aroma de los productos.

Este proceso es inducido por la producción de una hormona vegetal, el etileno. La biotecnología ofrece una alternativa para retardar la maduración y consiste en interferir en la producción de etileno para lograr que las frutas permanezcan más tiempo con el sabor y color. El bloqueo de la producción de etileno se logra por “mediante la tecnología “anti-sentido” que consiste en la

neutralización de la expresión del gen.

A pesar de no ser un cultivo disponible comercialmente en la actualidad, un ejemplo de cultivo transgénico con características de maduración retardada es el tomate.

e. Resistencia a condiciones ambientales extremas

Este tipo de resistencia permite obtener cultivos capaces de desarrollarse en sitios desérticos, con altas concentraciones de sal y bajas o altas temperaturas.

Por ejemplo, las plantas contienen compartimentos denominados vacuolas, donde es posible colocar el exceso de sal para que no se afecte el funcionamiento del resto de la célula. La biotecnología permite que las células depositen la sal en estas vacuolas a través de la inserción de genes que codifican una proteína encargada de bombear la sal de las partes de la célula a la vacuola.

Productos que se encuentran en desarrollo son un tomate tolerante a heladas, maíz, soja y trigo tolerante a sequía.

f. Mejora nutricional

La biotecnología permite aumentar los contenidos vitamínicos de ciertos cultivos. Por ejemplo, el arroz es fortificado con un precursor de la vitamina A (β -caroteno) para contribuir a solucionar la deficiencia de esta vitamina que causa ceguera en niños.

Los investigadores insertaron al arroz un gen

precursor de la vitamina A y modificaron la ruta de síntesis del β -caroteno con dos genes procedentes de otras especies.

Otro grano que ha recibido una mejora en su contenido nutricional es el maíz, que gracias a la modificación genética cuenta con un mayor contenido de vitamina E. Este maíz posee un gen de cebada que incrementa seis veces el contenido de vitamina E, un poderoso antioxidante que favorece la respuesta inmune. Adicionalmente, existe un maíz con mayor contenido de lisina, uno de los 9 aminoácidos esenciales para los seres humanos (se considera esencial porque no es sintetizado por las células humanas, y por tanto debe ingerirse con la dieta).

Por su parte, se ha modificado un tomate para que produzca un mayor contenido de folato. A este tomate se le transfirió un gen bacteriano para la producción del precursor del ácido fólico (Vitamina B12), cuya deficiencia se asocia con anemias.

La yuca es un alimento básico para millones de personas en el África subsahariana, América del Sur y algunas partes de Asia. La raíz de yuca, es rica en hidratos de carbono y almidón, pero baja en proteínas y vitaminas. Científicos han desarrollado un mecanismo para fortalecer la yuca con suficientes proteínas, vitaminas y minerales para proporcionar un alimento lo suficientemente nutritivo.

Los investigadores han desarrollado también variedades de yuca que producen menos cianógenos, compuestos que pueden

desencadenar la producción de cianuro, yucas con más contenido de hierro y zinc, y carotenoides y terpenoides buscando fortalecer la planta con vitaminas A y E.

4. Beneficios de los cultivos transgénicos

Considerando sólo los seis cultivos transgénicos más importantes (soja, maíz, algodón y canola tolerantes a herbicidas; maíz y algodón resistentes a insectos), los cultivos transgénicos han proporcionado beneficios económicos valorados en aproximadamente US\$ 78.000 millones entre 1996 y 2010. Un 40% de ellos se derivaron de la reducción de los costos de producción (menos arado y menos aplicación de plaguicidas) y un 60% de los importantes incrementos de productividad, cifrados en 276 millones de toneladas (Brooks & Barfoot 2012; James 2011). La creciente evidencia muestra que la biotecnología agrícola ha beneficiado a los agricultores, especialmente en los países en vías de desarrollo, mejorando los rendimientos de los cultivos y las ganancias económicas. Como ejemplo, 49 publicaciones científicas dan cuenta de 168 encuestas realizadas a cientos de agricultores alrededor del mundo, donde un 74% de estas indica un impacto positivo sobre los rendimientos y un 72% señala un impacto positivo de los cultivos transgénicos en los resultados económicos de los agricultores (Carpenter 2010).

Por otro lado, los cultivos transgénicos han favorecido la conservación de la biodiversidad por medio del ahorro de suelos, ya que han permitido incrementar la productividad de los

cultivos y, con ello, prevenir la deforestación y la alteración de otros refugios naturales. Los países en desarrollo pierden unos 13 millones de hectáreas anuales de bosques tropicales ricos en biodiversidad. Si entre 1996 y 2010 no se hubieran producido 276 millones de toneladas adicionales de alimentos, forrajes y fibra gracias a los cultivos transgénicos, hubieran hecho falta otros 91 millones de hectáreas de cultivos convencionales para producir el mismo tonelaje. Es probable que parte de esos 91 millones de hectáreas hubieran sido tierras marginales frágiles, no adecuadas para la producción agrícola, que hubieran tenido que ser aradas, así como bosques tropicales, ricos en biodiversidad, que hubieran tenido que ser talados para dejar paso a la agricultura en los países en desarrollo, destruyendo así dicha biodiversidad (Brooks & Barfoot 2012; James 2011).

La agricultura convencional ha causado importantes impactos ambientales y su huella ecológica puede reducirse utilizando la biotecnología. Entre los progresos realizados hasta la fecha cabe señalar:

- notable reducción del uso de plaguicidas;
- ahorro de combustibles fósiles;
- descenso de las emisiones de CO₂ reduciendo o eliminando el arado;
- conservación del suelo y de la humedad optimizando las prácticas agrícolas sin labranza gracias a la aplicación de la tolerancia a herbicidas.

En relación con los plaguicidas, la reducción acumulada entre 1996 y 2010 se cifra en un 9,1% o 443 millones de kilogramos de principio activo (kg p.a.). Esto equivale a reducir un 17,9% el impacto ambiental provocado por la aplicación de plaguicidas a estos cultivos, según el «cociente de impacto ambiental» (EIQ por sus siglas en inglés): un indicador compuesto basado en los diversos factores que contribuyen al impacto ambiental neto de un determinado principio activo. Los datos de 2010 reflejan una reducción de 43,2 millones de kg p.a. (un 11,1% de los plaguicidas aplicados) y una reducción del 26,1% del EIQ (Brooks & Barfoot 2012; James 2011).

La urgente preocupación por el medio ambiente tiene implicaciones para los cultivos transgénicos, que contribuyen a reducir los gases de efecto invernadero y a enfrentar los desafíos climáticos. El primero es el descenso permanente de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), reduciendo el consumo de combustibles fósiles gracias a la menor aplicación de insecticidas y herbicidas; se calcula que en 2010 se evitó la emisión de 1.700 millones de kg de CO₂, lo cual equivale a retirar 800.000 automóviles de las carreteras. Segundo, el empleo de métodos de labranza mínima con cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas (que necesitan poco o nada de arado) evitó en 2010 la emisión de otros 17.600 millones de kg de CO₂, lo cual equivale a reducir el parque de automóviles en 7.900.000 unidades. La reducción combinada de emisiones equivale al secuestro de 19.000 millones de kg de CO₂ o a la desaparición de 9 millones de vehículos por un año.

Aumentar la eficiencia del consumo de agua tendrá importantes repercusiones para la conservación y disponibilidad de este recurso en todo el mundo. La agricultura consume actualmente el 70% del agua dulce del planeta, y es evidente que esto no se podrá sostener en el futuro cuando la población aumente casi un 50% hasta superar los 9.000 millones de habitantes en 2050. Está previsto que los primeros híbridos de maíz biotecnológico con cierto grado de tolerancia a la sequía se comercialicen en Estados Unidos en 2013, y que el primer maíz tropical tolerante a la sequía llegue al África Subsahariana en 2017. Se confía en que la tolerancia a la sequía sea de gran ayuda para aumentar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en todo el mundo, sobre todo en los países en desarrollo, donde las sequías son más frecuentes y severas que en los países industrializados.

Los pronósticos apuntan a que las sequías, las inundaciones y las variaciones térmicas serán cada vez más frecuentes y severas y, por tanto será necesario acelerar los programas de mejoramiento de cultivos para desarrollar variedades e híbridos que se adapten adecuadamente a los rápidos cambios de las condiciones climáticas.

Existen otros enfoques biotecnológicos, como el cultivo de tejidos, los diagnósticos, la genómica y la selección asistida por marcadores moleculares (MAS), que pueden utilizarse para agilizar el desarrollo de nuevas variedades. Los cultivos transgénicos ya contribuyen a reducir las emisiones de CO₂, porque eliminan la necesidad de arar una parte importante de la tierra

cultivada, conservando el suelo y especialmente la humedad y reduciendo la aplicación de plaguicidas, además de secuestrar CO₂.

En resumen, los cultivos transgénicos han demostrado su capacidad para contribuir a la sostenibilidad y hacer frente a los desafíos climáticos. Los cultivos transgénicos pueden aumentar la productividad y la renta notablemente y, por tanto, pueden ser un motor de crecimiento económico rural que contribuya a mejorar las condiciones de vida de los pequeños agricultores.

5. Evaluación de la seguridad de los cultivos transgénicos

Antes de ser autorizados para su siembra, consumo y comercialización, los cultivos transgénicos son evaluados exhaustivamente siguiendo un proceso particular. Este proceso se denomina “evaluación de riesgo” y se basa en un enfoque comparativo, que se realiza empleando criterios científicos consensuados internacionalmente. Cabe destacar que la evaluación de riesgo se lleva a cabo “caso a caso”.

Para la evaluación de riesgo se considera los genes introducidos y las proteínas nuevas, la historia de uso de la proteína introducida, de qué organismo proviene, en qué órganos de la planta se fabrica, y la estabilidad genética de la característica introducida.

Desde el punto de vista agronómico, se compara el cultivo transgénico con su par convencional, considerando aspectos morfológicos y

fisiológicos de la planta, su potencial de sobrevivir como maleza, la producción y viabilidad del polen, y la transferencia de genes a plantas silvestres. También se estudia la posible toxicidad de la proteína nueva y del cultivo transgénico para los organismos benéficos y no blanco y su degradabilidad en el suelo. Estos estudios permiten demostrar que el comportamiento agronómico del cultivo transgénico es equivalente a su par convencional, salvo en la característica introducida.

Con respecto a los riesgos derivados del consumo humano o animal de los cultivos transgénicos, la evaluación debe asegurar que la modificación genética no haya provocado la aparición de toxinas o alérgenos, y que la composición y aptitud nutricional del alimento sean iguales a las de sus pares convencionales. Cuando los cambios en la composición del alimento son intencionales (por ej. modificación de ácidos grasos) debe estudiarse el balance nutricional más en detalle, sobre todo si se pretende que el nuevo producto reemplace al convencional.

Es importante señalar que no existen riesgos de toxicidad o alergenicidad especialmente relacionados con la presencia de material genético (ADN) en los alimentos derivados de cultivos transgénicos, ya que es químicamente igual al material genético de nuestras células. Por otro lado, el material genético ingerido es degradado en el sistema digestivo y no hay ninguna evidencia que algún fragmento de ADN pueda integrarse en cromosomas durante los procesos digestivos. Finalmente, hay cierta preocupación sobre la posibilidad de que el uso de marcadores de selección en las plantas transgénicas pueda aumentar la resistencia a antibióticos en las

poblaciones de microorganismos patógenos de humanos. Esa posibilidad es extremadamente remota, comparada con el aumento de resistencia provocada por el uso de los antibióticos en la medicina. Sin embargo, se trata de desarrollar cultivos transgénicos con otros tipos de marcadores no relacionados con los antibióticos corrientes.

En este contexto y en base a toda la evidencia técnica y científica disponible, se puede afirmar:

1. Tras 17 años de producción masiva a nivel global, todos los cultivos transgénicos disponibles comercialmente han demostrado ser inocuos dentro de lo esperado en base a la evaluación de riesgo desarrollada de forma previa a su autorización de uso. A pesar de lo anterior, la inocuidad alimentaria debe ser, y es, evaluada caso a caso.
2. Los alimentos derivados de los cultivos transgénicos son los alimentos más estudiados en la historia de la humanidad y son sometidos a rigurosos análisis y extensos estudios que determinan su seguridad, los cuales son la base para permitir su comercialización.
3. En la mayoría de los casos lo consumido no corresponde al producto cosechado en el campo, sino más bien corresponde a sus subproductos (azúcar, aceites de canola y soya, lecitina de soya, jarabe de maíz, etc.), los cuales no contienen genes. Es decir, no existen diferencias entre un subproducto proveniente de un cultivo transgénico y aquellos derivados de cultivos no transgénicos.
4. Los cultivos transgénicos no son más invasores, ni persistentes, ni tienen una mayor capacidad de convertirse en malezas que sus equivalentes convencionales.
5. Los cultivos transgénicos tienen la misma posibilidad que las variedades de cultivos tradicionales de transferir genes a especies emparentadas (transferencia horizontal de genes).
6. Los efectos secundarios que se han descubierto hasta la fecha a nivel de laboratorio, con evaluaciones sobre exageradas o que no ocurren en la naturaleza, no han revelado ningún problema a nivel de ecosistema y por ende no tienen significancia biológica.

Referencias:

Brookes G, Barfoot P. 2012. GM Crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2010. PG Economics Ltd. Dorchester, UK. www.pgeconomics.co.uk

Carpenter JE. 2010. Peer-reviewed surveys indicate positive impact of commercialized GM crops. Nat Biotechnol. 28(4):319-21.

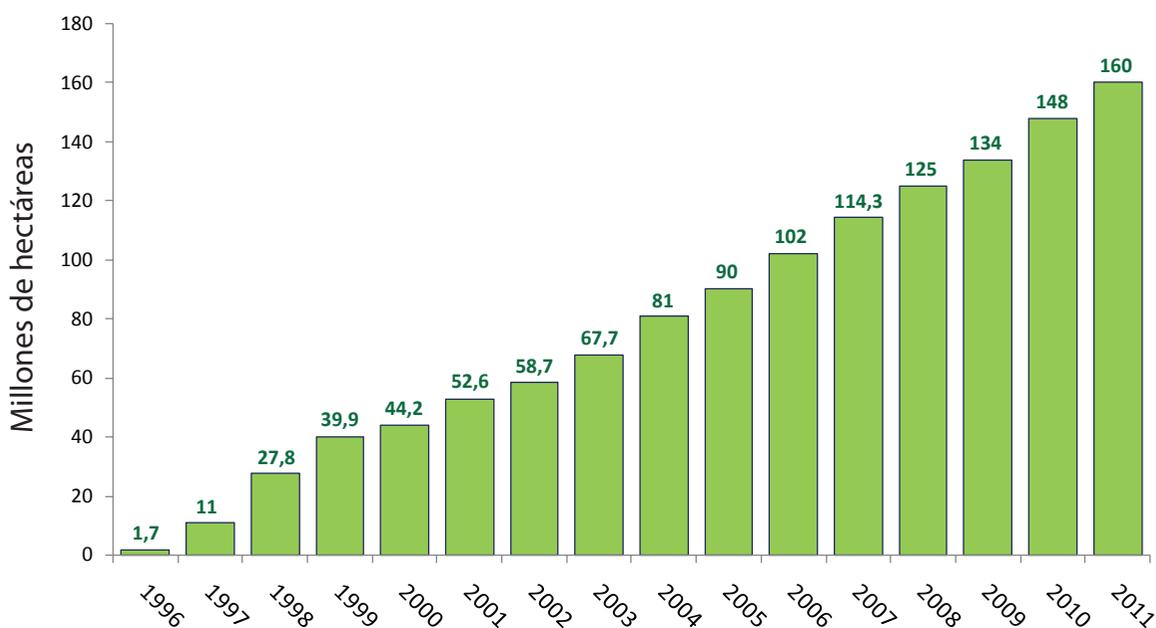
James C. 2011. Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/transgénicos en 2011. ISAAA Resumen Ejecutivo n°43 (<http://www.isaaa.org/>)

Panorama Mundial

1. Superficie con cultivos transgénicos

Según el informe del ISAAA (Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas), en 2011 se sembraron en todo el mundo 160 millones de hectáreas con cultivos transgénicos, un 8% (12 millones de hectáreas) más que en 2010. Los 1,7 millones de hectáreas de 1996 se han multiplicado por 94, hasta alcanzar los 160 millones en 2011, dato que convierte a los cultivos transgénicos en la tecnología que más rápida aceptación ha encontrado en la historia de la agricultura moderna. A nivel global, las 160 millones de hectáreas de cultivos transgénicos representan un 11% de las 1.500 millones de hectáreas destinadas para siembra de cultivos (James 2011).

