



Consenso Científico sobre los **Cultivos Transgénicos y OMG**

Fuente:

FAO (2004)

Resumen & Detalles:

GreenFacts

Nivel 2 - Detalles sobre los Cultivos Transgénicos y OMG

1. ¿Qué es la biotecnología agrícola?.....	3
1.1 ¿Cómo se define la biotecnología agrícola?.....	3
1.2 ¿Cómo han evolucionado las tecnologías agrícolas a lo largo del tiempo?.....	3
2. ¿Cómo se puede aplicar la biotecnología a la agricultura?.....	4
2.1 ¿Qué son los genes?.....	4
2.2 ¿Qué podemos aprender del estudio de la estructura genética de una especie?.....	4
2.3 ¿Qué son los marcadores moleculares y cómo se utilizan?.....	5
2.4 ¿Qué técnicas de laboratorio pueden ayudar a la cría y selección?.....	6
2.5 ¿Cómo transferir características de una especie a otra?.....	6
2.6 ¿Qué características se pueden transferir a las plantas?.....	7
3. ¿Cuáles son los posibles efectos de la selección clásica de plantas?.....	8
4. ¿Es seguro comer alimentos a base de plantas modificadas genéticamente?.....	8
4.1 ¿Podrían estos alimentos tener efectos sobre la salud?.....	8
4.2 ¿Cómo se debería evaluar la seguridad de los alimentos transgénicos?.....	9
4.3 ¿Cómo deberían etiquetarse los alimentos modificados genéticamente?.....	9
5. ¿Qué efectos podrían tener los cultivos transgénicos sobre el medio ambiente?.....	10
5.1 ¿Qué efectos directos podrían tener sobre el medio ambiente?.....	10
5.2 ¿Qué efectos indirectos podrían tener sobre el medio ambiente?.....	11
5.3 ¿Cómo deberían evaluarse estos efectos ambientales?.....	12
6. ¿Cuáles son las implicaciones de las tecnologías genéticas para los animales?.....	13
6.1 ¿Cuáles son los posibles efectos de los alimentos transgénicos para animales?.....	13
6.2 ¿Cuáles son los posibles efectos de animales modificados genéticamente?.....	13
7. ¿Están los OMG regulados por acuerdos internacionales?.....	14
7.1 ¿Cómo se regula el comercio agrícola internacional?.....	14
7.2 ¿Qué convenciones abordan los efectos ambientales de los OMG?.....	15
8. Conclusiones.....	15
8.1 Conclusiones sobre la biotecnología agrícola.....	15
8.2 Conclusiones sobre los efectos sobre el medio ambiente y la salud.....	16

Este Dossier es un resumen fiel del destacado informe de consenso científico publicado en 2004 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO):
"El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2003-2004"

El Dossier completo se encuentra disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/omg/>



Este documento pdf corresponde al Nivel 2 de un Dossier de GreenFacts. Los Dossiers de GreenFacts, articulados en torno a preguntas y respuestas, se publican en varios idiomas y en un formato exclusivo de fácil lectura con tres niveles de complejidad creciente.

- El Nivel 1 responde a las preguntas de forma concisa.
- El Nivel 2 profundiza un poco más en las respuestas.
- El Nivel 3 reproduce la fuente original, un informe de consenso científico internacional resumido por GreenFacts en los niveles 1 y 2.

Todos los Dossiers de GreenFacts en español están disponibles en: <http://www.greenfacts.org/es/>

1. ¿Qué es la biotecnología agrícola?

1.1 ¿Cómo se define la biotecnología agrícola?

La biotecnología puede ser definida como cualquier tecnología que usa organismos vivos para crear o modificar un producto con un objetivo práctico. Algunas técnicas tradicionales llevan utilizándose miles de años, por ejemplo levaduras naturales se han usado para hacer pan, cerveza y vino, a través de un proceso llamado fermentación.



Durante el último siglo, se han usado técnicas más sofisticadas usando otros microorganismos para hacer antibióticos, aminoácidos, vitaminas y otros productos útiles. La biotecnología moderna, desarrollada durante los últimos 30 años, realiza habitualmente cambios sobre el material hereditario de un organismo con una técnica llamada ingeniería genética o modificación genética.

La biotecnología moderna se usa actualmente de forma industrial para crear productos útiles tales como vacunas, antibióticos, enzimas y hormonas como la insulina.

En la agricultura, se aplican las biotecnologías a los cultivos para desarrollar plantas resistentes a plagas, enfermedades, inundaciones, frío o calor, así como para mejorar el contenido nutricional de plantas.

Cuadro 1: Cronología de la biotecnología agrícola [véase el anexo 1, pág. 17]

1.2 ¿Cómo han evolucionado las tecnologías agrícolas a lo largo del tiempo?

1.2.1 Durante alrededor de 10 000 años, los seres humanos han intentado mejorar algunas características de plantas seleccionando y cultivando individuos con características deseadas. Como consecuencia, las plantas modernas son ahora sustancialmente diferentes de sus ancestros.

El mejoramiento clásico de cultivos implica un cruzamiento de dos individuos de la misma especie o de dos especies relacionadas. Cada progenitor lega la mitad de su material genético (ADN) a su descendiente, por lo que se pueden introducir características no benéficas junto a las benéficas. Este método convencional es por lo tanto lento y exigente, ya que varias generaciones podrían ser necesarias para conservar las buenas características y eliminar las malas. Las biotecnologías convencionales o modernas pueden ser usadas para hacer que el proceso sea más eficaz.

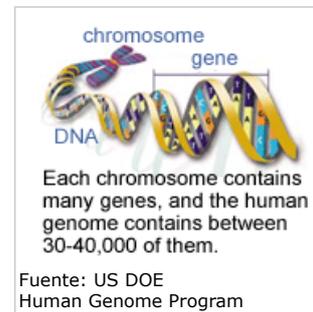
1.2.2 Las características convenientes y nocivas son determinadas por los genes que llevan las plantas progenitoras y pueden ser diferentes como resultado de la variación natural en los genes. Se ha conseguido aumentar ésta variación genética tratando a las plantas con mutágenos que provocan cambios en el material genético de la planta. Las plantas individuales obtenidas por este método pueden tener características genéticas que pueden ser difíciles de encontrar en la naturaleza.

