



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE MEDICINA

**“Alimentación y OGM: Los Alimentos
Transgénicos”**

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO

Grado Nutrición Humana y Dietética

Curso 2011-2015

Autor: Sara Delgado Cabañas

Tutor: Francisco Javier Arias Vallejo

RESUMEN

El presente trabajo trata de introducir los aspectos básicos de un tema tan amplio y controvertido como es el de los alimentos transgénicos. Se empieza con una introducción para comprender como los avances de la biotecnología han dado lugar a la aparición de los organismos genéticamente modificados (OGM) y como las investigaciones han evolucionado desde ese momento hasta la actualidad. Se habla de los diferentes tipos de OGM y sus aplicaciones, de la transformación de las plantas transgénicas, de la situación actual de los cultivos transgénicos y de los posibles riesgos y beneficios que pueden brindar para la salud humana. También se explican las mejoras que pueden ofrecer a la alimentación y nutrición humana, destacando para ello ejemplos representativos. Se recalcan los aspectos más importantes de la ley vigente a la cual se deben regir los OGM en la Unión Europea y por último se tratan los aspectos éticos y la opinión pública reportando dos encuestas llevadas a cabo sobre este tema.

Palabras clave: Organismos Genéticamente Modificados, Alimentos Transgénicos, Ingeniería Genética, Aspectos Nutricionales, Legislación.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| OBJETIVOS..... | 6 |
| DESARROLLO..... | 7 |
| 1. TIPOS DE OGM Y APLICACIONES..... | 7 |
| 1.1 PLANTAS TRANSGÉNICAS | 7 |
| 1.2 ANIMALES TRANSGÉNICOS | 8 |
| 1.3 MICROORGANISMOS TRANSGÉNICOS | 11 |
| 2. TÉCNICAS DE FORMACIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS..... | 12 |
| 2.1 TRANSFORMACIÓN MEDIADA POR <i>A. TUMEFACIENS</i> | 12 |
| 2.2 TRANSFERENCIA DIRECTA DE LOS GENES: LA BIOBALÍSTICA..... | 13 |
| 3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS | 14 |
| 3.1 SITUACIÓN MUNDIAL | 14 |
| 3.2 SITUACIÓN EN LA U.E. | 15 |
| 4. RIESGOS POTENCIALES PARA LA SALUD HUMANA | 17 |
| 4.1 ALERGIAS..... | 17 |
| 4.1.1 Caso de la Nuez de Brasil | 18 |
| 4.1.2 Caso del Maíz Starlink:..... | 18 |
| 4.2 RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS..... | 18 |
| 4.3 OTROS RIESGOS..... | 19 |
| 5. BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS PARA LA SALUD HUMANA | 20 |
| 5.1 BENEFICIOS DIRECTOS DERIVADOS: | 20 |
| 5.1.1 Mejora de la calidad nutricional | 20 |
| 5.1.2 Reducción de compuestos tóxicos y alérgenos | 20 |
| 5.2 BENEFICIOS INDIRECTOS DERIVADOS:..... | 21 |
| 5.2.1 Cultivos resistentes a insectos | 21 |
| 5.2.2 Menor presencia de micotoxinas | 21 |
| 5.2.3 Disminución de compuestos tóxicos en los suelos de cultivo | 21 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6. ALIMENTOS BÁSICOS Y MEJORAS NUTRICIONALES..... | 22 |
| 6.1 MAÍZ TRANSGÉNICO CON MENOS ÁCIDO FÍTICO..... | 22 |
| 6.2 TRIGO PARA CELIACOS..... | 22 |
| 6.3 ARROZ DORADO..... | 23 |
| 6.5 PATATA INNATE..... | 24 |
| 6.6 LECHUGA TRANSGÉNICA RICA EN ÁCIDO FÓLICO | 25 |
| 7. LEGISLACIÓN DE ALIMENTOS TRANSGÉNICOS..... | 26 |
| 7.1 SEGURIDAD ALIMENTARIA..... | 27 |
| 7.2 ETIQUETADO | 27 |
| 7.3 TRAZABILIDAD | 28 |
| 8. PERCEPCIÓN PÚBLICA SOBRE LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS..... | 29 |
| 9. CUESTIONES ÉTICAS | 31 |
| CONCLUSIONES..... | 32 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 33 |

INTRODUCCIÓN

Desde la época en la que se iniciaba la agricultura, hace más de 14.000 años, se puede decir que ya existía la biotecnología de los alimentos. El hombre comenzaba a usar métodos de selección para obtener nuevas variedades de cultivos¹. El objetivo principal era la obtención de especies mejoradas y a pesar de tener evidentes resultados, la variación genética natural era y sigue siendo un proceso lento, pues para obtener las características específicas deseadas se necesitan realizar determinados cruces y el paso de varias generaciones². También desde hace miles de años se aprendieron a llevar a cabo procesos de fermentación con organismos vivos como las levaduras, para producir alimentos como el pan, el vino o la cerveza¹.

En los años 50 los científicos Watson y Crick descubrieron la estructura de la molécula del ADN, molécula que transmite la información hereditaria de una generación a otra. Este descubrimiento fue un evento importante para el desarrollo de lo que hoy conocemos como biotecnología moderna. Los grandes avances a pasos agigantados de biotecnología y biología molecular han dado lugar a nuevas técnicas modernas, conocidas como ingeniería genética o técnicas de recombinación del ADN^{3,1}. Son técnicas más rápidas, eficaces y específicas, que además permiten sobrepasar la barrera de la especie. Esto es posible ya que hoy en día se conoce que una de las características del código genético es la universalidad².