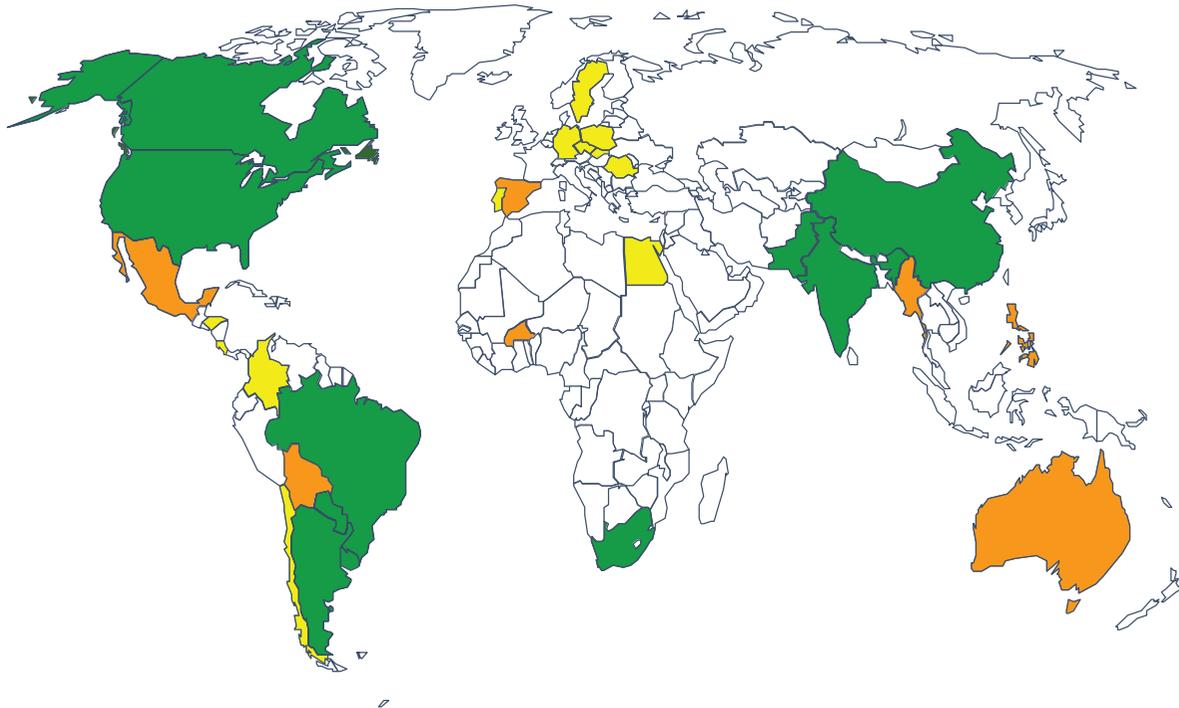
Evolución de la superficie mundial con cultivos transgénicos.



Hay que destacar que 19 de los 29 países productores de cultivos biotecnológicos en 2011 eran países en desarrollo, mientras que los otros 10 eran países industrializados. Los 10 primeros países cultivaron más de 1 millón de hectáreas cada uno, sentando las bases para el futuro crecimiento de una biotecnología agrícola diversificada en todo el mundo; de hecho, los nueve primeros cultivaron más de 2 millones de hectáreas. En estos 29 países vive más de la mitad de la población mundial (el 60 % o 4.000 millones de personas).

En 2011, se alcanzó la cifra récord de 16,7 millones de agricultores productores de cultivos transgénicos, lo que supone un crecimiento del 8% (1,3 millones) con respecto a 2010. Más del 90% (15 millones) eran pequeños agricultores en países en desarrollo.

Países que produjeron cultivos transgénicos durante el 2011



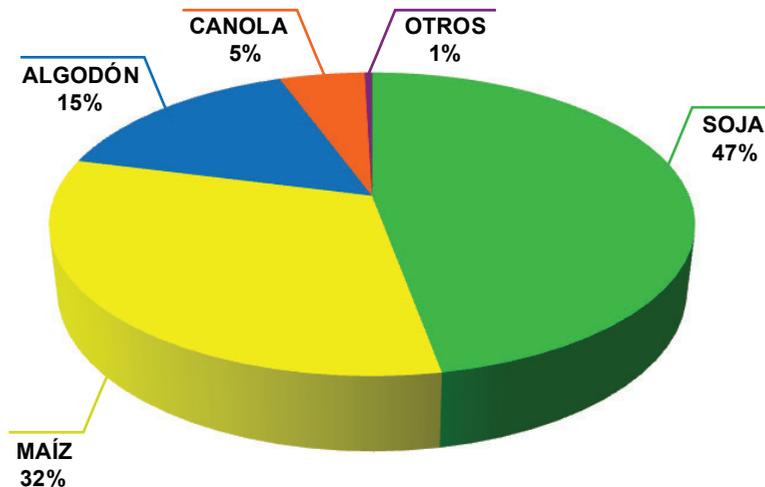
- Países con más de 1 millón de hectáreas (10)
- Países con 100.000 - 900.000 hectáreas (7)
- Países con menos de 100.000 hectáreas (12)

La soja ha seguido siendo el principal cultivo transgénico en 2011, con 75,4 millones de hectáreas que representan el 47% de la superficie agrobiotecnológica mundial, seguida del maíz (51 millones de hectáreas o el 32 %), el algodón (24,7 millones de hectáreas o el 15 %) y la canola (8,2 millones de hectáreas o el 5 %).

Desde que comenzó la comercialización en 1996, el evento dominante ha sido siempre la tolerancia a herbicidas. En 2011, la tolerancia a herbicidas en soja, maíz, canola, algodón, remolacha azucarera y alfalfa ocupó 93,9 millones

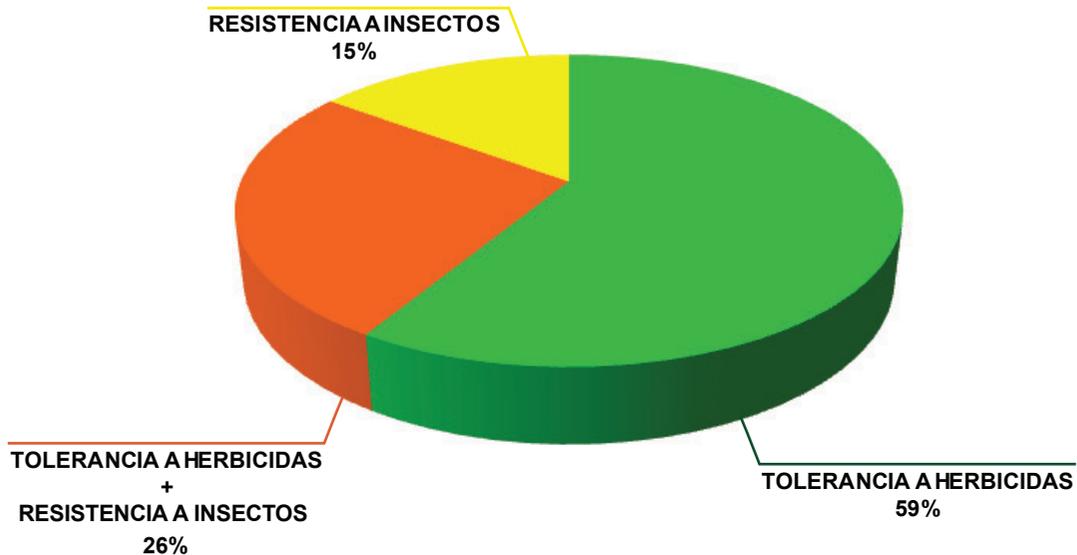
de hectáreas o el 59% de los 160 millones de hectáreas agrobiotecnológicas del mundo. Los productos de dos y tres eventos apilados ocuparon mayor superficie (42,2 millones de hectáreas o el 26% de la superficie agrobiotecnológica mundial) que las variedades resistentes a insectos (23,9 millones de hectáreas o el 15%). Los productos de eventos apilados fueron los preferidos por los agricultores, como refleja el hecho de que fueran el grupo de productos de más rápido crecimiento entre 2010 y 2011, con un 31 % frente al 5 % de la tolerancia a herbicidas y al 10 % de la resistencia a insectos.

Distribución por Cultivos



Área global con cultivos transgénicos, por cultivo (sobre 160 millones de hectáreas). También se sembraron pequeñas áreas de remolacha azucarera y alfalfa tolerantes a herbicidas, papaya y zapallo italiano resistentes a virus, álamo resistente a insectos y papa sin amilosa para uso industrial. Fuente ISAAA 2011.

Distribución por Cultivos



Área global con cultivos transgénicos, por característica (sobre 160 millones de hectáreas). También se sembraron pequeñas áreas de papaya y zapallo italiano resistentes a virus y papa sin amilosa para uso industrial. Fuente ISAAA 2011.

Los países en desarrollo se aproximaron al 50% (49,875% exactamente) de la producción agrobiotecnológica mundial en 2011 y, por primera vez, las previsiones indican que superarán el número de hectáreas de los países industrializados en 2012.

Los cultivos transgénicos crecieron el doble en los países en desarrollo que en los países industrializados, con un 11% (8,2 millones de hectáreas) y un 5% (3,8 millones) respectivamente.

En 2011, 12 países sembraron cultivos transgénicos con al menos dos eventos (eventos apilados) y 9 de ellos eran países en desarrollo. De los 160

millones de hectáreas agrobiotecnológicas cultivadas en todo el mundo, 42,2 millones (el 26 %) fueron de eventos apilados, frente a los 32,3 millones de 2010 (que eran el 22 % de 148 millones de hectáreas).

Cuadro 1. Superficie agrobiotecnológica mundial en 2011: desglose por países (M ha)**

Nº	País	Superficie (M ha)	Cultivos biotecnológicos
1	EE.UU.*	69,0	Maíz, soja, algodón, cánola, remolacha azucarera, alfalfa, papaya y calabaza
2	Brasil*	30,3	Soja, maíz y algodón
3	Argentina*	23,7	Soja, maíz y algodón
4	India*	10,6	Algodón
5	Canadá*	10,4	Cánola, maíz, soja y remolacha azucarera
6	China*	3,9	Algodón, papaya, álamo, tomate y pimiento morrón
7	Paraguay*	2,8	Soja
8	Pakistán*	2,6	Algodón
9	Sudáfrica*	2,3	Maíz, soja y algodón
10	Uruguay*	1,3	Soja y maíz
11	Bolivia*	0,9	Soja
12	Australia*	0,7	Algodón y canola
13	Filipinas*	0,6	Maíz
14	Myanmar*	0,3	Algodón
15	Burkina Faso*	0,3	Algodón
16	México*	0,2	Algodón y soja
17	España*	0,1	Maíz
18	Colombia	< 0,1	Algodón
19	Chile	< 0,1	Maíz, soja y cánola
20	Honduras	< 0,1	Maíz
21	Portugal	< 0,1	Maíz
22	Rep. Checa	< 0,1	Maíz
23	Polonia	< 0,1	Maíz
24	Egipto	< 0,1	Maíz
25	Eslovaquia Ru-	< 0,1	Maíz
26	mania	< 0,1	Maíz
27	Suecia	< 0,1	Patata
28	Costa Rica	< 0,1	Algodón y soja
29	Alemania	< 0,1	Patata
Total		160	

* 17 países superproductores de cultivos biotecnológicos, con un mínimo de 50.000 hectáreas

** Cifras redondeadas en centenares de miles

Fuente: Clive James, 2011.

2. Mercado de semillas transgénicas

Se calcula que el mercado de semillas transgénicas alcanzó un valor global de 13.200 millones de dólares en 2011, mientras que el valor del producto final de grano comercial de cultivos transgénicos de maíz, soja y algodón se cifra, como mínimo, en unos 160.000 millones de dólares anuales. Un estudio estima que el descubrimiento, desarrollo y autorización de cada nuevo cultivo o evento transgénico cuesta unos 135 millones de dólares.

Según las estimaciones de la empresa Cropnosis, el mercado agrobiotecnológico mundial alcanzó en 2011 un valor de 13.200 millones de dólares (frente a los 11.700 millones de 2010); esto representa el 22% del mercado de protección de cultivos valorado en 59.600 millones de dólares y el 36% del mercado de semillas comerciales valorado en 37.000 millones. La estimación de ingresos globales generados a nivel de explotación por la cosecha de “producto final” comercial (el grano transgénico y otros productos de la cosecha) supera con mucho el valor de la semilla transgénica por sí sola (13.200 millones de dólares): extrapolando los datos de 2008, el valor de la cosecha mundial de productos agrobiotecnológicos habría alcanzado los 160.000 millones de dólares en 2010 y se calcula que esta cifra aumentará a razón de un 10% o 15% anual.

3. Situación de los eventos transgénicos autorizados

Si bien son 29 los países que sembraron cultivos transgénicos comerciales en 2010, otros 31 países han autorizado la importación de cultivos de este tipo para uso alimentario y forrajero y para su liberación al medio ambiente desde 1996.

En total, se han otorgado 1.045 autorizaciones para 196 eventos en 25 cultivos a nivel mundial. De este modo, la importación de cultivos transgénicos para consumo humano y animal y para su liberación al medio ambiente está aceptada en 60 países, algunos de ellos grandes importadores de alimentos como Japón, que no produce transgénicos. La lista de 60 países que han autorizado cultivos transgénicos está encabezada por Estados Unidos, seguido de Japón, Canadá, México, Corea del Sur, Australia, Filipinas, Nueva Zelanda, la Unión Europea y Taiwán. El cultivo con mayor número de eventos aprobados es el maíz (65), seguido del algodón (39), la canola (15), la papa y la soja (14 cada uno). El evento que ha recibido autorización en mayor número de países es la soja tolerante a herbicidas GTS-40-3-2, con 25 autorizaciones, seguido del maíz resistente a insectos MON 810, con 23 autorizaciones, el maíz tolerante a herbicidas NK603, con 22 autorizaciones, y el algodón resistente a insectos MON1445, con 14 autorizaciones en todo el mundo.

Referencias:

James C. 2011. Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/transgénicos en 2011. ISAAA Resumen Ejecutivo n°43 (<http://www.isaaa.org/>)

Regulación

1. Marco Regulatorio en Chile

El Ministerio de Agricultura propone la política sectorial sobre cultivos transgénicos, con consulta a los diferentes actores. Por su parte, el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, servicio dependiente del Ministerio de Agricultura, tiene la facultad de regular los cultivos transgénicos a través de la aplicación del Decreto Ley N° 3.557/82, de Protección Agrícola, y sus modificaciones Ley N° 18.755/89, Ley N° 19.558/98 y Ley N° 20.161/07.

El SAG, a través de la Resolución Exenta N° 6966 del año 2005, crea el Comité Técnico de OGM y su Secretaría Técnica. La Secretaría Técnica, conformada tanto por expertos del SAG, como por asesores externos, es la responsable de realizar los análisis de riesgo caso a caso. Para ello se analizan las solicitudes junto a la documentación anexa y, posteriormente, se prepara un informe que recomienda a las divisiones técnicas respecto de la decisión a tomar.

Para cada aprobación en particular, el SAG dicta una resolución que establece, entre otros aspectos, la cantidad de material de propagación autorizado de importar (en el caso que corresponda), lugar específico dentro del país donde se multiplicará la semilla, medidas de bioseguridad y destino de los remanentes y/o subproductos.