2. ¿Cómo se puede aplicar la biotecnología a la agricultura?

2.1 ¿Qué son los genes?

El código que regula todos los procesos biológicos está contenido en el ADN presente en todas las células de los organismos vivos.

Solo una pequeña parte del ADN de una célula está constituida por genes, que contienen la información codificada. Las células utilizan esta información para producir proteínas, las herramientas y los componentes básicos necesarios para que funcionen los procesos biológicos.



Aún no se conoce claramente cuál es el papel de la parte restante del ADN. El ADN de las células está generalmente organizado en pares de cromosomas correspondientes, donde se hereda un juego de cromosomas de cada progenitor. El conjunto completo de cromosomas de un organismo, y por lo tanto el conjunto completo de información genética, se conoce como genoma.

El Proyecto de Secuenciación del Genoma Humano (Human Genome Sequencing Project) ha decodificado la información genética contenida en las células humanas. En el proyecto se han desarrollado diversas tecnologías y métodos que se pueden aplicar a todos los organismos vivos. Otros importantes proyectos de secuenciación del genoma se basan en la colaboración internacional para estudiar algunos cultivos, tales como el arroz, que se consideran representativos de sus grupos biológicos.

2.2 ¿Qué podemos aprender del estudio de la estructura genética de una especie?

2.2.1 Los avances más importantes en la biotecnología agrícola se han realizado en el ámbito de las investigaciones sobre los mecanismos genéticos en que se basan diversas características de importancia económica y de la genómica.

La genómica es el estudio de la estructura completa del genoma. Proporciona información sobre la estructura de los genes y por lo tanto es una base para entender las estructuras de las proteínas. Por lo tanto, con una lista de sus genes, se puede crear el modelo teórico de la biología de un organismo.

Comparar la posición relativa de genes en los cromosomas y en las secuencias de ADN en diferentes organismos reducirá de forma significativa el tiempo necesario para identificar y seleccionar genes potencialmente útiles. Para la mayoría de tipos de cultivos, ganado y enfermedades, se han estudiado algunas especies como especies modelo ya que se pueden usar para entender organismos relacionados. Se están acumulando de forma rápida conocimientos sobre el genoma de las especies modelo.

2.2.2 Diferentes especies de plantas suelen tener una estructura de genoma muy parecida en cuanto al contenido genético y al orden de los genes en los cromosomas. Esa similitud se conoce como "sintenia". Esto significa que la posición que ocupa un gen -que define características particulares- puede ser fácilmente determinado comparando un genoma con otro. Por lo tanto, no es necesaria para nuestra comprensión la secuenciación completa de los genomas de todas las plantas de cultivo, con todos los gastos que eso implicaría.

Como consecuencia de la sintenia, el conocimiento de un cultivo específico en términos de bioquímica, fisiología y genes ahora puede transferirse a otros cultivos. Esto es especialmente importante en el caso de los cultivos que carecen de interés comercial y que son usados en la agricultura de subsistencia en muchas partes del mundo. Estos cultivos no han atraído las mismas inversiones en investigación que se han destinado al trigo, el arroz y el maíz en el siglo pasado.

2.3 ¿Qué son los marcadores moleculares y cómo se utilizan?

2.3.1 Los marcadores moleculares son fragmentos específicos del ADN que pueden ser identificados dentro del genoma. Los marcadores se encuentran en lugares bien definidos del genoma. Se usan para "marcar" la posición de un gen específico o la herencia de una característica particular. En un cruzamiento genético, las características de interés normalmente seguirán vinculadas a los marcadores moleculares. Por lo tanto, se pueden seleccionar los individuos en los que esté presente el marcador molecular, ya que el marcador indica la presencia de la característica deseada.

2.3.2 Los marcadores moleculares se pueden usar para seleccionar plantas o animales que lleven genes que afecten a rasgos económicamente importantes como el rendimiento de la fruta, la calidad de la madera, la resistencia a enfermedades, la producción de leche y carne, o la grasa corporal. La medición de estas características por medio de métodos convencionales es mucho más difícil, requiere más tiempo y es más cara, ya que hay que esperar a que el organismo alcance la madurez.

2.3.3 Los marcadores moleculares se han usado para seleccionar plantas con el objetivo de crear variedades de mijo perla resistentes al mildiú. El mijo perla es un cereal cultivado como alimento y como paja, en las zonas más calurosas y áridas de África y Asia.

2.3.4 Los marcadores moleculares son útiles para medir el alcance de la variación a nivel genético, dentro de las poblaciones y entre ellas. Esto puede guiar a actividades de conservación genética para cultivos y ganado, así como la gestión de los bosques y de la pesca.

Por ejemplo, las encuestas mundiales indican que alrededor del 40% de las variedades de animales de ganado están en peligro de extinción. La mayoría de estas variedades están presentes solo en los países en vías de desarrollo, y con frecuencia se sabe poco de ellas o de la capacidad de mejorarlas. Pueden contener genes valiosos que confieran características benéficas tales como la resistencia a enfermedades que pueden ser útiles para generaciones futuras. Las biotecnologías modernas pueden ayudar a contrarrestar las tendencias de pérdida de diversidad genética en los sectores alimenticio y agrícola.

2.3.5 Los marcadores moleculares han sido ampliamente utilizados para identificar la composición genética de organismos y para obtener su "huella digital genética". Este conocimiento puede ser muy importante para la gestión de bosques, la conservación de especies en peligro de extinción, y para criar y rastrear ganado.

2.4 ¿Qué técnicas de laboratorio pueden ayudar a la cría y selección?

2.4.1 Los jardineros crean nuevas plantas de forma rutinaria simplemente plantando esquejes de las que ya existen. La micropropagación, que consiste en crear plantas tomando pequeñas secciones de plantas y cultivarlas en tubos de ensayo, es simplemente una variante más sofisticada y eficaz de esta técnica.