La ingeniería genética permite transferir una determinada secuencia de ADN de un organismo a otro y así obtener un OGM, definido como cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético y que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología. Por lo tanto, se entiende como alimento genéticamente modificado (AGM) o alimento transgénico aquel que contiene o está compuesto por OGM o ha sido producido a partir de ellos⁴.

En 1982 esta tecnología se aplicó por primera vez de forma comercial para la producción de insulina humana que se usa como tratamiento para la diabetes, y la primera planta que se mejoró genéticamente fue una planta de tabaco con resistencia a un antibiótico (Kanamicina)³. Años más tarde, en 1994, se comercializó el primer alimento transgénico destinado para el consumo humano creado por la empresa Calgene, actualmente integrada en Monsanto, una de las empresas pioneras de semillas transgénicas. El tomate Flavr-Savr tenía la característica de madurar más tardíamente por lo que su periodo de conservación sería mayor; a los pocos años fue

retirado del mercado como alimento fresco pero se sigue utilizando para la producción de tomate elaborado⁵.

A partir de esta época hasta la actualidad han ido surgiendo diversos cultivos transgénicos adoptados por varios países y comercializados mundialmente, entre los cuales destacan cuatro variedades modificadas: maíz, soja, colza y algodón. También han sido comercializadas variedades modificadas de papaya, patata, arroz, calabaza y remolacha azucarera. Las mejoras que se han adoptado principalmente son la tolerancia a herbicidas y la resistencia al ataque de insectos⁶. Considerándose que un 4% del total de tierra cultivable del mundo se destina a los cultivos transgénicos⁷.

Se estima que para el año 2050 la población mundial sea de unos 9 millones de personas, es decir, se prevé un crecimiento de hasta el 37%⁸, lo que conlleva una mayor demanda de alimentos y recursos naturales. El cambio climático y la dependencia de los combustibles fósiles en los sistemas de producción de alimentos es un tema cada vez más preocupante. Uno de los principales retos para el futuro próximo es alimentar de manera adecuada tanto en cantidad como en calidad a esta población y hacerlo de forma sostenible, es decir, que no suponga una mayor amenaza para el medio ambiente^{9,10}; lo que supone un gran desafío porque actualmente más de 1020 millones de personas en el mundo se encuentran en situación de desnutrición¹¹. Una de las herramientas que pueden ser útiles para contribuir a ese desarrollo sostenible son los cultivos transgénicos y a pesar de la incertidumbre y desconfianza que pueden generar dentro de ciertos grupos de población, se espera que cultivos con mejoras de resistencia a factores como la sequía o mejoras en la calidad nutricional se autoricen y en pocos años se encuentren comercializados para su consumo².

OBJETIVOS

El **objetivo general** del presente trabajo es llevar a cabo una revisión bibliográfica de la documentación sobre los OGM, ya bien sean artículos, libros, informes, documentos legales...a través de los diferentes métodos de búsqueda. Llevar a cabo una clasificación selectiva de la abundante y variada información respecto este tema y poder llegar a una conclusión estableciendo finalmente una opinión personal.

Objetivos específicos:

*Discutir los pros y contras de los cultivos transgénicos en términos de riesgos y beneficios aportando para ello casos y estudios documentados.

*Describir los aportes de la ingeniería genética en lo que respecta a la mejora de la calidad nutricional y como la población puede verse beneficiada.

DESARROLLO

1. TIPOS DE OGM Y APLICACIONES

La ingeniería genética es capaz de modificar animales, plantas y microorganismos. Actualmente solo han sido comercializadas para la alimentación humana ciertas variedades de plantas transgénicas. Los animales transgénicos y productos derivados destinados al consumo humano todavía están en fases de investigación. Y en lo que respecta a los microorganismos transgénicos, desde hace tiempo el sector de la industria alimentaria ha empleado sustancias derivadas de éstos, como enzimas y aditivos, para la obtención de productos procesados; pero en cambio no hay productos en el mercado que contengan microorganismos vivos genéticamente modificados en su composición¹².

A continuación se señalan las posibles aplicaciones que la ingeniería genética puede ofrecer tanto en lo referente al grupo de las plantas, como animales y microorganismos. También se verán diversas investigaciones que se están llevando a cabo en la actualidad:

1.1 PLANTAS TRANSGÉNICAS

El ataque de plagas de insectos y las malas hierbas son factores negativos que afectan a las cosechas, teniendo interés tanto desde el punto de vista económico como desde el punto de vista social. Anualmente se generan pérdidas económicas derivadas de los daños de gran parte de las cosechas por el ataque de plagas de insectos y por los gastos que originan su control y prevención. Se estiman unas pérdidas del 10% por contaminación de los cultivos con malas hierbas y por los gastos que igualmente genera su control. También se producen daños por los efectos tóxicos de pesticidas y herbicidas empleados en la práctica agrícola⁵. Como consecuencia, el abastecimiento de alimentos a la población también se ve mermado. De ahí que las aplicaciones más importantes y las que más se han desarrollado a lo largo de los años sean¹³:

***Plantas resistentes a plagas de insectos:** plantas con genes de origen bacteriano (*Bacillus Thuringiensis*) que expresan toxinas insecticidas o genes que

codifican otros inhibidores de proteasas. Como ejemplo el maíz Bt MON810 creado por la empresa Monsanto.