En el sector silvoagropecuario, el Ministerio de Agricultura ha autorizado la multiplicación de

material vegetal genéticamente modificado de propagación (semillas), previa evaluación caso a caso y cumpliendo las medidas de bioseguridad establecidas por la autoridad. Después de una serie de modificaciones realizadas a la normativa desarrollada en el país desde el año 1992, fecha de la primera solicitud de internación, actualmente son tres las resoluciones que regulan los transgénicos en el sector silvoagropecuario, las que se señalan a continuación:

a. Resolución Exenta N° 1523 del año 2001, que establece normas para la internación e introducción al medio ambiente de organismos vegetales vivos modificados de propagación (OVVM).

La normativa para OVVM de propagación abarca: importación; multiplicación en campo; cosecha; exportación de la producción, medida de resguardo para los remanentes, subproductos y desechos.

b. Resolución Exenta N° 3970 del año 1997, que establece autorización para consumo animal de maíz transgénico con modificaciones para resistencia a insectos (Bt), a glufosinato de amonio (Basta) y a glifosato (Roundup).

c. Resolución Exenta N° 3136 del año 1999, que establece normas generales de bioseguridad para los productos farmacéuticos de uso veterinario desarrollados mediante procesos biotecnológicos y que contienen transgénicos.

d. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300/1994), establece, entre otras materias, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), señalando los proyectos y actividades que deben ser evaluados a través de dicho sistema. Recientemente, en enero del año 2010, se modificó la LBGMA, incorporando al SEIA lo siguiente: “Proyectos de desarrollo, cultivo o explotación, en las áreas mineras, agrícolas, forestales e hidrobiológicas que utilicen organismos genéticamente modificados con fines de producción y en áreas no confinadas. El Reglamento podrá definir una lista de especies de organismos genéticamente modificados que, como consecuencia de su comprobado bajo riesgo ambiental, estarán excluidos de esta exigencia. El mismo reglamento establecerá el procedimiento para declarar áreas como libres de organismos genéticamente modificados”.

e. Norma Técnica 83 del año 2007. En el marco del Reglamento Sanitario de los Alimentos, se dictó la Norma Técnica Administrativa sobre incorporación a nómina de eventos biotecnológicos en alimentos de consumo humano (Norma n°83), la que pretende el adecuado registro en una nómina de productos y componentes asociados a los alimentos que hayan sido originados por medio de la biotecnología moderna. Es decir, se pretende generar una lista de eventos de cultivos transgénicos evaluados y autorizados para su uso en la industria de los alimentos. Con el objeto de asegurar condiciones de inocuidad y características nutricionales, se determinó un procedimiento basado en el conocimiento científico actualmente aceptado, homologado con los Principios y Directrices de la Comisión del Codex Alimentarius para alimentos obtenidos por

medios biotecnológicos. Estas normas consignan la responsabilidad del Instituto de Salud Pública como organismo evaluador, el que deberá recomendar al Ministerio de Salud incorporar o no un determinado evento a la nómina, se basa en el trabajo de un comité que deberá evaluar diferencias y similitudes entre un alimento genéticamente modificado y su homólogo convencional. Entre las dimensiones nutricionales y de inocuidad a evaluar, se debe determinar toxicidad, efectos agudos, alergenicidad y efectos a largo plazo.



2. Marcos Regulatorios en otros países

i) Argentina

El Marco Regulatorio argentino data de 1991, cuando Argentina comenzó a incursionar en el terreno de la biotecnología. En todos estos años el objetivo ha sido siempre el mismo: garantizar que los cultivos transgénicos que se liberen al medio o para consumo sean seguros para el agroecosistema, inocuos para el consumo humano y animal y convenientes desde el punto de vista comercial para el país.

La normativa argentina contempla tres instancias de evaluación:

- La Dirección de Biotecnología y la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) a cargo del análisis de bioseguridad del agroecosistema;
- El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y el Comité Técnico Asesor sobre Uso de Organismos Genéticamente Modificados (CTAUOGM) a cargo de la evaluación de inocuidad alimentaria para consumo humano y animal y;
- El Área de Mercados de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) a cargo de la evaluación del impacto del OGM en los mercados argentinos.

Cada una de estas instancias emite dictámenes no vinculantes e independientes que se presentan ante el Secretario de Agricultura, Ganadería y Pesca, la autoridad competente, quien resuelve otorgar los permisos correspondientes para desarrollar las actividades solicitadas.

Las evaluaciones se basan en el objetivo de la actividad a desarrollarse con el cultivo transgénico. La normativa argentina no sólo contempla el propósito de la actividad sino que además estipula qué evaluaciones son necesarias en cada caso. Por ejemplo, para otorgar un permiso de liberación confinada de un cultivo transgénico se requiere una evaluación favorable desde el punto de vista de bioseguridad del agroecosistema mientras que para otorgar un permiso de comercialización para un cultivo transgénico se requiere un dictamen favorable de cada una de las tres instancias de evaluación.

Las resoluciones que regulan la evaluación y aprobación de los cultivos transgénicos en Argentina son:

- Resolución N° 656/1992 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA): Norma para Experimentación y/o Liberación al Medio de Microorganismos Genéticamente Modificados y/o sus productos para aplicaciones en animales (MGM).
- Resolución N° 39/2003 SAGPyA: Norma para Liberación al Medio de Organismos Vegetales Genéticamente Modificados (OVGM).

- Resolución N° 57/2003 SAGPyA: Norma para Proyectos de Experimentación y/o Liberación al Medio de Animales Genéticamente Modificados (OAGM).
- Resolución N° 226/1997 SAGPyA: Con condiciones experimentales para la distancia de aislamiento para la Liberación al Medio de OVGm.
- Resolución N° 212/2006 SAGPyA: Protocolo para la evaluación de la bioseguridad de la producción de semilla de maíz genéticamente modificado en etapa de evaluación.
- Resolución N° 46/2004 SAGPyA: Registro de Operadores de OVGm.
- Resolución N° 400/2010 SAGyP: Protocolo para la evaluación de la bioseguridad de la producción de semilla de soja genéticamente modificado en etapa de evaluación.
- Resolución N° 412/02 Requisitos para la evaluación de la aptitud alimentaria de los OGM.

establece normas de seguridad y mecanismos de fiscalización de actividades relacionadas con cultivos transgénicos y sus derivados, crea el Consejo Nacional de Bioseguridad (CNBS), reestructura la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CTNBio) – CTNBio, y dispone sobre la Política Nacional de Bioseguridad (PNB).

El Decreto N° 5.591, publicado el 22 de noviembre de 2005, reglamenta la Ley N° 11.105 en sus particularidades de implementación.

Como complemento a las disposiciones legales, existen 8 Resoluciones Normativas y 8 Instrucciones Normativas emitidas por la CTNBio que regulan las actividades de investigación y uso comercial de los cultivos transgénicos en Brasil.

La CTNBio, integrante del Ministerio de la Ciencia y Tecnología, es una instancia colegiada multidisciplinaria, de carácter consultivo y deliberativo, para prestar apoyo técnico y asesoramiento al Gobierno Federal en la formulación, actualización e implementación de la PNB de cultivos transgénicos y sus derivados, así como en el establecimiento de normas técnicas de seguridad, y de parecer técnicos, referentes a la autorización para actividades que envuelvan investigación y uso comercial de cultivos transgénicos y sus derivados, con base en la evaluación de su riesgo zoonosológico, a la salud humana y al medio ambiente.

La CTNBio está compuesta de miembros titulares y suplentes, con un total de veintisiete ciudadanos brasileños de reconocida calificación técnica, de notoria actuación y saber científicos, con grado académico de doctor, y con destacada actividad

ii) Brasil

Las actividades de investigación y uso comercial de cultivos transgénicos, incluidas la importación y exportación, están normadas por la Ley N° 11.105 y por el Decreto N° 5.591.

La Ley N° 11.105, del 24 de marzo de 2005,



profesional en las áreas de bioseguridad, biotecnología, biología, salud humana y animal, o medio ambiente, siendo nueve los representantes de ministerios. Las decisiones de la CTNBio son tomadas como favorables cuando existe mayoría absoluta en los votos de sus miembros.

El CNBS, vinculado a la Presidencia de la República, está compuesto por once ministros de estado y asesora el Presidente de la República en la formulación e implementación de la PNB. Las competencias del CNBS son: fijar principios y directrices para la acción administrativa de los órganos y entidades federales con calificaciones sobre la materia; analizar, a pedido de la CTNBio, en cuanto a los aspectos de la conveniencia y oportunidad socioeconómicas y del interés nacional, los pedidos de liberación para uso comercial de OGM y sus derivados; avocar y decidir, en última y definitiva instancia, con base en la manifestación de la CTNBio y, cuando sea necesario, de los órganos y entidades de registro y fiscalización, en el ámbito de sus calificaciones, sobre los procesos relativos a las actividades que envuelvan el uso comercial de OGM y sus derivados. El CNBS decidirá, a pedido de la CTNBio, sobre los aspectos de conveniencia, oportunidad socioeconómicas y de interés nacional, en la liberación para uso comercial de OGM y sus derivados.

En Brasil existe una norma específica que regula una adecuada coexistencia de la producción comercial de maíz genéticamente modificado con el maíz convencional, establecida por la Resolución Normativa N° 04/07 de la CTNBio. Según esta regla, el agricultor que opta por la siembra de maíz GM debe observar una distancia

mínima de 100 metros de su finca, de otro maíz convencional ubicado en una propiedad vecina. Por otra parte, el agricultor puede adoptar a una distancia mínima de 20 metros con un borde de un mínimo de 10 filas de maíz. El cumplimiento de esta regla es fiscalizada por el MAPA.

iii) Estados Unidos

Según los fines para los cuales se vayan a utilizar los organismos genéticamente modificados, este país cuenta con tres instancias reguladoras: El Departamento de Agricultura, USDA, la Agencia de Protección del Medio Ambiente, EPA, y la Administración de Drogas y Alimentos, FDA.

El USDA regula el cultivo, transporte y la propagación de las plantas.

La EPA autoriza los productos químicos nuevos provenientes de la ingeniería genética para el control de plagas, como es el caso de la toxina Bt.

Finalmente, la FDA regula los alimentos y medicamentos sin discriminar el método de obtención, pues no considera que los alimentos producto de la ingeniería genética sean diferentes a los convencionales.

iv) Unión Europea

La primera legislación comunitaria sobre cultivos transgénicos se aprobó al inicio de los 90 y, a través de la última década, el marco normativo se ha ido ajustando y refinando.

Actualmente, la directiva que rige es la 90/220/CE, la cual ha sido modificada por la directiva

2001/18 /CE, que entró en vigencia el 17 de octubre del 2002.

La normativa vigente establece un proceso de aprobación, paso por paso y caso por caso que tenga en cuenta los riesgos a la salud humana, animal y al medio ambiente que pueda ocasionar cualquier producto que sea o contenga transgénicos.

Una compañía que intenta comercializar un cultivo transgénico debe inicialmente solicitarlo a la autoridad competente nacional del país donde en primer lugar se va a comercializar, presentando un informe de riesgo. Si la autoridad nacional da una opinión favorable, el Estado Miembro informa al resto de países a través de la Comisión. Si no hay objeciones, el producto podrá ser puesto en el mercado en toda la Unión Europea. Por el contrario, si se levanta algún tipo de objeción, la Comisión pedirá opinión a los Comités Científicos.

Si ésta es favorable, la Comisión propondrá una Decisión a un Comité de Regulación. Si dicho Comité de Regulación da una opinión favorable, la Comisión adopta dicha Decisión. Si por el contrario, la opinión del Comité de Regulación no es favorable, la Decisión pasará al Consejo de Ministros, el cual tendrá que adoptarla o rechazarla por unanimidad. Si el Consejo no actúa en un periodo de tres meses, la Comisión puede adoptar dicha decisión.

Panorama Nacional

El panorama nacional es bastante confuso y difícil de explicar.

En Chile existe la resolución 1523 (del 2001) del Servicio Agrícola Ganadero que permite la siembra de semilleros sólo con fines de exportación, por lo que los agricultores nacionales no pueden utilizar las semillas para obtener el producto final en Chile.

Chile no es un país autosuficiente en producción de granos y es un fuerte importador de éstos; o bien de productos derivados de éstos. Se estima que Chile importa más del 50% de sus necesidades de maíz y soja y el principal proveedor es Argentina donde el 100% de la soja sembrada es transgénica y el 92% del maíz. El segundo proveedor es Estados Unidos en que un porcentaje superior al 90% de éstos, son transgénicos. Se debe sumar a esto la importación de subproductos del algodón para la nutrición animal que también es transgénica.

El mundo se encuentra a las puertas de los nuevos eventos transgénicos, que benefician directamente al consumidor como son la soja de alto contenido Omega 3, o de alto contenido de aceite oleico, o para la nutrición de aves y cerdos el maíz de alto contenido en lisina.

Sin embargo, un agricultor nacional, no puede sembrar semillas transgénicas para producir y vender en el mercado interno. Esto hace que su competitividad en relación al agricultor extranjero sea baja y la brecha irá aumentando en la medida

que aparezcan nuevos eventos o usos que son altamente atractivos desde un punto de vista agrícola y de los consumidores.

Sin duda los elementos centrales que harán la diferencia para que Chile sea un país desarrollado son la innovación y la sustentabilidad. Es decir, la diversificación productiva y el aumento de valor de nuestras exportaciones son áreas donde la biotecnología agrícola y los cultivos transgénicos pueden contribuir para aumentar la competitividad de nuestros productos.

Los cultivos transgénicos, según el tipo de cultivo y de la modificación genética, pueden contribuir como una oportunidad para nuestros agricultores (mayores rendimientos y menores costos de producción; aumento de la competitividad), generando beneficios para el medio ambiente (menor uso de agroquímicos en relación con la agricultura convencional para producir una misma cantidad de producto; menor emisión de gases de efecto invernadero asociados al sistema productivo), llevando beneficios para los consumidores (menores costos, calidad nutricional del producto final, aseguramiento de la inocuidad), e incentivando la innovación y desarrollo para necesidades reales de nuestra agricultura.

No es sostenible el negar los beneficios de los cultivos transgénicos y los alimentos derivados de éstos a los consumidores y al medio ambiente por culpa de temores infundados provenientes de agrupaciones que malinterpretan datos científicos,

que extrapolan de forma errada resultados de laboratorio al medio ambiente, que confunden aspectos de inocuidad a la salud (humana o ambiental) con aspectos comerciales como la coexistencia de distintos sistemas productivos (orgánicos v/s transgénicos) y que transmiten desinformación.

Tampoco es adecuado aprobar la biotecnología agrícola y con esto decir sí a todos los cultivos transgénicos. La finalidad es poder utilizar esta herramienta para poder solucionar o satisfacer problemas reales de nuestra agricultura y de nuestros consumidores y así llegar a ser una real potencia agroalimentaria. Por ejemplo, Chile no necesitaría aprobar el uso de soja transgénica ni de algodón transgénico ya que el país no produce estos cultivos.

Por su parte, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha trabajado arduamente y con financiamiento público en mejorar a través de la biotecnología (ingeniería genética) variedades de papa para conferir resistencia a bacterias (*Erwinia carotovora*) y virus (virus Y de la papa y virus X de la papa); melones para introducir resistencia al Virus del Mosaico de la Sandía tipo II (WMV-II); frutales de carozo (duraznos y nectarines) para resistencia a enfermedades virales y con mayor vida post cosecha, y; en vides para conferir resistencia a enfermedades producidas por el hongo *Botrytis cinerea*. Todos estos casos representan productos de interés para el país.

En este mismo sentido, entre los años 2003 y 2007 el estado Chileno financió 35 proyectos biotecnológicos relacionados al sector frutícola.

16 compañías privadas y 19 instituciones públicas fueron financiadas para llevar a cabo proyectos de investigación que involucraban temas de genómica, ingeniería genética, programas de mejoramiento vegetal para introducir resistencia a factores abióticos, identificación genética y trazabilidad de organismos transgénicos. Las principales variedades de frutas en que se trabajó fueron las uvas, cítricos, duraznos y nectarines. Además, en colaboración con el Instituto Forestal, el INIA está llevando a cabo estudios sobre el desarrollo de variedades de eucalipto tolerantes a la sequía. La Pontificia Universidad Católica se encuentra desarrollando variedades de cítricos resistentes a sequía y tolerantes a deficiencias de nitrógeno; papas resistentes a virus; y pino (*Pinus radiata*) resistente a la polilla del brote (*Rhyacionia buoliana*) y tolerante a glifosato (Salazar 2009).