Investigación sobre el trigo del Indian Agricultural Research Institute.
Fuente: FAO

A menudo, es una forma muy efectiva de producir un gran número de plantas prácticamente idénticas a partir de una planta que tiene las características deseadas. Esta técnica se usa intensamente en cientos de laboratorios en todo el mundo, por ejemplo para generar bananos libres de enfermedades, y tiene usos potenciales en la silvicultura.

2.4.2 En la selección in vitro, se cultivan células de plantas en laboratorios, en condiciones adversas. Esto permite la selección de células que, por ejemplo, son resistentes a enfermedades o tolerantes a herbicidas, metales, sales, o bajas temperaturas antes de que crezca toda la planta. Sin embargo, la selección in vitro sigue teniendo poco uso para algunas características como la calidad de la madera o la forma del tronco de los árboles forestales, ya que estas características solo se ven cuando la planta ha crecido.

2.5 ¿Cómo transferir características de una especie a otra?

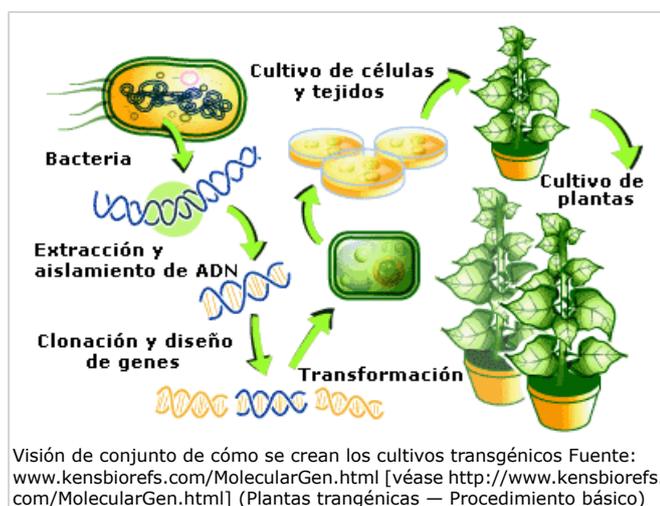
La ingeniería genética difiere del mejoramiento convencional de plantas. En un cruzamiento clásico de plantas, la mitad de los genes de un individuo proviene de cada uno de los progenitores, mientras que en la ingeniería genética se añade uno o más genes especialmente seleccionados y añadidos al genoma de la planta.

Es más, el mejoramiento convencional de plantas solo puede combinar plantas cercanas. La ingeniería genética permite la transferencia de genes entre organismos entre los cuales ningún cruzamiento es normalmente posible porque no son genéticamente compatibles. Los genes transferidos se llaman transgenes. Pueden venir de otra especie de planta o incluso de un organismo totalmente diferente (por ejemplo genes de bacterias). Estos transgenes se replican y heredan de la misma manera que en los genes naturales de plantas.

La ingeniería genética de plantas usa habitualmente un tipo de bacteria que tiene la capacidad natural de transferir ADN a algunas plantas.

Cuando la bacteria infecta la planta, penetra en sus células y transfiere el ADN modificado a la planta.

El ADN también se puede introducir por medios físicos. Llevado por partículas microscópicas de tungsteno u oro, se dispara literalmente el ADN al núcleo de la planta utilizando un "lanzagenes". Una vez que el ADN llega al núcleo de la célula, se introduce de manera aleatoria en uno de los cromosomas hospedantes y puede expresar la



característica deseada. La planta modificada genéticamente se cultiva entonces a partir de la célula transformada.

Con la ingeniería genética, un gran número de características interesantes desde un punto de vista económico se han introducido en plantas. La mayoría de los cultivos de plantas modificadas genéticamente usados hasta ahora tienen transgenes que proporcionan una resistencia a herbicidas o insectos. Para mejorar la producción de cultivos y la gestión de los suelos, la investigación está explorando cómo aumentar la variedad de características transgénicas para incluir una resistencia a inundaciones, frío, calor, suelos ácidos y metales pesados. Estas características permitirán aumentar la variedad de suelos y climas capaces de sostener la agricultura.

2.6 ¿Qué características se pueden transferir a las plantas?

2.6.1 Las plantas transgénicas pueden proveer alimentos con un contenido nutricional mejorado. Por ejemplo, el arroz dorado contiene dos genes de narciso y uno de una bacteria que, juntos, hacen aumentar los niveles de provitamina A.

Otro proyecto consiste en producir arroz con niveles más altos de provitamina A, proteínas y hierro. El "protato" es una patata creada con ingeniería genética que contiene más proteínas de lo normal porque incluye un gen de la planta de amaranto, una planta sudamericana comestible. En la India, donde la patata es el producto principal de los pobres, el protato podría aumentar el acceso a ciertos aminoácidos esenciales. Los detractores de este proyecto dicen que las patatas, desde un principio, no contienen grandes cantidades de proteínas, por lo que incluso doblando el contenido en proteínas sólo sería una pequeña contribución para solucionar el problema de malnutrición en la India.

Otros proyectos tienen como objetivo producir aceites con un contenido menor de ácidos grasos no deseados o reducir los alérgenos en alimentos comunes como cacahuets, soja y cereales. Los árboles con un contenido reducido de lignina podrían ser útiles para la industria papelera y podrían reducir la cantidad de sustancias químicas contaminantes que se usan en los procesos de producción.

2.6.2 En más del 30% de las tierras de cultivo, principalmente en los países en desarrollo, el **aluminio puede estar presente en el suelo** en una forma que limita el crecimiento de las plantas. Para prevenir estos efectos dañinos, se suele añadir cal al suelo para reducir su acidez. Sin embargo, es una medida costosa y sus beneficios son temporales ya que el aluminio permanece en el suelo.