***Plantas resistentes a herbicidas:** plantas con genes que eliminan herbicidas. Como ejemplo la soja Roundup Ready también creada por la empresa Monsanto.

Otras posibles aplicaciones¹³:

***Plantas tolerantes a factores abióticos:** plantas tolerantes a temperaturas extremas, sequía, salinidad, alcalinidad...

***Plantas con mejoras en la calidad/ características organolépticas:** plantas con mejoras en su contenido de macro y micronutrientes, color, sabor, textura...

***Plantas descontaminadoras de suelos:** plantas capaces de resistir condiciones tóxicas del terreno podrían usarse para limpiar zonas contaminadas por los residuos desechados por parte de las industrias.

***Biocombustibles:** plantas transgénicas usadas como combustibles biológicos por su alto contenido en polímeros de hidratos de carbono.

***Vacunas comestibles:** plantas con genes que expresen proteínas terapéuticas o antígenos usadas como productos de utilidad en temas de salud.

1.2 ANIMALES TRANSGÉNICOS

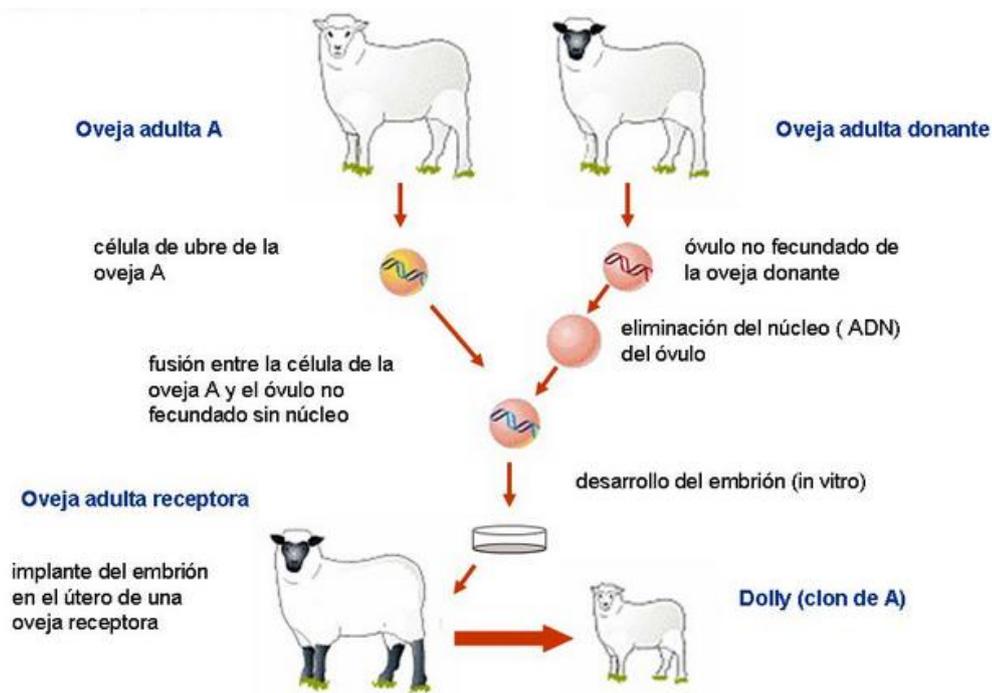
En 1982 la ingeniería genética obtuvo el primer animal transgénico, un ratón con el gen de la hormona del crecimiento de la rata. Como consecuencia, el ratón transgénico crecía de forma más rápida que el resto; avance que sirve actualmente para comprender la base de muchas enfermedades humanas. Gracias al conocimiento que adquirieron sobre la transmisión de los genes y su forma de expresión, surgieron las técnicas de clonación¹².

Un claro ejemplo de ello es el famoso caso de la oveja Dolly. El 1996 investigadores del instituto Roslin de Escocia crearon a Dolly. Esta oveja no era transgénica ya que no contenía nada ajeno a su especie pero sí estaba modificada por técnicas de clonación¹⁴.

A continuación se adjunta una imagen en la que se explica el procedimiento que se llevó a cabo para la formación por técnicas de clonación de la oveja Dolly.

Siendo dos ovejas donadoras, una de ellas donante de una célula de la ubre y otra donante de un óvulo no fecundado sin núcleo, y una oveja receptora del embrión formado por la fusión de ambas células.

Figura 1: Esquema de la clonación de la oveja Dolly.



Fuente:

http://www.argenbio.org/adf/uploads/imagenes_doc/animales_transgenicos/Dolly.jpg

Aunque aún no hay en el mercado animales transgénicos ni productos derivados para el consumo humano se han producido avances importantes y las investigaciones siguen en curso.

Es probable que el primer animal genéticamente modificado que se comercialice para el consumo humano sea un Salmón creado por la empresa AquaBounty, una empresa biotecnológica de Massachusetts (EE.UU.). Es un salmón de rápido crecimiento al que han introducido en su genoma un transgen que expresa la hormona del crecimiento del salmón Chinook bajo el control de un promotor de babosa vivípara americana. En 1992 se creó el animal fundador de esta línea de salmones gracias a la microinyección del transgen en huevos fertilizados de salmón salvaje del Atlántico. El salmón genéticamente modificado crece el doble de rápido que el natural, tardando un año y medio en vez de tres años en alcanzar su tamaño típico para la explotación

comercial, lo que supone reducir el tiempo de producción y el aumento de la biodisponibilidad como alimento¹⁵.