Desde otro punto de vista, un caso significativo para Chile podría ser la utilización de la remolacha azucarera transgénica por parte de nuestros agricultores. Por diversos factores el cultivo de la remolacha, origen del azúcar nacional, se ha reducido en el último tiempo. En 1986/87 se alcanzó en el país una siembra de 56.000 hectáreas aprox., entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y de Los Lagos, mientras que en la temporada 2009/10 el área sembrada alcanzó sólo las 18.000 hectáreas aprox. Uno de los principales factores que ha influido en la disminución son los altos costos de producción asociados al número y cantidad de herbicidas utilizados para la producción de remolacha convencional. En el caso de la remolacha transgénica los productores tienen la capacidad de controlar malezas de una manera



más sustentable en términos económicos y ambientales. La remolacha azucarera transgénica ha sido mejorada a través de la biotecnología mediante la incorporación de un gen que otorga tolerancia al herbicida glifosato. Esta remolacha genéticamente modificada requiere considerablemente menos aplicaciones de herbicidas para controlar efectivamente las malezas. Un menor número de desplazamientos a través del campo aplicando herbicidas permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la erosión del suelo, reducir la compactación del suelo y mejorar la conservación del agua.

Por otro lado, a partir del año 2001 en Chile, sólo se permite la multiplicación de semillas transgénicas con fines de exportación. La evolución de la superficie sembrada con semillas transgénicas ha crecido considerablemente desde el año 1992 y para la última temporada sobrepasó las 31.000 hectáreas. En la temporada 2011/2012 de la superficie total de semilleros transgénicos en el país (31.512 hectáreas), el 80% correspondió a semilleros de maíz (25.189 ha), el 13% a semilleros de canola (4.088 ha) y el 7% a semilleros de soja (2.235 ha). Otras semillas transgénicas que se sembraron en el país correspondieron a semillas de cártamo, remolacha, tomate, vid y zapallo, las cuales en total representaron menos del 0,0015% de la superficie total de semilleros transgénicos. (ANPROS, 2012).

La importancia de Chile como productor de semillas se debe a que la mayoría de los consumidores se encuentran en el hemisferio norte y la diferencia de estación en el hemisferio sur permite avanzar un año en el calendario agrícola.

Mientras en el sur se cosecha en primavera-verano, en el hemisferio norte se encuentran en otoño-invierno, época de la siembra. Así, los programas de mejoramiento genético del hemisferio norte cosechan nuevas líneas y mandan las semillas a Chile para realizar pruebas de campo de contra estación. De esta manera se avanza más rápido en el desarrollo de las nuevas variedades que los agricultores requieren.

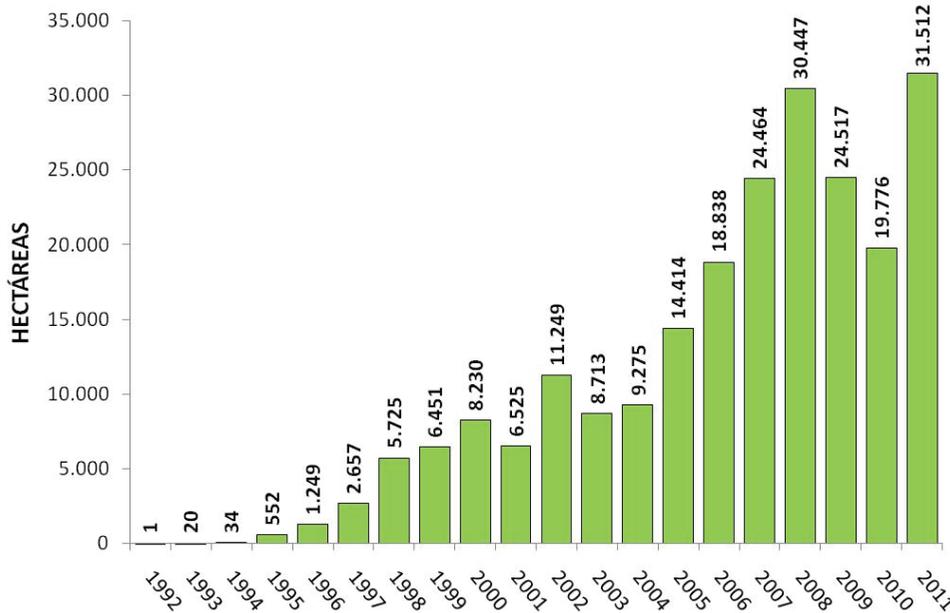
En la actualidad Chile ocupa el quinto lugar entre los países exportadores de semillas a nivel mundial, y ocupa el primer lugar en exportadores de semillas transgénicas del hemisferio sur.

La temporada 2011/2012 la industria semillera chilena totalizó exportaciones (exportaciones físicas de semillas + servicios) por US\$ 442 millones. De éstos, US\$ 180 millones, equivalentes al 40% del total de las exportaciones correspondió a exportaciones de semillas transgénicas (ANPROS 2012).

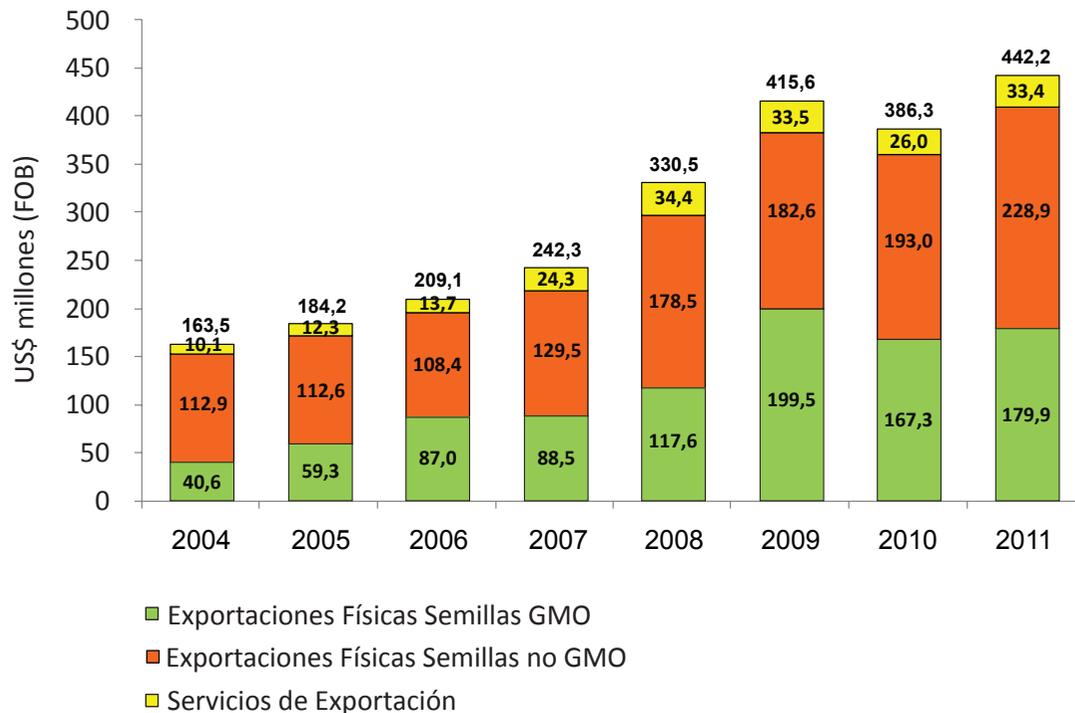
Referencias:

Asociación Nacional de Productores de Semilla (ANPROS) 2012. www.anpros.cl

EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE CON SEMILLEROS TRANSGÉNICOS EN CHILE



EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES TOTALES DE LA INDUSTRIA SEMILLERA CHILENA



Organizaciones Internacionales frente a los cultivos Transgénicos

El mecanismo internacionalmente aceptado mediante el cual se valida la calidad científica de un estudio es su publicación en revistas científicas. En la actualidad, existen más de 560 publicaciones científicas (revisadas por expertos) que documentan la seguridad e inocuidad de los cultivos transgénicos disponibles comercialmente y sus alimentos derivados, las que se han convertido en la base y en la evidencia para que distintas organizaciones, academias científicas y agencias regulatorias a nivel mundial hayan emitido declaraciones oficiales confirmando la inocuidad de los cultivos transgénicos actualmente comercializados, reconociendo sus beneficios para la agricultura, el medio ambiente y los consumidores, y aclarando que los riesgos de los cultivos transgénicos son los mismos que los de los cultivos convencionales.

Organismos como la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido estrictos procedimientos para determinar la seguridad de los productos transgénicos, los cuales son tenidos en cuenta por los diferentes sistemas regulatorios alrededor del mundo. Asimismo, diversas organizaciones internacionales de renombre apoyan la biotecnología y los productos derivados de esta técnica.

El consenso científico señala que los riesgos de los productos alimenticios derivados de cultivos transgénicos son fundamentalmente los mismos

que los de los convencionales, e incluso menores, existiendo un amplio acuerdo entre los científicos sobre la seguridad de los cultivos transgénicos y sus alimentos derivados. Más de 3.450 renombrados científicos a nivel mundial, incluyendo 25 premios Nobel, han firmado una declaración en apoyo a la Biotecnología Agrícola y los cultivos transgénicos (AgBioWorld) indicando su seguridad para humanos, animales y el medio ambiente.



codex alimentarius commission



I L S I



European Food Safety Authority

DECLARACIONES CIENTÍFICAS QUE RECONOCEN LOS BENEFICIOS Y LA SEGURIDAD DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS PARA LA AGRICULTURA, EL MEDIO AMBIENTE Y LOS CONSUMIDORES

	ACADEMIA CIENTÍFICA O AGENCIA REGULATORIA	AÑO	URL
1	DECLARACIÓN FIRMADA POR 25 PREMIOS NOBEL Y MÁS DE 3.450 CIENTÍFICOS A NIVEL MUNDIAL	2011	http://www.agbioworld.org/declaration/index.html
2	ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS AGRONÓMICAS	2011	http://www.academiaagronomica.cl/academia1.pdf
3	ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS	2001	Declaración disponible en www.chilebio.cl
4	Sociedad Argentina de Nutrición	2011	http://www.sanutricion.org.ar/content/docs/pdf/2011/Posicion%20SAN%20Transgenicos%20-%20Comunidad.pdf
5	Biochemical Society UK	2011	http://www.biochemistry.org/LinkClick.aspx?fileticket=qf3Zm6MDTmw%3D&tabid=491
6	Academy of Science of South Africa	2010	http://www.assaf.org.za/2010/08/gm-crops-can-help-to-alleviate-african-food-shortage-says-new-academy-of-science-of-south-africa-report/
7	Comisión Europea	2010	http://ec.europa.eu/research/biosociety/pdf/a_decade_of_eu-funded_gmo_research.pdf
8	National Academy of Sciences USA	2010	http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12804
9	Royal Society of London (UK)	2009	http://royalsociety.org/Reapingthebenefits/
10	Biology Centre of the Academy of Sciences of the Czech Republic	2009	http://www.bc.cas.cz/doc/mobitag/White-Book-on-GMO.pdf
11	DECLARACIÓN CONJUNTA 3 ACADEMIAS DE CIENCIAS DE ALEMANIA: German Academy of Sciences Leopoldina (National Academy of Sciences), German Academy of Science and Engineering (ACATECH), Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities	2009	http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/200910_NatEm-pf_Gruene_Gentechnik-EN_01.pdf
12	Pontificia Academia de Ciencias del Vaticano	2009	http://www.sciencedirect.com/science/issue/43660-2010-999729994-2699796
13	American Society for Cell Biology	2008	http://www.ascb.org/index.php?option=com_content&view=article&id=315&Itemid=31
14	Australian Academy of Science	2007	http://www.science.org.au/policy/gene-tech.html
15	American Dietetic Association	2006	http://www.eatright.org/About/Content.aspx?id=8359
16	American Society of Plant Biologists	2006	http://www.aspb.org/publicaffairs/aspbgstatement.pdf
17	UNIÓN DE ACADEMIAS ALEMANAS DE CIENCIAS Y HUMANIDADES (8 ACADEMIAS)	2006	http://www.akademienunion.de/_files/memorandum_gentechnik/memorandum_green_biotechnology.pdf
18	Organización Mundial de la Salud (OMS)	2005	http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_en.pdf
19	International Union of Food Science and Technology (IUFoST)	2005	http://www.worldfoodscience.org/pdf/IUFBiotechnologyFood.pdf
20	Food Standards Australia New Zealand (FSANZ)	2005	http://www.foodstandards.gov.au/_srcfiles/GM%20Foods_text_pp_final.pdf
21	DECLARACIÓN CONJUNTA 14 ACADEMIAS CIENTÍFICAS DE ITALIA	2004	http://www.siga.unina.it/circolari/Consensus_ITA.pdf
22	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	2004	http://www.fao.org/docrep/006/Y5160E/Y5160E00.HTM
23	Institute of Medicine and National Research Council of the National Academies USA	2004	http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309092094
24	International Council for Science (ICSU) (117 academias y 30 uniones científicas)	2003	http://www.icsu.org/publications/reports-and-reviews/new-genetics-food-and-agriculture-scientific-discoveries-societal-dilemmas-2003/ICSU_GMO_report_May_2003.pdf
25	Academia Nacional de Ciencias de Italia y Academia de Lincei	2003	http://www.osservatoriobiotec.it/Store/Le%20Biotecnologie.pdf
26	Society of Toxicology	2002	http://www.toxicology.org/ai/gm/GM_Food.asp
27	Academia Francesa de Ciencias	2002	http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rst13.htm
28	Academia Francesa de Medicina	2002	http://www.academie-medecine.fr/Upload/anciens/avis_69_fichier_lie.rtf
29	Royal Society of London	2002	http://royalsociety.org/Genetically-modified-plants-for-food-use-and-human-health---an-update/
30	Organización Mundial de la Salud (OMS)	2002	http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/20questions_es.pdf
31	Pontificia Academia de Ciencias del Vaticano	2001	http://www.vatican.va/roman_curia/pontifical_academies/acdsclen/documents/sv%2099(Sof5).pdf
32	Genetics Society of America	2001	http://www.genetics-gsa.org/pages/pp_benefits.shtml
33	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	2000	http://www.oecd.org/document/35/0,3343,en_2649_34537_1885411_1_1_1_1,00.html

34	American Phytopathological Society	2001	http://www.apsnet.org/members/outreach/ppb/positionstatements/Pages/Biotechnology.aspx
35	Crop Science Society of America	2001	https://www.crops.org/files/science-policy/cssa-biotech-perspective.pdf
36	Federation of Animal Scientific Societies (representing the American Dairy Science Association, the American Society of Animal Science, and the Poultry Science Association)	2001	http://www.fass.org/geneticcrops.pdf
37	International Society of African Scientists	2001	http://www.aspb.org/publicaffairs/agricultural/africanbiotech.cfm
38	Comisión Europea	2001	http://ec.europa.eu/research/quality-of-life/gmo/
39	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	2000	http://www.fao.org/biotech/fao-statement-on-biotechnology/en/
40	American Medical Association	2000	http://www.ama-assn.org/resources/doc/csaph/csai-00.pdf
41	American Society for Microbiology	2000	http://www.asm.org/index.php/policy/july-17-2000-genetically-modified-organisms.html?title=July+17%2C+2000+-+Genetically+Modified+Organisms
42	DECLARACIÓN CONJUNTA 7 ACADEMIAS DE CIENCIAS: Brazilian Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Indian National Science Academy, Mexican Academy of Sciences, Royal Society of London, Third World Academy of Sciences, U.S. National Academy of Sciences.	2000	http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=N1000227
43	American Council on Science and Health	2000	http://www.acsh.org/docLib/20040401_Biotechnology2000.pdf
44	Society for In Vitro Biology	2000	http://www.sivb.org/publicPolicy_CropEngineering.asp

Casos Controvertidos

1. Alergenicidad

La preocupación por la alergenidad potencial de los alimentos derivados de cultivos transgénicos se originó por una publicación científica que mostró que una soja transgénica con un gen proveniente de la nuez de Pará, para mejorar el contenido nutricional, resultó en la generación de alergias al igual como lo producía la nuez de la cual se tomó el gen. Al parecer, el gen escogido para mejorar la calidad nutricional era uno de los genes que desencadenan reacciones alérgicas al consumir la nuez (Nordlee et al., 1996). Mucha gente piensa que este producto causó alergias en la población, sin embargo la realidad es que esta soja transgénica con la modificación específica para mejorar su contenido nutricional nunca fue comercializada. Este es un excelente ejemplo de la autorregulación existente en la biotecnología agrícola, puesto que la situación observada se presentó durante la etapa de investigación y desarrollo, previo a la comercialización del producto, y ni siquiera se presentó una solicitud para lograr algún tipo de aprobación regulatoria.