Un nuevo enfoque consiste en desarrollar nuevas variedades de plantas que son más tolerantes al aluminio. Por ejemplo, el centeno es cuatro veces más resistente al aluminio que el trigo. Se identificó en el centeno un gen que controla la tolerancia al aluminio y (se determinó) su posición en el genoma. El hecho de conocer la posición de este gen en el genoma del centeno puede ayudar a situarlo en otros cultivos como el trigo. Por lo tanto dentro de una especie de cultivo se podrían identificar y seleccionar las plantas que son más resistentes que otras al aluminio para cultivarlas. De forma alternativa, también se podría transferir el gen del centeno a otras especies cercanas, como el trigo.

Estas técnicas se podrían aplicar para mejorar muchas características en otras especies de cultivo.

3. ¿Cuáles son los posibles efectos de la selección clásica de plantas?

En los cruzamientos clásicos de plantas, se ha prestado poca atención a los posibles impactos de nuevas variedades de plantas en la seguridad alimentaria o en el medio ambiente. Los cruzamientos clásicos y la selección artificial pueden crear combinaciones de genes que difícilmente podrían sobrevivir en la naturaleza. En algunos casos, esas combinaciones de genes han causado efectos negativos a la salud humana. Por ejemplo, se ha encontrado una variedad cultivada de patata que contiene niveles excesivos de toxinas presentes de forma natural.

Los impactos potenciales de cultivos mejorados de forma convencional sobre el medio ambiente o sobre las variedades tradicionales de campesinos generalmente no han sido objeto de controles reguladores. Algunas de las preocupaciones sobre transferencia de genes entre plantas domesticadas y salvajes suscitadas por la introducción de plantas modificadas genéticamente también se aplican a los cultivos convencionales.

Se cultivan plantas altamente domesticadas por todo el mundo y la migración fuera de zonas cultivadas rara vez ha acarreado problemas serios. Se han observado algunos intercambios de material genético (flujo de genes) entre plantas cultivadas y sus parientes salvajes, pero generalmente no se ha considerado un problema.

4. ¿Es seguro comer alimentos a base de plantas modificadas genéticamente?

4.1 ¿Podrían estos alimentos tener efectos sobre la salud?

La cuestión de la seguridad de los alimentos modificados genéticamente ha sido revisada por el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC o ICSU, del inglés International Council of Scientific Unions) que basó su opinión en 50 evaluaciones científicas independientes y autorizadas de distintas partes del mundo. Los cultivos modificados genéticamente que están disponibles en la actualidad – y los alimentos derivados de estos – han sido juzgados seguros para comer, y los métodos utilizados para examinarlos se han considerado apropiados.

Millones de personas alrededor del mundo han consumido alimentos derivados de plantas modificadas genéticamente (principalmente maíz, soja y colza) y, hasta la fecha, no se han observado efectos adversos. Sin embargo, la falta de pruebas sobre efectos negativos no significa que los nuevos alimentos modificados genéticamente no tengan ningún riesgo. La posibilidad de efectos a largo plazo de las plantas modificadas genéticamente no puede descartarse y es necesario examinarlas caso por caso

4.1.1 Alérgenos y toxinas están presentes en algunos alimentos tradicionales y pueden afectar negativamente a ciertas personas, lo que resulta en preocupaciones sobre el hecho de que los alimentos derivados de plantas modificadas genéticamente puedan contener altos índices de alérgenos y toxinas. Un examen más exhaustivo de los alimentos modificados genéticamente presentes en el mercado actualmente no ha confirmado estas preocupaciones. Se desaconseja el uso de genes de plantas con alérgenos conocidos, y si se encontrase un producto transformado que causase un aumento del riesgo de alergias, debería pararse su producción. Todos los nuevos alimentos, incluidos aquellos derivados de cultivos modificados genéticamente, deben evaluarse con cautela.

4.1.2 Una de las preocupaciones sobre la seguridad alimenticia es la posible transferencia de genes a partir de un alimento consumido a células humanas o a microorganismos dentro del cuerpo.

Muchos cultivos genéticamente modificados fueron creados utilizando genes que proporcionan resistencia a antibióticos como marcadores. Por lo tanto, a parte de tener las características deseadas, estos cultivos modificados genéticamente contienen genes que proporcionan resistencia a antibióticos. Si estos genes se transfiriesen, dentro del tracto intestinal, de un producto alimentario a células humanas o a bacterias, esto podría acarrear el desarrollo de cepas de bacterias resistentes a los antibióticos. Aunque los científicos creen que la probabilidad de que una transferencia de este tipo ocurra es extremadamente baja, se ha desaconsejado el uso de genes que proporcionan resistencia a antibióticos.

En la actualidad se están desarrollando métodos gracias a los cuáles solo el mínimo de ADN transgénico está presente en las plantas modificadas genéticamente. Algunas de estas técnicas implican la eliminación total del marcador genético una vez concluido el proceso de selección.

4.1.3 Los científicos generalmente están de acuerdo en que la ingeniería genética puede ofrecer ciertos beneficios para la salud de los consumidores. Los beneficios directos pueden venir de una mejora de la calidad nutricional de los alimentos o de una reducción de la presencia de compuestos tóxicos y alérgenos en ciertos alimentos.

Los **beneficios indirectos para la salud** pueden venir de un menor uso de pesticidas, de un menor daño de insectos o de enfermedades a las plantas, de una mayor disponibilidad de alimentos a un precio asequible, y de la eliminación de compuestos tóxicos del suelo. Es necesaria una mejor documentación sobre estos beneficios directos e indirectos.

4.2 ¿Cómo se debería evaluar la seguridad de los alimentos transgénicos

La introducción de alimentos nuevos o modificados, tales como los alimentos modificados genéticamente, requiere un análisis de riesgos ya que toda actividad implica un riesgo, y, en algunos casos, la falta de acción también conlleva riesgo.

Las autoridades nacionales y la FAO/OMS han establecido varias directrices para la evaluación de la seguridad alimentaria de alimentos derivados de plantas modificadas genéticamente. En estas evaluaciones, se compara el alimento modificado genéticamente con su homólogo convencional, que generalmente se considera seguro por su largo historial de uso. Se compara en qué medida los diferentes tipos de alimentos pueden causar efectos dañinos o alergias, y cuántos nutrientes contienen.