También se han llevado a cabo investigaciones para la mejora de la calidad nutricional de la leche animal:

*Se han desarrollado vacas transgénicas introduciendo en su genoma genes que codifican para la enzima lactasa, enzima que degrada la lactosa de la leche en glucosa y galactosa. Este tipo de leche sería apta para aquellas personas que sufren intolerancia a la lactosa por tener déficit de actividad de la enzima lactasa¹⁶.

*Investigadores argentinos han desarrollado una ternera transgénica introduciendo en su genoma genes que codifican para las proteínas lisozima y lactoferrina. Estas proteínas están presentes en la leche humana y debido a sus propiedades antibacterianas, inmunomoduladoras, tróficas para el intestino entre otras, son importantes para la nutrición del lactante. Con este tipo de leche se podría mejorar la defensa del sistema inmune de aquellos lactantes que no pueden ser amamantados¹⁷.

Otro de los grandes avances de la biotecnología es la llamada “molecular pharming”, por el que se usan animales transgénicos para la obtención de sustancias con gran valor biomédico:

*Se han desarrollado cabras transgénicas que producen leche que contiene el activador tisular del plasminógeno, un anticoagulante usado en el tratamiento de pacientes con trombosis. Es el primer medicamento producido en animales transgénicos y ha sido aprobado por las agencias regulatorias del medicamento de Europa y EE.UU. para su comercialización¹².

*Investigadores argentinos han conseguido desarrollar vacas transgénicas capaces de producir leche con hormona del crecimiento humana, con un contenido aproximado de 5g por litro de leche. Los mismos investigadores también han conseguido desarrollar terneras transgénicas capaces de producir leche con insulina humana¹⁸.

1.3 MICROORGANISMOS TRANSGÉNICOS

Hasta la actualidad no encontramos ningún producto en el mercado destinado a la alimentación humana que contenga microorganismos vivos genéticamente modificados en su composición.

Pero desde hace casi 10 años muchas de las enzimas que se usan en la industria alimentaria para la elaboración de alimentos están producidas mediante el uso de microorganismos genéticamente modificados. Estos microorganismos GM son inactivados, degradados o removidos del producto final¹. Como ejemplo de esto encontramos:

- Lactasa: usada para eliminar la lactosa de la leche y obtener leche sin lactosa destinada a la población intolerante a este disacárido.
- Quimosina (renina): usada para hidrolizar la caseína de la leche y promover la formación del cuajo, primer paso para la producción de quesos.
- Glicosidasas: se usan para liberar sustancias aromáticas del vino y así mejorar su aroma, ya que muchas sustancias aromáticas se encuentran unidas a restos de azúcares.
- Proteasas: se usan para hidrolizar proteínas de vinos o cerveza y así evitar su turbidez durante el enfriamiento.

También están permitidos los microorganismos transgénicos para la formación de vitaminas y aminoácidos que se usan para la producción de alimentos o complementos alimentarios, como por ejemplo los carotenoides que se usan como aditivos y colorantes.

2. TÉCNICAS DE FORMACIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS

El grupo de las plantas es el que más interesa desde el punto de vista de la mejora de la nutrición ya que actualmente son los únicos organismos con mejoras genéticas que se encuentran comercializados a disposición del consumidor. Por lo que a la hora de hablar de alimentos transgénicos nos vamos a estar refiriendo a plantas genéticamente modificadas y productos derivados. Es importante conocer ciertas pinceladas de los pasos que la ingeniería genética debe seguir para transformar un organismo, en este caso la planta.

El primer paso de la modificación genética consiste en preparar una construcción génica, constituida por una secuencia de ADN que contiene los siguientes elementos: **el gen o genes de interés** llamado transgen, **un fragmento promotor** que hace que bajo ciertas condiciones se active o desactive la expresión del nuevo gen insertado, **un gen marcador** que permite diferenciar entre las células transformadas y las no transformadas, como los genes que confieren resistencia a antibióticos y **un gen reporter** que es el que verifica si se ha llevado de forma correcta la transformación⁵.

El segundo paso es la transferencia de esta secuencia de ADN al organismo que se quiere modificar. Las técnicas más empleadas actualmente para la transferencia de genes tanto a nivel experimental como a nivel comercial son la transformación mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y la Biobalística, descritas a continuación¹⁹.

2.1 TRANSFORMACIÓN MEDIADA POR *A. TUMEFACIENS*^{5,19}:

El uso de cepas de la bacteria *A. tumefaciens* fue el primer método para la formación de plantas transgénicas. Estas bacterias viven en la mayoría de los suelos y tienen la naturaleza de transferir el ADN de uno de sus plásmidos al genoma de las células vegetales que infectan de manera natural produciendo tumoración alrededor de zonas heridas. Las lesiones se deben a la transferencia e integración en el genoma vegetal de un segmento específico de DNA, el llamado DNA-T que es un inductor de tumores y está contenido en el plásmido Ti.

Para la producción de plantas transgénicas se emplean cepas de bacterias con plásmidos Ti modificados para que no induzcan la producción de tumores en la planta, pero conservando su capacidad de integrar el DNA-Ti en el genoma vegetal e insertando el gen de interés ya preparado anteriormente. A continuación se usan las cepas de las bacterias modificadas para infectar células aisladas de la planta a mejorar y a partir de aquí se puede regenerar la planta completa, ya que se usan células con capacidad autoreplicativa. Para eliminar la bacteria y las células que no hayan sido transformadas se añade antibiótico, las células transformadas sobrevivirán por llevar incorporado en su genoma el gen que les ofrece resistencia a antibióticos, en cambio el resto morirá. Gracias a los avances tecnológicos una vez terminado el proceso se puede eliminar este gen para evitar posibles riesgos como la transferencia horizontal de genes⁹.