Por otro lado, las inquietudes por la alergenidad potencial de los alimentos derivados de cultivos transgénicos se vio exacerbada por el incidente sucedido en EE.UU. con el maíz StarLink resistente a insectos (Smith 2007). A pesar que este maíz fue aprobado para consumo animal, en septiembre de 2000 se confirmó que estaba presente en alimentos para humanos. Después de haber leído informes en la prensa, 44 personas

se quejaron que habían sufrido reacciones alérgicas al comer tacos fritos que contenían pequeñas cantidades de Starlink. Sin embargo las pruebas realizadas sobre 17 de ellos (los únicos que aceptaron someterse a pruebas) por el Centro Estatal para el Control de Enfermedades de EE.UU. (CDC) no lograron encontrar anticuerpos que demostraran una respuesta alérgica al Starlink (CDC, 2001).

En relación al algodón transgénico, un documento preliminar generado por un grupo anti-transgénico en India, el cual incluyó entrevistas a 23 personas, señalaba que el algodón Bt (resistente a insectos) provocaba alergias en agricultores de varios pueblos de India. Se indicó que agricultores de seis pueblos que trabajaban con el algodón Bt presentaban reacciones en la piel, ojos y tracto respiratorio superior. Además se señaló que algunos trabajadores requirieron hospitalización, que los empleados de una fábrica desmotadora de algodón debieron tomar antihistamínicos a diario, y que un médico trató a unos 250 agricultores del algodón (Smith 2007). Ningún estudio publicado ha documentado que esas historias sean realmente verdad e incluso la organización no gubernamental que divulga la información, lo hace con cierta cautela. El sentido común nos dice que si más de la mitad del algodón mundial es algodón transgénico (82%) y con millones de personas manipulándolo a diario, cualquier efecto adverso ya habría sido manifestado. Además, las proteínas Bt tienen

una historia de más de 50 años de uso seguro como plaguicidas. Preparaciones de proteína Bt, conteniendo esporas y bacterias enteras, se han utilizado en grandes cantidades durante la historia de la agricultura, siendo incluso utilizada por los agricultores orgánicos, donde muy rara vez ha generado alguna reacción adversa en algún agricultor (Seigel, 2001; Betz et al., 2000; Whalon & Wingerd 2003).

Otro caso es aquel en que un grupo anti-transgénico noruego aseguró que la inhalación de polen de maíz Bt puede provocar enfermedades en los seres humanos. Específicamente, dijo que en Filipinas en el año 2003, cuando el polen del maíz Bt se dispersaba por el aire, aproximadamente 100 personas que vivían al lado de un campo de maíz Bt, sufrieron irritaciones en la piel, problemas respiratorios, malestares intestinales, y otros síntomas. Además, indicaron que los análisis de sangre de 39 personas mostraron anticuerpos contra la proteína Bt, y que los síntomas reaparecieron en el 2004 en al menos otros cuatro pueblos que sembraron la misma variedad de maíz (Smith 2007).

El grupo anti-transgénico noruego nunca presentó datos que apoyaran estas afirmaciones y nunca se generó una publicación científica de esto. Además, siempre fueron rechazadas las peticiones de otros científicos que han solicitado los datos para analizarlos (AgBioWorld, 2004). Los grupos anti-transgénicos han optado por repetir estas afirmaciones, sin embargo, nunca han mencionado que médicos y reguladores del gobierno filipino investigaron cuidadosamente el tema y concluyeron que el maíz Bt no tenía nada que ver con esos supuestos efectos

adversos a la salud de las personas. Los investigadores indicaron que el polen del maíz Bt no genera problemas médicos, además de decir que la cantidad infinitesimal de proteína Bt que posee el polen es muy improbable que genere algún problema. Además, naturalmente existen personas alérgicas al polen de maíz, independientemente de la naturaleza transgénica o no transgénica de éste (Academics Review 2011).

La soja transgénica tolerante a herbicidas también ha generado muchos mitos en su contra. Los grupos anti-transgénicos insisten en afirmar que las alergias a la soja se dispararon en el Reino Unido poco después de introducirse esta soja en el mercado. Se dice que en un solo año (1996) las alergias a la soja pasaron de un 10% a un 15% de la población muestreada, haciendo notar que la soja transgénica comenzó a ser importada un poco antes de 1996. Además, indican que los tests de anticuerpos verificaron que algunos individuos reaccionaron de forma diferente a variedades de soja transgénica y no transgénica (Smith 2007).

Estos estudios aparecieron en el sitio web de los Laboratorios York, y no han sido publicados en revistas científicas peer reviewed (cuyos artículos son revisados por expertos científicos de forma previa a su publicación). El principal problema con la afirmación de que la soja transgénica provocó un aumento de las alergias de la soja, es que los ensayos reportados en el estudio citado no midieron ni evaluaron alergias. Los Laboratorios York reportaron que los anticuerpos contra las proteínas de soja se midieron en el 10% de 4.500 personas en 1996 y ese número creció a 15% después de seis meses. Sin embargo,

se midieron ciertos anticuerpos pero no se midió el tipo de anticuerpos que está específicamente asociado con la alergia a la soja.

La alergia a la soja en el Reino Unido afecta a menos del 1% de la población. Uno podría esperar que las reacciones alérgicas a la soja aumentaran como resultado de la creciente demanda y consumo de esta debido a sus efectos beneficiosos para la salud, y a la demanda de dietas ricas en proteínas de origen vegetal en general. Cerca del 0,1-0,2% de las personas sufren alergia a la soja, pero este número podría aumentar con el aumento del consumo de proteínas derivadas de la soja. Es importante señalar que este aumento esperado de las alergias se debe a la alergenicidad inherente de las proteínas de la soja y no porque es transgénica. Finalmente, los ensayos se realizaron antes que la soja transgénica representase el 5% de la oferta de soja en el Reino Unido, por lo que lo más probable es que los anticuerpos medidos se produjeron antes de que la soja transgénica estuviese disponible (Academics Review 2011).

Referencias:

Academics Review. 2011. Testing popular claims against peer-reviewed science.

<http://academicsreview.org/reviewed-content/genetic-roulette/>

AgBioWorld. 2004. Supporting Biotechnology in Agriculture.

<http://www.agbioworld.org/biotech-info/pr/traavik.html>

Betz FS, Hammond BG, Fuchs RL. 2000. Safety and advantages of Bacillus thuringiensis-protected plants to

control insect pests. Regul Toxicol Pharmacol. 32(2):156-177.

CDC (U.S. Government's Centers for Disease Control). 2001. Investigation of human health effects associated with potential exposure to GM corn.

<http://www.cdc.gov/nceh/ehhe/Cry9cReport/default.htm>

Nordlee JA, Taylor SL, Townsend JA, Thomas LA, Bush RK. 1996. Identification of a Brazil-Nut Allergen in Transgenic Soybeans. N Engl J Med 334:688-692.

Siegel JP. 2001. The Mammalian Safety of Bacillus thuringiensis-based Insecticides. J Invert Pathol. 77(1):13-21.

Smith J. 2007. Genetic Roulette. The Documented Health Risks of Genetically Engineered Foods. Chelsea Green, Yes! Books, EE.UU.

Whalon ME, Wingerd BA. 2003. Bt: Mode of action and use. Arch Insect Biochem Physiol. 54(4):200-211.



2. Resistencia a antibióticos.

En la producción de algunas plantas transgénicas se han utilizado genes que confieren resistencia a antibióticos (como la kanamicina) para seleccionar las células vegetales y las plantas que han incorporado la modificación genética de forma exitosa. El posible uso de estas plantas resistentes a antibióticos en la alimentación ha planteado dudas sobre si el gen de resistencia puede ser transferido a las poblaciones de bacterias que conviven con los seres humanos en el sistema digestivo. Sin embargo, la probabilidad de que esto ocurra es infinitamente pequeña debido a que es necesario que tengan lugar en el estómago e intestino una serie de sucesos altamente improbables, como por ejemplo, que el gen de resistencia no se degrade junto con el resto de genes presentes en la comida consumida, y que se incorpore en una bacteria donde éste funcione correctamente (Royal Society 2008). El grupo de trabajo de la Sociedad británica para la quimioterapia antimicrobiana informó que “no se ha podido encontrar base científica para creer que los genes de la resistencia bacteriana a los antibióticos pueden migrar a las bacterias para crear nuevos problemas clínicos” (Bennett 2004).

Múltiples estudios han examinado cuidadosa y sistemáticamente la seguridad de las proteínas y los genes específicos asociados a la resistencia a antibióticos, junto con la probabilidad de que la transferencia horizontal de genes ocurra realmente y se ha confirmado la seguridad de éstos y la improbabilidad de que ocurra dicha transferencia de genes (Fuchs et al., 1993; Nielsen et al., 1997; Jonas et al., 2001;

Chambers et al., 2002; Goldstein et al., 2005; Demanéche et al., 2008; Gay & Gillespie 2005; Batista & Oliveira 2009).

Por su parte, los genes de resistencia a kanamicina y a antibióticos relacionados, los cuales han sido utilizados en el desarrollo de algunos cultivos transgénicos, están ampliamente distribuidos en la naturaleza de forma natural, incluso en la flora del intestino humano, donde se estima que se encuentran alrededor de 1 billón (10¹²) de bacterias resistentes a kanamicina (o neomicina) (Flavell 1992).

Hoy en día, gracias a los avances de la industria biotecnológica, se utilizan otros genes distintos a los de resistencia a antibióticos para determinar si una modificación genética fue exitosa o no. Por ejemplo, se utilizan marcadores como la resistencia a herbicidas (EPSPS = Roundup Ready, PAT = Liberty Link, etc.) (Herouet et al., 2005; Herouet-Guicheney et al, 2009), fosfomanosa isomerasa (Reed et al., 2001) o D-serina deshidratasa (Erickson et al., 2005). Todos estos marcadores son proteínas que no son tóxicas y tampoco presentan características relacionadas a alérgenos alimentarios.

Debido a todo lo mencionado, las preocupaciones por el uso de los genes de resistencia a antibióticos poseen una base de sustentación cada vez menor.

Referencias:

Bennett PM, Livesey CT, Nathwani D, Reeves DS, Saunders JR, Wise R. 2004. An assessment of the risks associated with the use of antibiotic resistance genes in genetically modified plants: report of the Working Party of the British Society for Antimicrobial Chemotherapy. *J Antimicrob Chemother.* 53:418–431.

Batista R, Oliveira MM. 2009. Facts and fiction of genetically engineered food. *Trends Biotechnol.* 27(5):277–286.

Chambers PA, Duggan PS, Heritage J, Forbes JM. 2002. Fate of antibiotic resistance marker genes in transgenic plant feed material fed to chickens. *J Antimicrob Chemother.* 49(1):161–164.

Demanèche S, Sanguin H, Poté J, Navarro E, Bernillon D, Mavingui P, Wildi W, Vogel TM, Simonet P. 2008. Antibiotic-resistant soil bacteria in transgenic plant fields. *Proc Natl Acad Sci USA.* 105(10):3957–62.

Erickson O, Hertzberg M, Torgny N. 2005. The *dsdA* gene from *Escherichia coli* provides a novel selectable marker for plant transformation. *Plant Mol. Boil.* 57:425–433.

Flavell RB, Dart E, Fuchs RL, Fraley RT. 1992. Selectable marker genes: Safe for plants? *Biotechnology (NY)* 10(2):141–144.

Fuchs RL, Ream JE, Hammond BG, Naylor MW, Leimgruber RM, Berberich SA. 1993. Safety Assessment of the neomycin phosphotransferase II (NPTII) protein. *Biotechnology (NY)* 11(13):1543–1547.

Gay PB, Gillespie SH. 2005. Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: a risk to human health? *Lancet Infect Dis.* 5(10):637–646.

Goldstein D, Tinland B, Gilbertson L, Staub J, Bannon G, Goodman R, McCoy R, Silvanovich A. 2005. A review – human safety and genetically modified plants – a review of antibiotic resistance markers and future transformation selection technologies. *J Applied Microbiol.* 99(1):7–23.

Herouet C, Esdaile DJ, Mallyon BA, Debruyne E, Schulz A, Currier T, Hendrickx K, van der Klis RJ, Rouan D. 2005. Safety evaluation of the phosphinothricin acetyltransferase proteins encoded by the *pat* and *bar* sequences that confer tolerance to glufosinate-ammonium herbicide in transgenic plants. *Reg Tox Pharmacol.* 41(2):134–149.

Herouet-Guichenev C, Rouquié D, Freyssinet M, Currier T, Martone A, Zhou J, Bates EE, Ferullo JM, Hendrickx K, Rouan D. 2009. Safety evaluation of the double mutant 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (2mEPSPS) from maize that confers tolerance to glyphosate herbicide in transgenic plants. *Regul Toxicol Pharmacol.* 54(2):143–53.

Jonas DA, Elmadfa I, Engel KH, Heller KJ, Kozianowski G, König A, Müller D, Narbonne JR, Wackernagel W, Kleiner J. 2001. Safety considerations of DNA in food. *Ann Nutr Metab.* 45(6):235–254.

Nielsen KM, Gebbard F, Smalia K, Bones AM, van Elsas JD. 1997. Evaluation of possible horizontal gene transfer from transgenic plants to the soil bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* BD413. *Theor Appl Genet.* 95:815–821.

Reed J, Privalle L, Powell ML, Meghji M, Dawson J, Dunder E, Suttie J, Wenck A, Launis K, Kramer C, Chang YF, Hansen G, Wright M. 2001. Phosphomannose isomerase: an efficient selectable marker for plant transformation. *Plant* 37:127–132.

Royal Society 1998. *Genetically Modified Plants for Food Use.* Policy Document 2/98. The Royal Society, London. <http://royalsociety.org/Genetically-Modified-Plants-for-Food-Use/>

3. Publicaciones científicas.

Las evidencias científicas son observaciones repetidas y confirmadas de forma independiente una y otra vez. A la fecha, no existe evidencia científica que los cultivos transgénicos dañen

o afecten la salud humana, animal o la biodiversidad. Además, todas las observaciones científicas en contra de los cultivos transgénicos o de sus alimentos derivados han sido aclaradas y desacreditadas por la comunidad científica mundial debido a aspectos como diseños experimentales inadecuados, falta de rigurosidad científica y extrapolación de conclusiones sin sustento.

A continuación, se presentan cinco casos en los cuales se ejemplifica esta situación:

i) El caso de los estudios de Arpad Pusztai:

El Doctor Arpad Pusztai, del Rower Research Institute en Aberdeen (Escocia), publicó un estudio que indicaba que después de alimentar seis ratas durante un período de 10 días con papas transgénicas (crudas o cocidas), algunas mostraban diferencias en el tamaño de varios órganos. Las papas transgénicas utilizadas en el estudio, las cuales estaban en etapa de investigación y desarrollo y no estaban disponibles comercialmente, contenían el gen de la lectina GNA, una glicoproteína tóxica para algunos insectos, y cuyo gen procedía del narciso de las nieves *Galanthus nivalis* (Ewen & Pusztai, 1999).