Los científicos recomiendan una evaluación de la seguridad hecha caso por caso, antes de que el alimento modificado genéticamente llegue al mercado, ya que el seguimiento una vez en el mercado es más caro y difícil. El proceso de evaluación de la seguridad debería ser transparente, totalmente documentado y abierto al escrutinio público, respetando a la vez la confidencialidad de informaciones comerciales.

4.3 ¿Cómo deberían etiquetarse los alimentos modificados genéticamente?

Los consumidores pueden desear seleccionar alimentos convencionales según varios criterios tales como los métodos de producción (por ejemplo los alimentos orgánicos o de comercio justo), principios religiosos (por ejemplo alimentos kosher), o la presencia de alérgenos conocidos (por ejemplo cacahuetes).

El etiquetado de alimentos como modificados genéticamente o no modificados genéticamente puede permitir al consumidor elegir el proceso por el cual el alimento se ha producido. Sin embargo, no da información ni sobre el contenido de los alimentos, ni sobre qué riesgos o beneficios pueden ir asociados a un alimento en particular. Un etiquetado más informativo, que explique cómo se ha transformado el alimento y cuáles son los cambios en la composición del alimento, podría permitir a los consumidores evaluar estos riesgos y beneficios.

Las directrices de la FAO/OMS (que siguen en un estado preliminar) proponen etiquetar los alimentos modificados genéticamente cuando:

1. son muy diferentes de sus homólogos convencionales,
2. contienen proteínas de ADN como resultado de tecnologías de modificación genética,
3. se han producido a partir de organismos modificados genéticamente, de ADN modificado genéticamente, o de proteína modificada genéticamente, pero no los contienen.

5. ¿Qué efectos podrían tener los cultivos transgénicos sobre el medio ambiente?

5.1 ¿Qué efectos directos podrían tener sobre el medio ambiente?

La agricultura, sea del tipo que sea – de subsistencia, orgánica o intensiva – afecta al medio ambiente, por lo que cabe esperar que el uso en la agricultura de nuevas técnicas genéticas también afecte al medio ambiente.

La ingeniería genética puede o acelerar los efectos perjudiciales de la agricultura, tener el mismo impacto que la agricultura convencional, o contribuir a unas prácticas agrícolas más sostenibles y a la conservación de recursos naturales, incluida la biodiversidad.



Aunque los científicos están divididos sobre estos riesgos, están de acuerdo en que los impactos ambientales deben ser evaluados caso por caso. Recomiendan realizar un seguimiento ecológico para detectar cualquier caso imprevisto una vez que las plantas son cultivadas en el medio ambiente.

5.1.1 El flujo horizontal de genes se refiere a la transferencia de genes, habitualmente a través del polen, de especies cultivadas a sus parientes silvestres (y viceversa). Esto puede suceder ya sea con plantas convencionales o con plantas modificadas genéticamente.

Sin embargo, en el mundo, muchas de las plantas más importantes para la alimentación no son originarias de las zonas en las que se cultivan y, por lo tanto, no tienen parientes silvestres cercanos a los cuales podrían transferir genes. Por ejemplo, la patata (originaria de Sudamérica) y el maíz (originario de México) no tienen parientes silvestres en Europa. En estos casos, el flujo horizontal de genes a parientes silvestres es imposible. En los Estados Unidos, el algodón y el maíz no tienen parientes silvestres, mientras que los girasoles, las calabazas y los rábanos sí los tienen, haciendo que éstos últimos sean posibles candidatos para el flujo de genes.

En general, el flujo de genes entre plantas cultivadas y sus parientes silvestres no se considera un problema ambiental, a no ser que acarree consecuencias indeseadas. Es más,

se espera que el flujo de genes de plantas cultivadas a parientes silvestres cree híbridos con características que son ventajosas en ambientes agrícolas, pero que no prosperan en libertad. En el Reino Unido, por ejemplo, ningún híbrido entre un cultivo y un familiar salvaje nunca ha sido invasivo.

Futuras plantas modificadas genéticamente podrían ser designadas para prevenir el flujo de genes a otras plantas. Esto es importante para la coexistencia de cultivos modificados genéticamente y convencionales, y puede ser especialmente importante para las plantas modificadas genéticamente que producen sustancias de interés médico o industrial. Entre las estrategias de gestión para controlar el flujo de genes está el evitar plantar cultivos modificados genéticamente en lugares donde haya parientes silvestres, o usar zonas tampón para aislar variedades modificadas genéticamente de variedades convencionales u orgánicas.

5.1.2 Las plantas que llevan un gen "Bt" específico, producen una toxina que mata a las plagas de insectos que se alimentan de ellas, pero que es inofensivo para los seres humanos y otras especies que no se consideran plagas de insectos. El Bt se utiliza como insecticida natural en la agricultura orgánica.

Un tema controvertido es el de si el polen de las plantas Bt puede dañar a especies benéficas (tales como la mariposa monarca). Sin embargo, una serie de estudios de seguimiento han llegado a la conclusión de que bajo las condiciones del campo, el riesgo de que el polen de maíz Bt dañe a orugas de mariposa monarca es muy pequeño, especialmente si lo comparamos con otras amenazas como los pesticidas convencionales o la sequía.

En el campo, hasta este momento, no se han observado ni efectos adversos significativos sobre la fauna que no es el objetivo ni efectos a largo plazo de concentraciones más altas de Bt en suelos. Sin embargo, los científicos no están de acuerdo sobre la cantidad de pruebas necesarias para demostrar que el cultivo de especies Bt es sostenible a largo plazo.

Por lo tanto, los científicos reclaman un seguimiento continuo de tales efectos, y que los efectos del gen Bt sobre los cultivos se comparen con los efectos de otras prácticas agrícolas actuales tales como el uso de pesticidas químicos.

5.2 ¿Qué efectos indirectos podrían tener sobre el medio ambiente?