Plantas dicotiledóneas como el Algodón Bt resistente al ataque de insectos, creado en 1987 por la introducción de un gen de la bacteria *B. thuringiensis* que codifica para la endotoxina Bt; o el tomate Flavr-Savr de maduración tardía fueron creados usando la bacteria *A. tumefaciens* como vector de transferencia.

2.2 TRANSFERENCIA DIRECTA DE LOS GENES: LA BIOBALÍSTICA^{5,19}

La biobalística es la técnica más usada de transferencia directa de ADN (otras son la electroporación, microinyección...). Consiste en bombardear partículas recubiertas de material genético sobre tejidos cultivados in vitro. Se crean micropartículas de oro o tungsteno recubiertas con la secuencia de ADN de interés. Una vez creadas las micropartículas, mediante el uso de aparatos denominados cañones de genes, las células del organismo a modificar son bombardeadas, entrando directamente el ADN e incorporándose en el núcleo de la célula vegetal. Para comprobar que el proceso ha sido efectivo se usan marcadores que permitan el reconocimiento y la selección de las células que han sido modificadas, por lo que se introducen en un medio con antibiótico. Junto con el gen de interés se introducen genes que codifican resistencia a antibióticos, por lo que las células modificadas sobrevivirán en el medio de cultivo y por el contrario las células no modificadas morirán.

La producción de plantas transgénicas a través de este método se ha utilizado para plantas monocotiledóneas (cereales: arroz, trigo, maíz...) ya que estas no son susceptibles a la infección por *A. tumefaciens*.

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS

3.1 SITUACIÓN MUNDIAL

A pesar de la evidente controversia que siempre ha perseguido el tema de los transgénicos, junto con las diferentes organizaciones ecologistas y otros grupos que se oponen por sus preocupaciones respecto a temas de seguridad, salud y medio ambiente, se ha hecho notable el crecimiento estable de estos cultivos a lo largo de los años a nivel mundial.

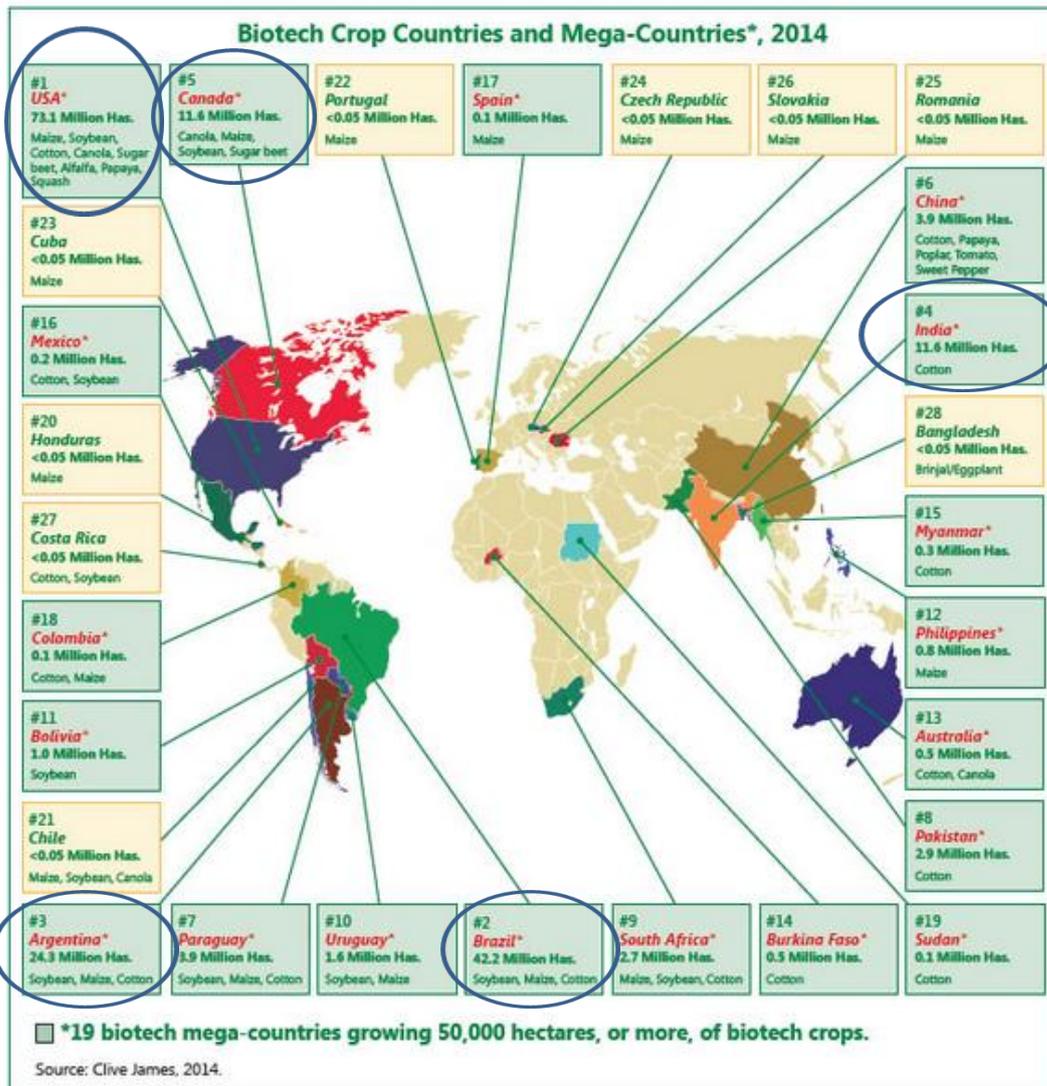
El Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA) ha evaluado desde 1996, fecha en la que se empezó a cultivar a escala comercial, hasta la actualidad, el total de hectáreas cultivadas mundialmente, como se reparten entre los diferentes países y cuál de éstos son los pioneros⁶.