Posterior a la publicación de estos resultados, los experimentos del Doctor Pusztai fueron revisados por seis expertos designados por la Royal Society (Academia de Ciencias de Gran Bretaña fundada en 1660 que goza de amplio prestigio internacional como referente en la

comunidad científica), y en forma independiente han sido revisados por científicos de seguridad alimentaria de agencias reguladoras en todo el mundo (Royal Society 1999; Kuiper 1999; Fedoroff 2004). Estos expertos han concluido que el trabajo publicado presentaba problemas relacionados con el diseño, ejecución y análisis experimental y que era imposible bajo tales circunstancias generar las conclusiones que sugería el estudio.

Tanto los humanos como las ratas no consumen papas crudas debido a que los organismos no las pueden digerir por el alto contenido de almidón y los alcaloides presentes son tóxicos. Además, las ratas evitan comer papas, aunque sean cocidas. En los experimentos de Pusztai las ratas presentaron malnutrición debido a la dieta a la que fueron expuestas, y es conocido que la malnutrición provoca fluctuaciones impredecibles en el tamaño de los órganos internos. Además, no se realizaron los experimentos controles adecuados con ratas alimentadas de manera saludable con otro tipo de alimento, distinto de la papa, lo que llevó a comparar ratas malnutridas contra ratas malnutridas y se trató de decidir qué grupo estaba peor. La Royal Society no encontró evidencia convincente de los efectos adversos de las papas transgénicas y concluyó que los resultados no justificaban llegar a conclusiones generales con relación a si los alimentos derivados de cultivos transgénicos eran peligrosos para los humanos o no. Hasta el día de hoy no han aparecido publicaciones científicas repitiendo estos experimentos con un mayor número de animales y con los controles correctos.

ii) El caso de los estudios de Gilles-Erik Séralini:

En 2007, un equipo científico liderado por el Doctor Gilles-Erik Séralini (Séralini et al., 2007) afirmó haber encontrado evidencias de toxicidad hepatorenal en ratas a través de un re-análisis estadístico de los datos generados previamente por otros autores que no encontraron efectos de toxicidad del maíz transgénico resistente a insectos MON863 con métodos estadísticos estándar (Hammond et al., 2006).

Los científicos expertos que han revisado la publicación del 2007 no han respaldado las conclusiones del equipo de Séralini debido al mal uso de la estadística, mal interpretación de los resultados y la pobre calidad y falta de rigurosidad científica, concluyendo que ninguna de las diferencias producidas por su re-análisis estadístico tiene significancia biológica, y que la evidencia científica indica que el maíz evaluado es inocuo y seguro (AFSSA 2007; BfR 2007; Doull et al. 2007; EFSA 2007; FSANZ 2007; HBC 2009). El equipo de Séralini ignoró las opiniones de los científicos expertos y nuevamente utilizaron los mismos métodos no convencionales e inapropiados para re-analizar estadísticamente los estudios toxicológicos realizados previamente por otros autores, con los maíces transgénicos MON863, MON810 y NK603 (de Vendômois et al., 2009). Esto a pesar de los más de 10 años de cultivo y consumo seguro de los maíces transgénicos comerciales a los que se les han exigido rigurosas evaluaciones de seguridad, y que distintas agencias reguladoras de distintas partes del mundo, han concluido que son seguros.

Séralini interpreta inadecuadamente fluctuaciones

estadísticas como evidencia de riesgo para la salud, sin embargo, las fluctuaciones estadísticas son comunes en cualquier estudio de gran tamaño. Por su parte, la significancia estadística reportada por Séralini sobre los parámetros clínicos es diferente entre los estudios, lo que sugiere que éstos son más probablemente debidos a la variación al azar que debido a efectos de significancia biológica.

iii) El caso de los estudios de Manuela Malatesta:

Los grupos anti-transgénicos indican que algunos estudios muestran que al alimentar ratones con soja transgénica tolerante al herbicida glifosato, éstos presentan alteraciones a nivel hepático, pancreático y testicular, lo que indicaría algún efecto tóxico de la dieta. Específicamente, estos grupos dicen que la forma de los núcleos y nucléolos de las células hepáticas se vuelve irregular, aumentando el número de poros nucleares, lo que sugeriría según ellos un metabolismo más alto y patrones alterados de la expresión génica. Esto se revertiría al remover la soja transgénica de la dieta (Malatesta 2008). A nivel pancreático, se sostiene que los ratones alimentados con soja transgénica produjeron menor cantidad de enzimas digestivas, afectando la digestión y asimilación de los alimentos. Se dice incluso que la alfa-amilasa, una importante enzima digestiva, disminuyó en un 77% (Malatesta 2002). A nivel testicular, se dijo que tanto la estructura como los patrones de expresión génica habían cambiado significativamente, desconociéndose la causa pero ligándose a alguna toxina presente en la dieta. Con esto se especuló sobre los efectos en la fertilidad y en la salud de la progeñie (Vecchio 2004).

El problema de este caso es que los estudios mencionados contradicen a un gran número de literatura científica que no encontró ningún problema al realizar experimentos con animales alimentados con soja transgénica tolerante al herbicida glifosato. Los autores de las publicaciones en contra de la soja transgénica no proporcionan suficiente detalle como para que cualquier científico pudiese ser capaz de repetir sus estudios. Por ejemplo, no se midió la cantidad de alimento consumido por cada grupo de animales y tampoco se midió el contenido de isoflavonas de soja de la dieta, lo que realmente podría influir en ciertos niveles de enzimas y cambios celulares (Brown & Setchell 2001; Thigpen et al. 2004). Además, los estudios que cuestionan la soja transgénica no utilizaron distintas cantidades de soja con el fin de buscar respuestas dependientes de la dosis. Por su parte, no se utilizaron suficientes muestras, y las muestras no fueron lo suficientemente diferentes como para que los cambios tuviesen una real significancia biológica. Una vez más, los grupos anti-transgénicos no dicen toda la verdad y ni siquiera comentan la extensa literatura científica que contradice estos estudios.

iv) El caso de los estudios de Irina Ermakova:

En enero del 2006 el diario británico The Independent informó sobre un estudio dirigido por la Dra. Irina Ermakova, investigadora del Instituto de Neurofisiología de la Academia de Ciencias de Rusia, el cual indicaba que más de la mitad de las crías de ratas de laboratorio cuyas madres fueron alimentadas con soja transgénica durante la gestación murieron en las tres primeras semanas de vida. Esto, según el informe, resultó

ser seis veces más alto que otras ratas que recibieron alimentación normal. Además, las ratas que quedaban vivas presentaban problemas de crecimiento (Smith 2007).

El experimento consistió en agregar soja transgénica tolerante a herbicidas en la alimentación de un grupo de ratas hembras, dos semanas antes, durante la gestación y durante la lactancia. Otro grupo de ratas recibió soja no transgénica y un tercer grupo no recibió soja durante el mismo periodo. Según los resultados de Ermakova, el 36% de las crías del grupo alimentado con soja transgénica sufrían de peso severamente inferior a lo normal, comparado con el 6% en los otros grupos, y a su vez eran más agresivas. Pero lo más alarmante fue que el 56% de las crías del grupo alimentado con soja transgénica murieron en las primeras tres semanas, comparadas con el 9% de las crías del grupo alimentado con soja normal, y con el 6,8% en el que no recibió soja.

Las afirmaciones de Ermakova y de los grupos anti-transgénicos desafían la lógica, la credibilidad, y a la media docena de otros estudios controlados cuidadosamente en que no se producen tales resultados. Es un desafío a la lógica que la soja que se utiliza en todo el mundo para alimentación animal (81% de la producción mundial de soja es soja transgénica) podría producir resultados como los observados por Ermakova, sin que nadie haya notado ni reportado el problema. La composición y la fuente de la soja utilizada no son claras, no se midió el consumo de soja de los animales, y la mantención de los animales no fue la adecuada, lo cual refleja una calidad científica insuficiente. Este trabajo nunca ha sido

publicado en revista científica alguna, lo que sí ha ocurrido con los estudios que lo contradicen (Marshall 2007; Brake & Evanson 2004; Zhu 2004; Cromwell 2002; Teshima 2000; Hammond 1996).

v) El caso de la detección de proteínas Bt en la sangre de mujeres: Una publicación reciente (Aris & Leblanc 2011) afirma que detectaron la proteína Cry1Ab, la cual otorga resistencia a ciertos insectos (coleópteros) en los cultivos transgénicos que la contienen, en el 93% de las mujeres embarazadas y en el 69% de las mujeres no embarazadas que fueron evaluadas, y creen que esto está relacionado con el consumo de alimentos derivados de cultivos transgénicos. Como señalan los autores, esta sería la primera publicación que muestra la absorción y la detección positiva en sangre de humanos de la proteína Cry1Ab.

En mamíferos, la proteína Cry1Ab se degrada en el estómago. Si algún fragmento de la proteína Cry1Ab pasara hacia el flujo sanguíneo, su presencia sería en niveles considerablemente más bajos que los niveles reportados por el test utilizado en el estudio. El test utilizado, comercializado por Agdia, fue desarrollado para la detección en plantas de la proteína Cry1Ab y el fabricante indica un límite de detección de 0,25 ng/ml en extractos de hoja de maíz. Este test, ha permitido detectar proteína Cry1Ab en sangre de vacuno sólo hasta valores de 1 ng/ml (Paul et al. 2008), mientras que Aris y Leblanc afirman haber detectado concentraciones promedio más bajo que el límite de detección (0,19 ng/ml en la sangre de mujeres embarazadas; 0,13 ng/ml en la sangre de mujeres no embarazadas; 0,04ng/

ml en el cordón umbilical de fetos).

Por otro lado, los autores no proporcionan ninguna evidencia de que los alimentos derivados de cultivos transgénicos hayan sido la fuente de la proteína. No se indica nada sobre la dieta de las personas que participaron en el estudio, por lo que la afirmación de que la detección de Cry1Ab está vinculada a ingerir alimentos transgénicos es, en el mejor de los casos, especulativa. Varias formulaciones de insecticidas (ej. Dipel, Delfin, Xentari) contienen una mezcla de proteínas cristalizadas (incluyendo Cry1Ab) y esporas bacterianas que producen la proteína, las cuales se aplican en todo el mundo desde hace décadas en cultivos como el brócoli, coliflor, apio, melón, papas, espinacas, tomates, pepinos, nabos, uvas, kiwi, cítricos, paltas. Además, agricultura orgánica tiene aprobado el uso de la proteína Cry1Ab en aerosoles, o también la aplicación directa de la bacteria que la produce, en cultivos de frutas y verduras, por lo que el origen de la proteína Cry1Ab podría ser también los productos orgánicos.

Ha habido algunos grupos y algunos medios de prensa que han indicado que esto es la prueba de que los alimentos derivados de cultivos GM no son seguros para el consumo humano. Sin embargo, hay que recalcar que el estudio de Aris y LeBlanc no encontró ningún problema de salud o de seguridad relacionados con el consumo de estos alimentos. La proteína Cry1Ab ha sido sometida a rigurosas evaluaciones de seguridad, y estas pruebas no han demostrado ni tampoco sugieren algún riesgo de toxicidad para los seres humanos (Okunuki et al. 2002; Nakajima et al. 2007; Xu et al. 2009; Guimaraes et al. 2010;

Adel-Patient et al. 2011; Randhawa et al. 2011). Todas las mujeres (o fetos) que participaron en el estudio eran sanos y no presentaron efectos adversos o inesperados a la salud.

Referencias:

Adel-Patient K, Guimaraes VD, Paris A, Drumare MF, Ah-Leung S, Lamourette P, Nevers MC, Canlet C, Molina J, Bernard H, Créminon C, Wal JM. 2011. Immunological and metabolomic impacts of administration of Cry1Ab protein and MON 810 maize in mouse. PLoS One. 6(1):e16346.

AFFSA (L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments). 2007. de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la récente étude publiée sur le maïs génétiquement modifié MON 863. Dossier No. 2007-SA-0109. <http://www.afssa.fr/Documents/BIOT2007sa0109.pdf>

Brake DG, Evenson DP. 2004. A generational study of glyphosate-tolerant soybeans on mouse fetal, postnatal, pubertal and adult testicular development. Food Chem Toxicol. 42(1): 29-36.

Brown NM, Setchell KDR. 2001. Animal models impacted by phytoestrogens in commercial chow: implications for pathways influenced by hormones. Lab Invest. 81(5):735-747.

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) [Federal Institute for Risk Assessment]. 2007. 90-Tage-Studie an Ratten mit MON 863-Mais: Keine Hinweise auf gesundheitliches = [Risk of 90-Day Study on rats with MON 863 Maize: No Indication of a Health Risk]. Berlin.

http://www.BfR.bund.de/cm/208/90_tage_studie_an_ratten_mit_mon863_mais.pdf

Cromwell GL, Lindemann MD, Randolph JH, Parker GR, Coffey RD, Laurent KM, Armstrong CL, Mikel WB, Stanisiewski EP, Hartnell GF. 2002. Soybean meal from Roundup Ready or conventional soybeans in diets for growing-finishing swine. J Anim Sci. 80(3):708-715.

De Vendômois JS, Roullier F, Cellier D, Séralini GE. 2009. A comparison of the effects of three GM corn varieties on

mammalian health. Int J Biol Sci. 5(7):706-726.

European Food Safety Authority (EFSA). 2007. Statement of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on the analysis of data from a 90-day rat feeding study with MON 863 maize.

http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Statement/GMO_statement_MON863.pdf?ssbinary=true

Ewen SW, Pusztai A. 1999. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing Galanthus nivalis lectin on rat small intestine. Lancet 354(9187):1353-4.

Fedoroff NV, Brown NM. 2004. Mendel in the Kitchen: A Scientist's View of Genetically Modified Foods. Chapter 9. (NAS Joseph Henry Press: Washington, DC).

<http://www.nap.edu/catalog/11000.html>

Food Standards Australia New Zealand (FSANZ). 2007. Review of the report by Séralini et al., (2007): "New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity".

<http://www.foodstandards.gov.au/scienceandeducation/publications/>

French High Council of Biotechnologies (HCB). 2009.

<http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/acnfp9612a2>

Guimaraes V, Drumare MF, Lereclus D, Gohar M, Lamourette P, Nevers MC, Vaisanen-Tunkelrott ML, Bernard H, Guillon B, Créminon C, Wal JM, Adel-Patient K. 2010. In vitro digestion of Cry1Ab proteins and analysis of the impact on their immunoreactivity. J Agric Food Chem. 58(5):3222-31.

Hammond BG, Vicini JL, Hartnell GF, Naylor MW, Knight CD, Robinson EH, Fuchs RL, Padgett SR. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. J Nutr. 126(3):717-27.

Hammond B, Lemen J, Dudek R, Ward D, Jiang C, Nemeth M, Burns J. 2006. Results of a 90-day safety assurance study with rats fed grain from corn rootworm-protected corn. Food Chem Toxicol. 44(2):147-60.

Kuiper HA, Noteborn HPJM, Peijnenburg ACM. 1999. Adequacy of methods for testing the safety of genetically modified foods. *Lancet* 354:1315-1316.

Malatesta M, Caporaloni C, Rossi L, Battistelli S, Rocchi MB, Tonucci F, Gazzanelli G. 2002. Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean. *J Anat.* 201(5):409-15.

Malatesta M, Boraldi F, Annovi G, Baldelli B, Battistelli S, Biggiogera M, Quagliano D. 2008. A long-term study on female mice fed on a genetically modified soybean: effects on liver ageing. *Histochem Cell Biol.* 130(5):967-77.

Marshall A. 2007. GM soybeans and health safety -- a controversy reexamined. *Nat Biotechnol.* 25(9):981-987.

Nakajima O, Teshima R, Takagi K, Okunuki H, Sawada J. 2007. ELISA method for monitoring human serum IgE specific for Cry1Ab introduced into genetically modified corn. *Regul Toxicol Pharmacol.* 47(1):90-5.

Okunuki H, Teshima R, Shigeta T, Sakushima J, Akiyama H, Goda Y, Toyoda M, Sawada J. 2002. Increased digestibility of two products in genetically modified food (CP4-EPSPS and Cry1Ab) after preheating. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi.* 43(2):68-73.