5.2.1 Los científicos están de acuerdo en que el empleo de pesticidas y de herbicidas en la agricultura convencional ha dañado los hábitats de aves de tierras de labranza, plantas silvestres e insectos y ha reducido seriamente sus poblaciones.

Los **cultivos modificados genéticamente** pueden tener efectos ambientales indirectos como resultado de cambios en las prácticas agrícolas y ambientales asociadas a las nuevas variedades.



Agricultor rociando con pesticidas jóvenes plantas de arroz en Laos.
Fuente: FAO

Sin embargo, sigue siendo un tema controvertido saber si el efecto neto de estos cambios será positivo o negativo para el medio ambiente, por lo que aún son necesarios más análisis comparativos entre nuevas tecnologías y prácticas agrícolas actuales.

Los siguientes párrafos exploran posibles beneficios ambientales:

5.2.2 El uso de cultivos modificados genéticamente que son resistentes a insectos porque llevan el gen Bt ha reducido el empleo de insecticidas sobre el maíz, el algodón y la soja.

Entre los beneficios ambientales encontramos una menor contaminación de las reservas de agua y un menor daño a insectos no objetivo. A su vez, esto puede beneficiar a la biodiversidad, si lo comparamos con los cultivos convencionales que reciben aplicaciones periódicas de pesticidas de amplio espectro. En China se han documentado beneficios para la salud de los trabajadores agrícolas debido al uso reducido de pulverizaciones de pesticidas químicos.

5.2.3 El uso de cultivos modificados genéticamente que son tolerantes a algunas formas menos tóxicas de herbicidas ha tenido como consecuencia un cambio claro a favor del uso de estas formas menos tóxicas, aunque el empleo total de herbicidas ha aumentado. Los científicos están de acuerdo en que los cultivos tolerantes a herbicidas están alentando una agricultura de bajo laboreo (lo que limita el uso de arados), lo que entraña beneficios para la conservación del suelo. Por otro lado, un mayor uso de herbicidas, incluso si son herbicidas menos tóxicos, podría perjudicar todavía más los hábitats de las aves de tierras de labranza y otras especies.

Los numerosos estudios hechos en explotaciones agrícolas para evaluar los efectos de los cultivos transgénicos resistentes a herbicidas en el Reino Unido llegaron a la conclusión de que la comercialización de estos cultivos tendría una serie de impactos sobre malas hierbas, con consiguientes efectos sobre los herbívoros, polinizadores y otras poblaciones que se alimentan de ellas. Los efectos observados sobre la biodiversidad fueron distintos para las diferentes especies modificadas genéticamente, con efectos negativos en el caso de la remolacha azucarera, efectos positivos en el caso de el maíz y ningún efecto en el caso de la colza. Los científicos reconocen que las pruebas son insuficientes para predecir los efectos a largo plazo de estos cultivos modificados genéticamente.

5.2.4 El uso extensivo de herbicidas y de cultivos resistentes a insectos podría resultar en la **aparición de insectos y malas hierbas resistentes**. Esto ha sucedido a menudo como consecuencia de la pulverización de herbicidas e insecticidas convencionales. Diversas especies de malas hierbas han desarrollado una resistencia a herbicidas específicos que se usan ampliamente en combinación con cultivos modificados genéticamente y resistentes a herbicidas. De forma similar, los cultivos Bt resistentes a insectos podrían acarrear la aparición de insectos resistentes al Bt. La extensión y posible severidad de los impactos de insectos y malas hierbas resistentes son objetivo de una investigación científica continua.

5.2.5 Se están desarrollando nuevos cultivos modificados genéticamente que pueden resistir a **estreses ambientales**, tales como la sequía, la salinidad, o la presencia de aluminio en el medio ambiente. Podrían permitir el cultivo de suelos que en la actualidad tienen una baja producción agrícola. Los científicos están de acuerdo en que estos cultivos pueden ser benéficos o perjudiciales para la sociedad, dependiendo del cultivo, el rasgo y el medio ambiente

5.3 ¿Cómo deberían evaluarse estos efectos ambientales?

El amplio consenso es que las plantas modificadas genéticamente deberían evaluarse utilizando métodos de evaluación de base científica y caso por caso, según las especies, el rasgo y los agroecosistemas. El empleo de plantas modificadas genéticamente debería compararse con otras prácticas agrícolas y opciones tecnológicas, en especial con la agricultura convencional, que ya tuvo un efecto profundo sobre el medio ambiente.

Los procedimientos y las directrices internacionales para la evaluación de los OMG están bien desarrollados cuanto a la seguridad alimentaria pero no cuanto a los impactos ambientales. El Codex Alimentarius FAO/OMS, por ejemplo, ofrece un foro internacional para la elaboración de directrices para la seguridad alimentaria.

Debido a la falta de directrices nacionales, las evaluaciones de los efectos medioambientales difieren en:

- la interpretación de datos y de lo que constituye un riesgo o un daño ambiental,
- la base de comparación que se usa: se compara el uso de cultivos modificados genéticamente con la agricultura convencional o con entornos no cultivados,
- en que medida las pruebas a pequeña escala de laboratorio o de campo son válidos y pueden emplearse para extrapolar efectos a largo plazo.

La comunidad científica recomienda una mayor investigación y un mejor seguimiento de los efectos posteriores a la emisión de los cultivos modificados genéticamente.

6. ¿Cuáles son las implicaciones de las tecnologías genéticas para los animales?

6.1 ¿Cuáles son los posibles efectos de los alimentos transgénicos para animales?

Los cultivos modificados genéticamente y las enzimas derivadas de microorganismos modificados genéticamente se usan extensamente en **piensos**. Se utilizan "piensos compuestos" principalmente para las aves de corral, cerdos y vacas lecheras y contienen una gama de ingredientes, como maíz y otros cereales, y semillas oleaginosas como la soja y la colza. Actualmente, una parte significativa de la soja, de la colza y del maíz que son cultivados son modificados genéticamente.