En el año 1996 se cultivaron 1.7 millones de hectáreas de cultivos transgénicos, en 2007 se cultivaron 114.3 millones de hectáreas, solo un año después, en 2008 aumentaron hasta 125 millones de hectáreas. Actualmente, en 2014, estas cifras llegaron hasta 181.5 millones de hectáreas.

En el 2014 fueron 18 millones de agricultores de 28 países (8 países industrializados y 20 países en vías de desarrollo) los que cultivaban diferentes variedades de cultivos transgénicos entre los que cabe destacar el maíz, la soja y el algodón. Los Estados Unidos, Brasil, Argentina, India y Canadá son los cinco países que encabezan la lista de pioneros en la siembra de cultivos transgénicos⁶.

Las características mejoradas que destacan en estos cultivos son la resistencia al ataque de plagas de insectos y la tolerancia a herbicidas. Aunque actualmente también se están incorporando rasgos como la resistencia a la sequía y mejora en la calidad de los alimentos⁶.

Figura 2: Cultivos biotecnológicos por países, en 2014.



Fuente: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/46/executivesummary/>

3.2 SITUACIÓN EN LA U.E.

La Unión Europea se queda a la cola en la apuesta por los cultivos transgénicos. Actualmente solo cinco países de la UE: España, Portugal, República Checa, Rumania y Eslovaquia, apuestan por este tipo de cultivos⁶. Hasta hace unos años eran dos variedades de plantas genéticamente modificadas las que estaban autorizadas para el cultivo en la UE, la patata Amflora y el maíz MON810. El maíz MON810 creado por la empresa Monsanto tiene la característica de ser resistente al barrenador europeo del maíz, se autorizó para el cultivo en la UE en el año 1998 y actualmente es el único autorizado²⁰.

El país líder en la UE en este cultivo transgénico es España, con alrededor de 131.538 hectáreas de tierra cultivada, lo que supone alrededor del 31.6% del total de maíz cultivado en nuestro territorio⁶. Contrasta como el hecho de que comunidades como Asturias, País Vasco, Galicia, Baleares y Canarias se han declarado libres de transgénicos, y la última comunidad en añadirse a esta lista es Andalucía²¹.

En cuanto a lo referente a las importaciones la UE importa grandes cantidades de organismos genéticamente modificados destinados a la alimentación animal, es decir, piensos, pero en cambio bastantes pocos destinados a la alimentación humana²⁰. Están permitidos 58 organismos genéticamente modificados entre los cuales se incluyen diversas variedades de maíz, colza, soja, algodón y remolacha azucarera. A esta lista se acaban de sumar otras 17 autorizaciones (10 nuevas autorizaciones y 7 renovaciones) destinadas a la alimentación humana y animal y también se han autorizado dos plantas de uso ornamental²².

Las autorizaciones tienen una validez de 10 años y mientras tanto los OGM y alimentos derivados deben cumplir con la normativa vigente sobre el etiquetado y trazabilidad explicada más adelante²².

4. RIESGOS POTENCIALES PARA LA SALUD HUMANA

Para poder considerar que los alimentos transgénicos son seguros para la salud humana y así autorizar su comercialización, éstos tienen que pasar por evaluaciones de inocuidad según lo dispuesto en las diferentes normativas vigentes de las que se hablará más adelante, las cuales se basan en los principios del Codex Alimentarius⁹. Lo que no quiere decir que los alimentos transgénicos no tengan ningún efecto a medio y largo plazo. Hay pocos experimentos llevados a cabo para dar respuesta a esta incertidumbre y en ellos se usan animales de experimentación. Las mayores preocupaciones respecto a la inocuidad de los alimentos transgénicos son las siguientes:

4.1 ALERGIAS

Las alergias a los alimentos son reacciones desencadenadas por el sistema inmune como consecuencia del consumo de ciertos alimentos. Son bien conocidas las reacciones alérgicas a alimentos tradicionales como son: huevo, pescado, leche, maní, mariscos, soja, frutos secos y trigo. Los principales alérgenos son proteínas contenidas en estos alimentos y sus derivados, como ejemplo las gliadinas del trigo⁷.

Cuando las técnicas de ingeniería genética transfieren a una planta ADN de una especie con propiedades alérgicas existe riesgo de que el consumo de la variedad transgénica provoque reacciones alérgicas en aquellas personas sensibles a dicho alérgeno (Caso de la nuez de Brasil). Por lo que la legislación obliga a un adecuado etiquetado para que las personas con sensibilidad puedan verificar posibles propiedades alérgicas en los alimentos transgénicos²³.