Randhawa GJ, Singh M, Grover M. 2011. Bioinformatic analysis for allergenicity assessment of *Bacillus thuringiensis* Cry proteins expressed in insect-resistant food crops. *Food Chem Toxicol.* 49(2):356-62.

Royal Society UK. 1999. Review of data on possible toxicity of GM potatoes.

<http://royalsociety.org/Review-of-data-on-possible-toxicity-of-GM-potatoes/>

Séralini GE, Cellier D, de Vendomois JS. 2007. New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch Environ Contam Toxicol.* 52(4):596-602.

Smith J. 2007. Genetic Roulette. The Documented Health Risks of Genetically Engineered Foods. Chelsea Green, Yes! Books, EE.UU.

Teshima R, Akiyama H, Okunuki H, Sakushima JI, Goda Y, Onodera H, Sawada JI, Toyoda M. 2000. Effect of GM and non-GM soybeans on the immune system of BN rats and B10A mice. *J Food Hyg Soc Japan.* 41(3):188-193.

Thigpen JE, Setchell KD, Saunders HE, Haseman JK, Grant MG, Forsythe DB. 2004. Selecting the Appropriate Rodent Diet for Endocrine Disruptor Research and Testing Studies. *ILAR J.* 45(4):401-416.

Vecchio L, Cisterna B, Malatesta M, Martin TE, Biggiogera M. 2004. Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean. *Eur J Histochem.* 48(4):448-54.

Xu W, Cao S, He X, Luo Y, Guo X, Yuan Y, Huang K. 2009. Safety assessment of Cry1Ab/Ac fusion protein. *Food Chem Toxicol.* 47(7):1459-65.

Zhu Y, Li D, Wang F, Yin J, Jin H. 2004. Nutritional assessment and fate of DNA of soybean meal from Roundup Ready or conventional soybeans using rats. *Arch Anim Nutr.* 58(4):295-310.



Biología Agrícola On-Line

Sitios de Internet internacionales

Access Excellence/The National Health Museum
www.accessexcellence.org/AB/GG

AgBioForum Magazine
www.agbioforum.missouri.edu

AgBiotechNet
www.agbiotechnet.com

AG Care
www.agcare.org

Ag-West Biotech, Inc.
www.agwest.sk.ca

AgBiosafety-Nebraska University
www.agbiosafety.unl.edu/ (ver "Questions answered")

AgBioWorld
www.agbioworld.org/

Agencia Europea de Medio Ambiente
www.eea.eu.int

Agri-Food Risk Management & Communication
<http://www.plant.uoguelph.ca/index.html>

Agricultural Biotechnology - United States
 Department of Agriculture
<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=BIOTECH>

Agricultural Research Service - United States
 Department of Agriculture
<http://www.ars.usda.gov/main/main.htm>

AgroBio Colombia
www.agrobio.org/

AgroBio México
www.agrobiomexico.org/

AINIA Centro Tecnológico
www.ainia.es

American Association for the Advancement of
 Science
<http://www.aaas.org/>

American Feed Industry Association
<http://www.afia.org>

Antama - Fundación para la Aplicación de nuevas
 Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente
 y la Alimentación
www.fundacion-antama.org/

ArgenBio - Consejo Argentino para la Información
 y el Desarrollo de la Biotecnología
www.argenbio.org/

Asociación Nacional de Bioseguridad (ANBIO)
www.anbio.org.br



Biotechnology Industry Organization
www.bio.org

Boyce Thompson Institute for Plant Research
<http://bti.cornell.edu/>

CABBIO Centro Argentino Brasileño de
Biotecnología
http://www.mincyt.gov.ar/acciones/acciones_detalle.php?Id_accion=38

CAST - Council for Agricultural Science and
Technology
<http://www.cast-science.org/>

CBI - Council for Biotechnology Information
www.whybiotech.com/

CERA – Center for Environmental Risk Assessment
<http://www.cera-gmc.org/>

Centro Nacional de Biotecnología - Universidad
Autónoma de Madrid
<http://www.cnb.uam.es/>

CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia
www.cib.org.br/

CISAN - Consejo para la Información sobre la
Seguridad de los Alimentos y Nutrición
www.cisan.org

CheckBiotech
www.checkbiotech.org/

ChileBIO
<http://www.chilebio.cl/>

Codex Alimentarius
www.codexalimentarius.net

CropBiotech Net - Global Knowledge Center on
Crop Biotechnology
www.isaaa.org/kc/

Cultivos transgénicos-Universidad de Colorado
www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/

Dictionary of Biotechnology - University of Texas
<http://biotech.icmb.utexas.edu/>

Dictionary of Cell Biology
www.mblab.gla.ac.uk/dictionary/

Donald Danforth Plant Science Center
www.danforthcenter.org

ECAF - European Conservation Agriculture
Federation
www.ecaf.org

Economic Research Service - United States
Department of Agriculture
www.ers.usda.gov/whatsnew/issues

Embrapa - Recursos genéticos y biotecnología
www.cenargen.embrapa.br/

Environmental Protection Agency - Office of
Pesticide Programs
www.epa.gov/opprd001/factsheets

EurekaAlert!
www.eurekaalert.org/



Europabio

www.europabio.be/

European Association for Bioindustries

www.europabio.org

European Commission-Food Safety

http://ec.europa.eu/index_es.htm

European Federation of Biotechnology

<http://www.efb-central.org/>

European Food Safety Authority

<http://www.efsa.europa.eu/>

European Weed Research Society

<http://www.ewrs.org/>

FAB - Foro Argentino de Biotecnología

www.foarbi.org.ar

Genoma España

www.gen-es.org

ILSI - International Life Science Institutes

www.ilsa.org/

Information Systems for Biotechnology

www.isb.vt.edu/

Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos

www.iata.csic.es

Instituto de Biotecnología - Universidad de Granada

http://www.ugr.es/pages/departamentos_institutos/institutos/instituto_biotecnologia

Instituto Técnico de Gestión Agrícola de Navarra

www.itga.com

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

www.ivia.es

International Center for Genetic Engineering and Biotechnology

www.icgeb.trieste.it/biosafety

ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications

www.isaaa.org/

Modern biotechnology in food

www.eatonline.net/english/education/modern_biotechnology/modern_biotechnology.htm

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

www.fao.org/inicio.htm

Organización Mundial para la Salud (OMS) - 20 preguntas sobre alimentos transgénicos

www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/20questions_es.pdf

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

www.oecd.org/ehs/service.htm

Plant Pesticide Regulatory Decisions - Environmental Protection Agency

<http://www.aphis.usda.gov/>

PorQué Biotecnología

www.porquebiotecnologia.com.ar/



Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

www.unep.ch

REDBIO/FAO Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal para América Latina y Caribe

www.redbio.org/

SciDev.Net - Science and Development Network

www.scidev.net

SEBIOT - Sociedad Española de Biotecnología

www.agrohispana.com/escuela/sebiot.asp

The Alliance for Better Foods

www.betterfoods.org

Glosario

A

Abiótico

Relacionado con los factores físicos, químicos y otros factores no vivientes del ambiente, como la temperatura, la salinidad, los minerales, el agua, etc.

Ácido desoxirribonucleico o ADN

Ácido nucleico que constituye la información genética de los seres vivos.

Agrobacterium tumefaciens

Bacteria que habita el suelo y forma tumores en ciertas plantas, generalmente en la base del tallo.

Durante la infección transfiere parte de su material genético a las células de la planta. Empleada en ingeniería genética como vector de ADN para obtener plantas transgénicas.

Agricultura sustentable o sostenible

Agricultura viable económicamente, especialmente en lo que se refiere a la producción de alimentos abundantes, y que hace un uso racional de los recursos naturales.

Alimento funcional (o nutraceutico)

Alimento que provee un beneficio para la salud, además de sus propiedades nutricionales, o beneficios médicos, como la prevención o tratamiento de enfermedades.

Alógama

Especie que se reproduce esencialmente por polinización cruzada, como por ejemplo el maíz.

Aminoácido

Molécula que contiene al menos un grupo amino y un grupo carboxilo. Los aminoácidos se unen entre sí para formar las proteínas.

Análisis del riesgo

Procedimiento que consta de la evaluación, manejo y comunicación del riesgo, y que se realiza para examinar la naturaleza de las consecuencias negativas para la salud y para el medio ambiente que puede producir un determinado acontecimiento.

Arabidopsis thaliana

Especie usada en investigación científica como modelo de plantas, debido a su corto tiempo de generación y a su genoma pequeño. Es fácil de cultivar y de transformar genéticamente.

Arroz dorado

Arroz obtenido por ingeniería genética y con alto contenido de beta-caroteno, precursor de la vitamina A.

Autógama

Especie que se reproduce por autofecundación, como por ejemplo la soja.

B

Bacillus thuringiensis (Bt)

Especie de bacteria que produce toxinas con propiedad insecticida.

Biocombustible

Combustible que se produce a partir de materiales biológicos.

Biodegradación

Proceso por el cual un compuesto se descompone por acción de agentes biológicos.

Biodiesel

Combustible o aditivo producido a través de la reacción del aceite vegetal o de la grasa animal con el metanol, en presencia de un catalizador, para dar glicerina y biodiesel (metil-ésteres).

Biodiversidad

Conjunto de todas las especies de plantas y animales, su material genético, y los ecosistemas de los que forman parte.

Biofármaco

Producto farmacéutico que se produce por biotecnología. Se refiere a un amplio grupo de moléculas, incluyendo las proteínas recombinantes, anticuerpos monoclonales, y moléculas usadas en terapia génica e ingeniería de tejidos.

Bioinformática

Término que describe las aplicaciones de la computación e informática para organizar, interpretar y predecir estructuras y funciones biológicas. Se la aplica en el contexto del análisis

de las secuencias de ácidos nucleicos y proteínas.

Biopharming

Del inglés, uso de plantas o animales transgénicos para la fabricación de fármacos.

Biorremediación (o biocorrección)

Uso de agentes biológicos para tratar (remediar) suelos y aguas contaminadas.

Bioseguridad

Políticas y procedimientos adoptados para garantizar la segura aplicación de la biotecnología, para la salud y el ambiente.

Biotecnología

Toda aplicación tecnológica que utilice organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos. O bien: empleo de organismos vivos para la obtención de un producto o servicio útil para el hombre.

Biotecnología moderna

Biotecnología que emplea tecnologías modernas, como la ingeniería genética.

Biótico

Relativo a la vida. En agronomía, relacionado con factores biológicos como hongos, bacterias, virus, nematodos, insectos, etc.

Bt

Abreviatura de *Bacillus thuringiensis*. Cuando se refiere a un cultivo, es aquel al que se le ha introducido un gen de esta bacteria (toxina Cry) con el fin de hacerlo resistente a cierta plaga de insectos.

C

Célula

Unidad mínima estructural y funcional de los organismos vivos.

Celulosa

Hidrato de carbono insoluble formado por microfibrillas de glucosa. Componente principal de la pared de las células vegetales.

Centro de origen

Zona geográfica donde una especie vegetal, domesticada o silvestre, adquirió sus propiedades distintivas.

Clonación de células u organismos

Proceso de multiplicación de células genéticamente idénticas, a partir de una única célula. Para organismos, obtención de individuos a partir de una célula somática (no sexual), de modo que los individuos clonados son iguales al original.

Clonación de genes o fragmentos de ADN

Metodología que permite multiplicar un gen o fragmento de ADN en una bacteria de laboratorio.

Codex Alimentarius

Código alimentario que reúne las normas alimentarias en el ámbito internacional.

Control biológico

Dstrucción total o parcial de una población de patógenos, por medio de otros organismos vivos.

CP4 EPSPS

Abreviatura de la proteína 5-enolpiruvil-shiquimato 3-fosfato sintasa de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* CP4, que confiere tolerancia al herbicida glifosato.

Cultivar

Población de plantas cultivadas obtenidas para fines comerciales. Son homogéneas genéticamente y presentan características de importancia agronómica que no poseen otras plantas de la especie. Se identifica por un nombre específico, similar a una marca registrada, y está regulado por el Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (ICNCP, por sus siglas en inglés).

D

Derechos de Propiedad Intelectual

Marco legal que permite que los obtentores controlen el uso comercial de sus productos.

E

Edáfico

Relativo al suelo.

Enzima

Macromolécula biológica que actúa como catalizador. La mayoría de las enzimas son proteínas, aunque ciertos ARN, llamados ribozimas, también tienen actividad catalítica.

Equivalencia sustancial

Concepto desarrollado por la Organización para

la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD 1993), y luego avalado por la FAO y la OMS, para la evaluación de riesgo de los alimentos que derivan de las plantas genéticamente modificadas. Este concepto se basa en un enfoque comparativo, y establece que si las características y composición del nuevo alimento son equivalentes a los de sus pares convencionales con un historial de consumo seguro, significa que el nuevo producto no será menos seguro bajo patrones de consumo y prácticas de procesamiento similares.

Estrés hídrico

Estrés que se produce cuando una planta no absorbe el agua que pierde por transpiración.

Etanol (o alcohol etílico)

C₂H₅OH, alcohol producido por fermentación de los carbohidratos y que se usa en las bebidas alcohólicas y para otros fines industriales. Para la fermentación se emplean levaduras del género *Saccharomyces*.

Evaluación de riesgo (para OGM)

Proceso por el cual se evalúa la probabilidad de que un cultivo transgénico (o sus subproductos) presente efectos adversos para el ambiente cuando se lo cultiva, y para la salud humana o animal, cuando se lo consume como alimento.

Evento (de transformación)

Recombinación o inserción particular de ADN ocurrida en una célula vegetal a partir de la cual se originó la planta transgénica. Inserción en el genoma vegetal en forma estable y conjunta, de uno o más genes que forman parte de una construcción definida.

F

FAO

Sigla en inglés para Food and Agriculture Organization of the United Nations; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FDA (Food and Drug Administration)

Administración de Alimentos y Drogas de Estados Unidos.

Fenotipo

Conjunto de todas las características observables de un organismo, sean éstas hereditarias o no.

Fitomejorador (en inglés breeder)

Persona que trabaja en la selección y obtención de nuevas y mejores variedades vegetales.

Fitorremediación

Empleo de plantas para remover contaminantes del suelo o del agua.

Fitosanitario

Relacionado con la prevención y curación de las enfermedades de las plantas.

Fotosíntesis

Serie de reacciones complejas que ocurren en los cloroplastos de las plantas y en algunas bacterias, y por la cual la energía lumínica es usada para generar hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono, con consumo de agua y liberación de oxígeno.

G

Gen

Unidad física y funcional del material hereditario que se transmite de generación en generación. Desde el punto de vista molecular, es la secuencia de ADN completa necesaria para la producción de una proteína o un ARN funcional.

Gen marcador (marcador molecular)

Segmento de ADN cuya herencia se puede rastrear. Puede ser un gen o un segmento sin función conocida. Dado que las secuencias de ADN que se encuentran contiguas en un cromosoma tienden a heredarse juntas, los marcadores se usan como herramientas para rastrear el patrón hereditario de genes que aún no han sido identificados, pero cuyas ubicaciones aproximadas se conocen.

Gen marcador de selección

En ingeniería genética, gen que se introduce junto con el gen que se desea expresar y que confiere resistencia a alguna sustancia letal para la célula o alguna ventaja adaptativa sobre las células que no lo incorporaron. Este gen permite seleccionar a las células transformadas.

Genes acumulados (o apilados, en inglés “stacked genes”)

Término empleado en la generación de cultivos transgénicos. Se refiere a la combinación de características deseadas en una única línea, obtenida por cruzamiento entre dos eventos parentales que contienen los transgenes correspondientes.

Genoma

Toda la información genética contenida en una célula u organismo.

Genómica

Área de la ciencia que estudia los genomas de los organismos.

Genotipo

Constitución genética completa de una célula u organismo. También suele referirse a la combinación de los alelos de uno o más loci específicos.

Germoplasma

La variabilidad genética total, representada por células germinales, disponibles para una población particular de organismos.

Glifosato

Compuesto activo de algunos herbicidas que se usan para eliminar un amplio espectro de malezas. Actúa inhibiendo la función de la enzima 3-enolpiruvil-shiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS).