En muchos países, los estudios de evaluación sobre la seguridad alimentaria han comparado los nuevos piensos para el ganado con sus homólogos convencionales. Estas comparaciones tienen en cuenta, por ejemplo, la composición nutricional de los piensos y sus efectos sobre animales así como sobre seres humanos que ingieren los productos animales derivados.

Los estudios también han considerado el destino del ADN modificado en el tracto digestivo del animal. Los resultados indican que tanto el ADN como las proteínas modificados se descomponen rápidamente en el sistema digestivo, y no se han observado efectos nocivos ni sobre el crecimiento, ni sobre el peso corporal, ni sobre la conversión del pienso, ni sobre la composición de nutrientes, ni sobre la producción de leche. Un examen de la FAO llegó a la conclusión que es muy improbable que los genes puedan transferirse de plantas modificadas genéticamente a bacterias que causen enfermedades. Sin embargo, recomendó que no se usaran en plantas modificadas genéticamente los genes que determinan la resistencia a antibióticos que son críticos para tratar enfermedades infecciosas humanas.

6.2 ¿Cuáles son los posibles efectos de animales modificados genéticamente?

Hasta 2004, en la agricultura comercial no se han utilizados animales modificados genéticamente en ninguna parte del mundo. Sin embargo, se está estudiando la posibilidad de una transferencia de rasgos modificados genéticamente a varias especies ganaderas y acuáticas.



La ingeniería genética puede acelerar el crecimiento del salmón. Fuente: FAO

Los informes sobre estos problemas ambientales potenciales recomiendan que los animales modificados genéticamente deberían ser evaluados comparándolos con sus homólogos convencionales.

Los impactos ambientales adversos que resultarían del escape de animales modificados genéticamente en la naturaleza son menos probables para las especies de ganado que para los peces. Esto se debe a que la mayoría de granjas de especies animales ya no tienen parientes silvestres cercanos y que la reproducción de animales de granja generalmente esta confinada a granjas y hatos controlados.

El empleo de animales modificados genéticamente también podría causar efectos ambientales mediante cambios en los mismos animales o en las prácticas de gestión que se les asocia. Las modificaciones genéticas podrían, por ejemplo, reducir la cantidad de excrementos y de emisiones de metano producida por las especies ganaderas y de acuicultura. Es más, podrían incrementar su resistencia a enfermedades, lo que conllevaría un menor empleo de antibióticos. Sin embargo, algunas modificaciones genéticas podrían provocar una producción más intensiva de ganado con el consiguiente aumento de la contaminación. Por lo tanto, la cuestión del daño ambiental se considera menos una cuestión de tecnología en sí que de capacidad de gestionarla.

Un factor más que se debería tomar en cuenta cuando de biotecnología ganadera se refiere es el posible efecto sobre el bienestar de los animales. Actualmente, la producción de animales modificados genéticamente y clonado es muy difícil, con una elevada mortalidad durante el desarrollo embrional inicial y tasas de éxito de sólo el 1-3 %. Es más, en los animales modificados genéticamente que han nacido, es posible que los genes insertados no funcionen según lo previsto, lo que a menudo resulta en unas anomalías anatómicas, fisiológicas y de comportamiento.

Por lo tanto, a parte de las consideraciones económicas, también hay que tomar en cuenta los posibles impactos ambientales o los efectos sobre el bienestar de los animales en la biotecnología agrícola.

7. ¿Están los OMG regulados por acuerdos internacionales?

7.1 ¿Cómo se regula el comercio agrícola internacional?

Las oportunidades del comercio agrícola han aumentado considerablemente durante los últimos años como consecuencia de las reformas de la Organización Mundial del Comercio (OMC) que se han centrado principalmente en la reducción de los aranceles y las subvenciones en varios sectores. El **Acuerdo de la OMC sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias** (Acuerdo MSF), adoptado en 1994, establece que los países mantienen su derecho a asegurar que los alimentos y productos animales y vegetales que importan son seguros. Al mismo tiempo, estipula que los países no deben utilizar sin necesidad medidas rigurosas como obstáculos encubiertos al comercio.

El Acuerdo establece que los países deberán utilizar normas acordadas internacionalmente e identifica tres organismos internacionales de normalización: la Comisión del Codex Alimentarius para la seguridad alimenticia, la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) en materia de sanidad animal y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) para la salud de las plantas.

7.2 ¿Qué convenciones abordan los efectos ambientales de los OMG?

Hay varios acuerdos internacionales sobre aspectos ambientales de los organismos modificados genéticamente (OMG). Entre esos acuerdos están el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (2003), y la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF).

7.2.1 El **Convenio sobre la Diversidad Biológica** (CDB) se centra principalmente en la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas, pero también aborda los efectos ambientales de los OMG.

El **Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad** fue adoptado por el CDB y entró en vigor en 2003. El protocolo establece un Procedimiento de Acuerdo Fundamentado Previo para la introducción deliberada en el medio ambiente de especies que podrían tener efectos ambientales adversos. En el caso de plantas modificadas genéticamente, regula especialmente los movimientos transfronterizos. Tales movimientos exigen una notificación previa de la parte exportadora y un aviso de recepción de la parte importadora.



El Protocolo establece requisitos específicos para la manipulación, el etiquetado, el envasado y el transporte de plantas modificadas genéticamente. También exige el registro de toda la información relevante en el Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología, un mecanismo internacional establecido en virtud del Protocolo.

7.2.2 El objetivo principal de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) es asegurar una acción común internacional para prevenir la propagación de plagas que afecten a plantas y productos vegetales, pero también juega un papel importante en la conservación de la diversidad de plantas y la protección de recursos naturales. En cuanto a los OMG, la CIPF ha identificado riesgos potenciales de plagas que habría que tener en cuenta. Entre otros están:

1. las nuevas características genéticas que pueden causar tendencia a la invasión (resistencia a la sequía, tolerancia a herbicidas, resistencia a plagas),
2. el flujo de genes (transferencia de genes a parientes silvestres o a otras especies compatibles), y
3. los efectos sobre organismos que no son el objetivo (insectos o pájaros benéficos).