Otra de las preocupaciones por parte de los grupos opositores, es la posibilidad de que aparezcan reacciones alérgicas a nuevas proteínas procedentes de especies que no tengan un historial de efectos alérgicos, con la ingeniería genética se están introduciendo en la planta genes de bacterias, virus... que no forman parte de la alimentación humana²³.

Cabe destacar que antes de que se autorice la comercialización de un alimento transgénico la legislación exige que pase una revisión de seguridad, que incluye entre otras la revisión del potencial alérgico, para garantizar que éste es seguro.

Dos ejemplos documentados sobre el tema de alergias y alimentos transgénicos a lo largo de los años:

4.1.1 Caso de la Nuez de Brasil: Las propiedades alergénicas de la Nuez de Brasil son bien conocidas. En un estudio se transfirió un gen 2S albúmina de la nuez de Brasil productor de metionina a la soja, con el objetivo de aumentar su contenido en nutrientes por ser deficitaria en este aminoácido. Los resultados que se obtuvieron indicaban que el consumo de soja transgénica podía activar una respuesta alérgica en sujetos sensibles y que la naturaleza de esta reacción era idéntica a la que generaba la nuez en dichos sujetos²⁴.

4.1.2 Caso del Maíz Starlink: Es un tipo de maíz Bt genéticamente modificado resistente al ataque de insectos. Este tipo de maíz producía una toxina llamada CRY9C que era ligeramente diferente a las toxinas que producían otros maíces Bt que estaban en el mercado. En estudios de digestión artificial esta proteína tardó más en descomponerse que el resto. Debido a esto y aunque los resultados obtenidos en ensayos de alergenicidad no eran concluyentes, la EPA, Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., decidió que este maíz fuera destinado a la alimentación animal y no a la humana por su posible potencial alergénico y así evitar cualquier riesgo para la salud humana²⁵.

4.2 RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS

Otra de las mayores preocupaciones, respaldada por los grupos opositores, que existen respecto a la salud humana y los alimentos transgénicos es la transferencia horizontal de genes. Las primeras generaciones de alimentos transgénicos han sido creadas usando en la mayoría de los casos marcadores de genes que codifican resistencia a antibióticos de tipo beta-lactámicos como son la Kanamicina y la Neomicina. Si se llevará a cabo una transferencia genética del alimento a las células o bacterias de nuestro tracto gastrointestinal esto tendría efecto perjudicial para nuestra salud, ya que las células o bacterias expresarían resistencia a dichos antibióticos y dificultaría el manejo de diferentes patologías debido a la menor eficacia de ciertos medicamentos^{23,26}. Aunque la probabilidad de la transferencia horizontal de genes es baja, expertos de la FAO y la OMS desaconsejan el uso de marcadores de resistencia a antibióticos a la hora de crear alimentos transgénicos. Además los avances de la tecnología han permitido eliminar estos marcadores una vez se termina el proceso de transformación de la planta⁹.

4.3 OTROS RIESGOS

La manipulación genética puede inducir la producción de dosis mayores de sustancias tóxicas que pueden estar contenidas de forma natural en las plantas, como toxinas usadas como mecanismos naturales de defensa. Posibles cambios no intencionados debido a la manipulación genética, por ejemplo cambios en la composición del alimento con efectos desconocidos para la salud o pérdidas de las cualidades nutritivas de un alimento al disminuir determinados compuestos o aparecer sustancias anti nutrientes que impiden su correcta asimilación²³.

**Como en el caso de un estudio que obtuvieron como resultado que una variedad de soja genéticamente modificada contenía menor cantidad de fitoestrógenos que lo que se esperaba²⁷.*

Ejemplos documentados de estudios tóxicos sobre trastornos en animales alimentados con organismos genéticamente modificados:

**En uno de los primeros ensayos independientes realizados con ratas alimentadas con patatas transgénicas Bt se observaron alteraciones significativas del revestimiento del intestino delgado al cabo de 14 días de dieta transgénica²⁸.*

**Otro estudio con patatas Bt reveló trastornos similares en el intestino de las ratas a los 10 días de dieta, observándose problemas en el crecimiento de las ratas, en el desarrollo de sus órganos vitales y trastornos inmunológicos²⁹.*

Los estudios llevados a cabo por Arpad Pusztai pretendían investigar posibles efectos perjudiciales en la rata por el consumo de patatas Bt. Estos estudios entraron dentro de una gran polémica ya que el investigador puso los resultados a manos de la opinión pública antes de haber sido revisados y verificados por parte del resto de la comunidad científica. Algunos llegaron a la conclusión de que los datos obtenidos en este estudio no fueron concluyentes para poder afirmar que los alimentos transgénicos fueran perjudiciales para la salud humana o animal. Otros científicos realizaron estudios similares para corroborar que los resultados de Pusztai eran los acertados. Para deshacer las controversias en lo que respecta a la seguridad de los alimentos transgénicos se llega a la conclusión de que es necesario continuar con la investigación y la realización de experimentos.⁵⁷

5. BENEFICIOS DIRECTOS E INDIRECTOS PARA LA SALUD HUMANA

La ingeniería genética puede ofrecer beneficios directos e indirectos para la salud de las personas.