GRAS

Sigla del inglés Generally Recognized as Safe (Generalmente Reconocido como Seguro). Designación que la Administración de Alimentos y Drogas de Estados Unidos (FDA) otorga a sustancias consideradas seguras para la salud, y que por lo tanto no requieren nuevas evaluaciones (por ejemplo, la sal de mesa, la pimienta, el polvo de hornear, el extracto de levaduras, etc.).

GURT

Sigla para Genetic Use Restriction Technology (Tecnologías de restricción del uso genético). Conjunto de tecnologías que limitarían el uso de la segunda generación de semillas transgénicas, haciéndolas estériles (tecnología V-GURT), o impidiendo que se exprese el rasgo de interés introducido (tecnología T-GURT).

H

Herbicida

Compuesto o mezcla de compuestos que eliminan o impiden el desarrollo de las hierbas. Se lo emplea para controlar las malezas en los cultivos.

Hibridación

En el mejoramiento vegetal, producción de nuevas variedades (híbridos) por cruzamiento.

Híbrido

Descendencia de dos progenitores que difieren en una o más características heredables, originada por el cruzamiento de dos variedades diferentes o de dos especies diferentes.

I

In vitro

Reacción o proceso que ocurre en un medio libre de células. También se emplea para distinguir a aquellas células que crecen en cultivo, fuera del organismo de origen.

Ingeniería genética

Conjunto de técnicas que permiten aislar genes

o fragmentos de ADN y transferirlos de un organismo a otro. También, una serie de técnicas que permiten obtener un organismo recombinante o transgénico, es decir, portador de un gen proveniente de otro organismo o transgén. Sinónimo de metodología o tecnología del ADN recombinante.

Inseminación artificial

Introducción de semen en el útero de la hembra por inyección, para producir la fecundación.

Introgresión

Introducción de genes o alelos nuevos en una población por hibridación, seguida de retrocruzamiento.

Invernadero

Recinto en el que la temperatura, la humedad y otros factores ambientales son mantenidos constantes para favorecer el cultivo de las plantas.

L

Levaduras

Grupo de hongos unicelulares que se dividen por formación de esporas o por segmentación. Algunos de ellos, como los del género *Saccharomyces*, son empleados en los procesos de fermentación que permiten la fabricación de pan y bebidas alcohólicas.

Leyes de Mendel

Leyes que resumen la teoría de Gregor Mendel sobre cómo se heredan las características genéticas.

Línea de base

Observaciones o datos empleados para comparar o como controles.

Líneas isogénicas

Cepas o variedades de organismos casi idénticas genéticamente, salvo en los genes que ese están considerando en particular.

Locus

En genética, sitio específico del cromosoma donde se encuentra un determinado gen.

M

Macronutrientes

Elementos químicos inorgánicos que se necesitan en grandes cantidades para el crecimiento de un organismo, como el nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, magnesio y azufre.

Maleza

Planta herbácea silvestre, sin valor comercial u ornamental, y que es considerada un estorbo para el crecimiento de las plantas útiles.

Mapa genético

Orden relativo de los genes en un cromosoma.

Marcador de selección

Ver gen marcador de selección. Marcador genético Ver gen marcador.

Medio de cultivo

Mezcla compleja de nutrientes orgánicos e inorgánicos preparada especialmente para cultivar células, bacterias u otros organismos.

Metabolómica

Estudio de todos los metabolitos de una célula, tejido u organismo.

Metodología del ADN recombinante

Sinónimo de “ingeniería genética”.

Micotoxinas

Sustancias tóxicas producidas por diversos hongos que crecen sobre semillas y otros productos agrícolas, capaces de causar enfermedad en el hombre o en los animales que las ingieren.

Micronutrientes

Elementos químicos inorgánicos necesarios en muy pequeñas cantidades para el crecimiento de un organismo (hierro, cobre, zinc, etc.).

Micropropagación

Propagación de plantas en un ambiente artificial controlado, empleando un medio de cultivo nutritivo adecuado.

Modelo (especie u organismo)

Sistema biológico muy bien caracterizado y que como referencia para entender mecanismos o fenómenos básicos. Se supone que los descubrimientos realizados en organismos modelo son válidos también para otros organismos. Por ej., *Arabidopsis thaliana* es usada como modelo en biología molecular de plantas, *Drosophila melanogaster* es modelo de desarrollo y citogenética, etc.

Monitoreo biológico

Uso de organismos vivos para evaluar la calidad de un efluente.

Mutagénesis

Inducción de cambios en el ADN (mutaciones) usando métodos físicos o químicos (mutágenos).

N

Nemátodos (o nematodos)

Orden de gusanos cilíndricos. Aunque los hay de vida libre, como *Caenorhabditis elegans*, muchos son parásitos de plantas y animales.

Nutriente

Sustancias presentes en los alimentos y que resultan útiles para el metabolismo. Corresponden a los grupos genéricamente denominados proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas, minerales y agua.

Nutrigenómica

Disciplina encargada de estudiar las interacciones entre los nutrientes y los genes.

O

Omega 3

Ácidos grasos poliinsaturados presentes en aceites de pescado y algunas semillas. Son ácidos grasos esenciales, y su consumo está asociado a ciertos efectos beneficiosos para la salud, como la reducción del colesterol en sangre.

Organismo Genéticamente Modificado (OGM)

Cualquier organismo cuyo material genético ha sido modificado de una manera que no se produce en la naturaleza. Entran en esta definición

las modificaciones producidas por las técnicas de ADN recombinante o ingeniería genética, por la microinyección directa, y por fusión celular.

Organismo Vivo Modificado (OVM)

Según el Convenio sobre Diversidad Biológica, “organismo vivo que posee una nueva combinación de material genético, obtenida mediante el uso de la biotecnología moderna.”

P

Patente

Derecho exclusivo otorgado a la propiedad de un invento como contrapartida social a la innovación.

Plaga

Situación en la cual una especie animal o vegetal produce daños a intereses de las personas (salud, cultivos, animales domésticos, etc.). En agricultura, término asociado a los insectos y malezas.

Plántula

Vástago enraizado regenerado de un cultivo celular por embriogénesis u organogénesis. Origina una planta normal cuando se la transplanta al suelo.

Poliinsaturado (ácido graso)

Ácido graso que tiene más de un enlace carbono-carbono insaturado (sin hidrogenar).

Polímero

Gran molécula compuesta por muchas subunidades moleculares similares o monómeros

(por ej., ácidos nucleicos, proteínas, polisacáridos). unidos por uniones peptídicas.

Polinización cruzada

Transferencia de polen de una antera de una planta al estigma de la flor de otra planta.

Polipéptido

Polímero lineal compuesto de aminoácidos. Las proteínas están formadas por uno o más polipéptidos.

Poliploide

Célula, tejido u organismo que posee más de dos copias del genoma haploide (por ejemplo, triploide, tetraploide, etc.).

Polisacárido

Polímero compuesto por muchos azúcares simples (monosacáridos) unidos en una larga cadena, como el glucógeno, el almidón y la celulosa.

Presencia adventicia

Presencia no intencional e incidental de trazas de un tipo de semilla, grano o producto alimenticio en otro. Esto puede ocurrir por una serie de razones: flujo de polen, mezcla durante la cosecha, transporte, almacenamiento y procesamiento, error humano, etc.

Productividad

Cantidad de producto que se obtiene por unidad de cierto factor. Los incrementos en la productividad se derivan del uso eficiente de dichos factores.

Proteína

Macromolécula formada por muchos aminoácidos

Proteína recombinante

Proteína que se origina a partir de un ADN recombinante.

Proteoma

Todas las proteínas que tiene una célula o tejido en un momento dado y en determinadas condiciones.

Protocolo

Documento de normalización que establece su justificación, los objetivos, el diseño, la metodología y el análisis previsto de los resultados, así como las condiciones bajo las que se realizará y desarrollará.

Protocolo de Bioseguridad (o Protocolo de Cartagena)

Acta de acuerdo internacional firmado para regular el tránsito de los organismos vivos modificados por biotecnología moderna.

Proyecto Genoma

Programa de investigación cuyo objetivo es determinar la secuencia completa de nucleótidos de los cromosomas de una determinada especie.

Q

QTL (Quantitative Trait Locus)

Locus de un carácter cuantitativo, cuya variación alélica está relacionada con la variación de un carácter cuantitativo.

R

Recombinación genética

Proceso por el cual los cromosomas o las moléculas de ADN se cortan y ligan en nuevas combinaciones. Ocurre naturalmente en las células como resultado del intercambio de ADN durante la meiosis. También se produce durante la integración en el genoma de un gen heterólogo (transgén).

Recombinante

Relacionado o producido por la metodología de ADN recombinante o ingeniería genética.

Recursos genéticos

Especies de plantas, animales y microorganismos de interés socio-económico actual o potencial para su uso en programas de mejoramiento genético o biotecnológico.

Regeneración

En el cultivo de tejidos vegetales, formación de las partes aéreas o embriones a partir de un callo o una suspensión de células, permitiendo la recuperación de una planta completa.

Regulador del crecimiento vegetal

Compuesto orgánico, natural o sintético que modifica o controla uno o más procesos fisiológicos específicos de las plantas (ej. giberelinas, ácido abscísico, auxinas, etileno, citocininas).

Rendimiento

En los cultivos, producción total de un cierto cultivo cosechado por área de terreno utilizada. Se mide en toneladas o quintales por hectárea.

Resistencia

Capacidad de un organismo de impedir, parcial o completamente, los efectos de un patógeno o droga.

Retrocruzamiento (o retrocruza)

Cruzamiento de un híbrido (o F1) con uno de sus progenitores o con un organismo genéticamente equivalente a uno de los progenitores.

Revolución Verde

Dramático incremento de la productividad agrícola originado a partir de 1950 como consecuencia del empleo de técnicas modernas de producción, basadas en la selección genética y la explotación intensiva facilitada por el riego y el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

Rizobios

Bacterias que viven en la rizosfera, en simbiosis con las leguminosas. El resultado de esta simbiosis es la fijación de nitrógeno.

Rizosfera

Zona del suelo en contacto con las raíces de las plantas.

Rotación de cultivos

Práctica que consiste en hacer crecer diferentes cultivos en una sucesión regular con el objetivo de ayudar en el control de plagas e infecciones, de incrementar la fertilidad del suelo, y de disminuir la erosión.

Roundup-ready® (o RR)

Nombre comercial de las variedades transgénicas resistentes al herbicida glifosato o Roundup® (marca registrada de la compañía Monsanto).

S

Sacarosa

Disacárido comúnmente llamado azúcar de mesa, formado por glucosa y fructosa, presente en muchas plantas. Forma primaria en la que se transloca el azúcar producido durante la fotosíntesis.

Saccharomyces cerevisiae

Levadura empleada en biotecnología para producir alcohol y alimentos fermentados. También se la usa para fabricar proteínas recombinantes de interés industrial, como los interferones, por ejemplo. Es una especie modelo en genética.

Salvaje (o silvestre, en inglés wild type)

Genotipo o fenotipo que se encuentra comúnmente en la naturaleza. En el laboratorio, genotipo o fenotipo estándar contra el que se comparan los mutantes o transgénicos.

Secuencia

Orden preciso de bases en un ácido nucleico o de aminoácidos en una proteína.

Segregación

Separación en la meiosis de los cromosomas (y genes) de los diferentes padres.

Selección artificial

Proceso similar a la selección natural, pero realizada por el hombre, y que se basa en la elección de los individuos que presentan las características de interés.

Selección natural

Selección (presión selectiva) ejercida por el conjunto de factores ambientales bióticos y abióticos sobre un individuo.

Semillas

Estructuras formadas por la maduración del óvulo de las plantas espermatofitas (con semillas) después de la fecundación.

Semillas artificiales

Embriones somáticos encapsulados que se plantan como si fueran semillas.

Semillas híbridas

En general, semillas obtenidas por cruzamiento de parentales diferentes. En el sentido estricto, semillas obtenidas por cruzamiento de líneas particulares, de modo que la generación F1 es uniforme y exhibe vigor híbrido.

Silenciamiento génico

Disminución o pérdida de la expresión génica debido a mecanismos que pueden actuar antes o después de la transcripción.

Susceptibilidad

Opuesto a resistencia, incapacidad de un organismo para resistir y sobrevivir en presencia de patógenos o condiciones ambientales adversas.

Sustrato

Molécula que sufre transformaciones durante una reacción catalizada por una enzima.

T

Tecnología del ADN recombinante (o ingeniería genética)

Conjunto de técnicas que permiten aislar genes o fragmentos de ADN y transferirlos de un organismo a otro. También, una serie de técnicas que permiten obtener un organismo recombinante o transgénico, o sea, portador de un gen proveniente de otro organismo.

Tecnología del ARN anti-sentido

Método para silenciar genes. Se introduce un gen que produzca un ARNm complementario al ARNm que produce el gen a silenciar. Así, estos dos ARNm interactúan y forman una estructura de dos hebras impidiendo que ocurra la síntesis de la proteína.

Tecnologías de restricción del uso genético (GURT)

Conjunto de tecnologías que limitarían el uso de la segunda generación de semillas transgénicas, haciéndolas estériles (tecnología V-GURT), o impidiendo que se exprese el rasgo de interés introducido (tecnología T-GURT).

Tejido

Grupo de células similares organizadas en una unidad estructural y funcional.

Tolerancia

Capacidad de un organismo de soportar los efectos de condiciones ambientales extremas como sequía, salinidad, altas concentraciones de drogas o herbicidas.

Toxina

Sustancia producida generalmente por microorganismos (bacterias y hongos), con capacidad de provocar un cuadro patológico en animales o humanos.

Transcriptoma

Conjunto completo de los genes activos, ARNm o transcritos de un tejido particular, en un momento dado.

Transformación

Modificación permanente y heredable de una célula como resultado de la incorporación de ADN foráneo (cuando se trata de células animales, se emplea el término “transfección” en lugar de transformación). También, conversión de una célula de mamífero normal en una célula tumoral.

Transgén

Gen que es introducido por ingeniería genética en el genoma de una planta o animal, y que se transmite de generación en generación.

Transgénico

Se refiere a una planta o animal que porta uno o más transgenes.

Transposón (o elemento transponible)

Unidad genética que se puede translocar e insertar en diferentes puntos del genoma. Generalmente se encuentra limitado por secuencias repetidas invertidas.

Tumor

Masa de células generalmente derivadas de una única célula, cuya división es descontrolada.

V

Vacuna

Antígeno o mezcla antigénica proveniente de un organismo patógeno y que se administra para producir inmunidad contra ese organismo y prevenir la enfermedad.

Vacuna comestible

Alimento (papa, banana, etc.) que contiene un antígeno capaz de prevenir una determinada enfermedad en el organismo que lo ingiere.

Vacuna de subunidades

Vacuna formada por una o más proteínas del agente infeccioso, producidas como proteínas recombinantes o por purificación a partir del patógeno.

Variedad

Grupo de plantas o animales de rango inferior a la especie. Algunos botánicos consideran que las variedades son equivalentes a las subespecies, y otros las consideran divisiones de las subespecies.

Vector (de clonado)

En ingeniería genética, vehículo empleado para introducir ADN en una célula u organismo.

Vector (de expresión)

En ingeniería genética, vehículo empleado para introducir ADN en una célula u organismo donde finalmente se va a expresar.

Vector (de una enfermedad)

Organismo (por ej., un insecto) que transmite a un agente infeccioso.

Vegetativo

Relativo a la propagación por procesos asexuales, a las partes de la planta no reproductoras, y a todos los tejidos u órganos que no están implicados en la reproducción.

Viable

Que puede completar su ciclo de vida normalmente.

Vigor híbrido

Atributo del individuo híbrido que supera en eficacia biológica a los parentales con respecto a una o varias características.

Virus

Pequeña partícula que consiste en ARN o ADN encerrado en una cubierta proteica. Sólo puede multiplicarse en la célula hospedadora adecuada.

Z

Zigoto (o cigoto)

Célula diploide (2n) resultante de la fusión de un gameto masculino y uno femenino.