8. Conclusiones

8.1 Conclusiones sobre la biotecnología agrícola

Por un lado, la biotecnología agrícola puede entenderse como un complemento a la agricultura convencional. Es una herramienta científica que puede ayudar a los programas de mejoramiento de plantas y a la conservación de recursos genéticos, así como mejorar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de plantas y animales. Por otro lado, puede entenderse como una desviación total de la agricultura convencional, ya que permite la transferencia de material genético entre organismos que normalmente no se cruzarían.

De hecho, la biotecnología agrícola es ambas cosas al mismo tiempo, ya que no puede separarse existir sola sin la agricultura convencional. Para conseguir resultados útiles, son necesarios tanto los métodos clásicos de mejoramiento de las plantas como la información derivada de la genómica. La agrícola tiene implicaciones internacionales y puede ganar más importancia en los países en vías de desarrollo¹. Sin embargo, surgió en los países desarrollados, que siguen dominando esta tecnología. De este modo, la investigación tiende a centrarse en los cultivos importantes para los países desarrollados más que para los países en desarrollo, que generalmente no disponen ni de fondos para la investigación ni de programas de mejoramiento que son necesarios para la tecnología de modificación genética.

¹ India, China, Argentina y Brasil son algunos de los países que tienen programas activos de desarrollo de biotecnología.

8.2 Conclusiones sobre los efectos sobre el medio ambiente y la salud

Hasta la fecha, los países en los que se han introducido en los campos cultivos modificados genéticamente no se ha observado ningún daño significativo ni a la salud ni al medio ambiente. Las mariposas monarcas no se han visto afectadas significativamente. Las plagas no han desarrollado una resistencia a Bt. Hay algunas pruebas de malas hierbas resistentes a herbicidas, pero las "supermalezas" no han invadido ecosistemas agrícolas o naturales. Al contrario, están surgiendo importantes beneficios ambientales y sociales. Los agricultores están usando menos pesticidas o las usan de menor toxicidad, reduciendo así el daño a los suministros de agua y a la salud de los trabajadores, al mismo tiempo que permite una vuelta de los insectos benéficos a los campos.

Mientras tanto, se han encontrado soluciones técnicas o de gestión para solucionar algunos de los problemas asociados con la primera generación de cultivos modificados genéticamente, como por ejemplo la resistencia a antibióticos.

Sin embargo, el hecho de que hasta ahora no se hayan observado efectos negativos no significa que tales efectos no puedan surgir. Por lo tanto, los científicos recomiendan una mayor investigación.

La FAO apoya un sistema de evaluación de base científica que determine objetivamente los beneficios y riesgos de cada OMG. Para ello hay que adoptar un procedimiento prudente caso por caso para afrontar las preocupaciones legítimas por la bioseguridad de cada producto o proceso antes de su homologación. Es necesario evaluar los posibles efectos sobre la biodiversidad, el medio ambiente y la seguridad de los alimentos, y la medida en que los beneficios del producto o proceso compensan los riesgos calculados. El proceso de evaluación también debería tener en cuenta la experiencia adquirida por las autoridades nacionales de normalización al aprobar tales productos. También es imprescindible un atento seguimiento de los efectos de estos productos y procesos después de su introducción para asegurar que siguen siendo seguros para los seres humanos, los animales y el medio ambiente.

"La ciencia no puede declarar que una tecnología está completamente exenta de riesgos. Los cultivos sometidos a ingeniería genética pueden reducir algunos riesgos ambientales asociados con la agricultura convencional, pero también introducirá nuevos desafíos que hay que afrontar. La sociedad tendrá que decidir cuándo y dónde la ingeniería genética es suficientemente segura." (FAO 2004)

Anexo

Anexo 1:

Cuadro 1 : Cronología de la tecnología agrícola

Tecnología	Era	Intervenciones genéticas
Tradicional	Unos 10 000 años a.C.	Las civilizaciones aprovechan la diversidad biológica natural, domestican plantas y animales, comienzan a seleccionar material vegetal para su propagación y animales para su mejoramiento.
	Unos 3 000 años a.C.	Se fabrica cerveza y queso, se fermenta vino.
Convencional	Finales del siglo XIX	Gregor Mendel identifica en 1865 los principios de la herencia, sentando las bases para los métodos clásicos de mejoramiento.
	Década de 1930	Se obtienen cultivos híbridos comerciales.
	de la década de 1940 a la década de 1960	Se aplica la mutagénesis, el cultivo de tejidos y la regeneración de plantas. Se descubre la transformación y la transducción. Watson y Crick descubren en 1953 la estructura del ADN. Se identifican los transposones (genes que se separan y se mueven).
Moderna	Década de 1970	Se inicia la transferencia de genes mediante técnicas de recombinación de ADN. Se recurre al aislamiento y cultivo de embriones y a la fusión protoplasmática en la fitogenética y a la inseminación artificial en la reproducción animal.
	Década de 1980	La insulina es el primer producto comercial obtenido mediante transferencia de genes. Se recurre al cultivo de tejidos para la propagación en gran escala de plantas y al trasplante de embriones para la producción animal.
	Década de 1990	Se aplica la caracterización genética a una gran variedad de organismos. En 1990 se realizan los primeros ensayos de campo de variedades de plantas obtenidas mediante ingeniería genética, que se distribuyen comercialmente en 1992. Se obtienen vacunas y hormonas mediante ingeniería genética y se clonan animales.
	Década del 2000	Aparecen la bioinformática, la genómica, la proteómica y la metabolómica.

Fuente: Adaptación de datos tomados de van der Walt (2000) y FAO (2002a)

Fuente: FAO "El Estado Mundial de la Agricultura 2003-2004"
 Capítulo 2: ¿Qué es la biotecnología agrícola? [véase <http://www.fao.org/docrep/006/y5160s/y5160s07.htm#que>]
 Sección Comprensión, caracterización y ordenación de los recursos genéticos

Entidad colaboradora en esta publicación

La traducción de los niveles 1 y 2 ha sido realizada con el apoyo financiero de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