5.1 BENEFICIOS DIRECTOS DERIVADOS:

5.1.1 De la mejora de la calidad nutricional de los alimentos, como por ejemplo en el caso del arroz dorado del que se hablará detenidamente más adelante; investigaciones sobre el aumento del contenido de proteínas y aminoácidos esenciales en alimentos como la mandioca, plátano y patatas que se han llevado a cabo. Son alimentos destinados a mejorar situaciones que afectan a ciertos segmentos de la población, como la carencia de nutrientes y que por consiguiente ayudarían a prevenir o mejorar enfermedades derivadas de éstas. También se han llevado a cabo investigaciones para crear alimentos más saludables, un ejemplo de esto es la patata con más almidón para reducir la absorción de grasa durante la fritura o soja y canola modificadas con menos contenido en ácidos grasos saturados para la obtención de aceites más saludables⁷.

5.1.2 La reducción de la presencia de compuestos tóxicos y la disminución de alérgenos en diversos alimentos también ofrecen beneficios directos para la salud de las personas. Se han llevado a cabo investigaciones sobre la mandioca, alimento básico en algunas regiones de África; la mandioca contiene en las raíces elevados niveles de cianuro lo que provoca efectos nocivos, con las técnicas de ingeniería genética esta sustancia tóxica podría verse reducida³⁰. Otro de los grandes avances que ha conseguido la ingeniería genética es la reducción de la alergenicidad del trigo, del cual también hablemos detenidamente más adelante, un trigo que podría ser acto para personas celíacas, mejorando la calidad de vida de éstas, desde el punto de vista económico y de salud.

Cuando la modificación genética busca aumentar la calidad de los productos, los alimentos transgénicos obtenidos como ya se ha visto pueden presentar grandes beneficios para los consumidores. Pero también surgen beneficios indirectos derivados de las modificaciones genéticas que ofrecen cultivos con mejoras en sus características agronómicas, ejemplo de ello son:

5.2 BENEFICIOS INDIRECTOS DERIVADOS:

5.2.1 Los cultivos resistentes a insectos ofrecen importantes beneficios para la salud humana. Según un meta-análisis realizado en 2014 en base a 147 estudios sobre cultivos biotecnológicos, se confirmaron los beneficios múltiples y significativos que han ofrecido este tipo de cultivos durante el periodo de 1995 a 2014. Uno de los resultados fue la reducción del uso de plaguicidas un 37% de promedio. Esto supone una reducción de la contaminación ambiental y una menor exposición humana a estas sustancias tóxicas usadas en la práctica agrícola, lo que supone beneficios directos para el medio ambiente pero también beneficios para la salud y la seguridad humana⁶.

5.2.2 Menor presencia de micotoxinas ocasionadas por insectos o enfermedades: Las micotoxinas son sustancias tóxicas que están estrechamente relacionadas con los tumores de hígado, riñón y esófago en el ser humano. En el caso del maíz una de las principales plagas de insectos que le afectan son el gusano barrenador que crea heridas en las cuales se desarrollan hongos productores de dicha sustancia cancerígena. El maíz Bt genéticamente modificado tiene la característica de ser resistente a insectos, lo que conlleva a una reducción de las heridas producidas por las plagas de insectos, menor probabilidad de infección por hongos y como consecuencia niveles de micotoxinas mucho más bajos, lo que supone otro beneficio tanto para la salud humana como animal³¹.

5.2.3 Disminución de compuestos tóxicos en los suelos de cultivos: Como ya se ha visto las plantas transgénicas resistentes a determinados insectos suponen una reducción del uso de plaguicidas en la práctica agrícola. De la misma forma las plantas transgénicas resistentes a glifosato permiten la aplicación de menos herbicidas y las plantas resistentes a condiciones extremas o de alta productividad permiten reducir la cantidad de fertilizantes. Esto supone un menor acúmulo de sustancias tóxicas en los suelos ayudando a reducir la contaminación del medio ambiente lo que de forma indirecta ayuda a mejorar la inocuidad de los alimentos beneficiando a la salud del consumidor³².

6. ALIMENTOS BÁSICOS Y MEJORAS NUTRICIONALES

Según la Organización Mundial del Comercio los principales cultivos básicos que abastecen a la población mundial son, el maíz, el trigo y el arroz³³. Tanto países industrializados como países en vías de desarrollo incluyen en su alimentación dichos cereales. Con el objetivo de ayudar a mejorar la salud de las personas en lo que respecta a la alimentación, investigaciones de ingeniería genética sobre la mejora nutricional de los alimentos han ido surgiendo a lo largo de los años. A continuación un ejemplo de mejora nutricional de cada alimento básico anteriormente citado.

6.1 MAÍZ TRANSGÉNICO CON MENOS ÁCIDO FÍTICO

La biodisponibilidad del hierro se ve afectada por diferentes sustancias, como por ejemplo los fitatos contenidos en alimentos como las legumbres y cereales³⁴. Investigadores crearon una variedad de maíz transgénico con niveles más bajos de ácido fítico, hasta un 35% menos de ácido fítico que las variedades silvestres de maíz. No hubo diferencias significativas en la concentración de macro y micronutrientes entre la variedad genéticamente modificada y la silvestre. Además los resultados mostraron que en los individuos que consumieron el maíz con menos ácido fítico la incorporación del hierro en los eritrocitos de su sangre fue 49% mayor que en los individuos que consumieron el maíz silvestre. Por lo que llegaron a la conclusión de que esta variedad de maíz transgénico podría mejorar la absorción de hierro y por tanto la nutrición en poblaciones que consumen dietas basadas en maíz modificado³⁵.

6.2 TRIGO PARA CELIACOS

La enfermedad celiaca consiste en un trastorno autoinmune donde personas predispuestas genéticamente sufren intolerancia permanente al gluten del trigo, cebada, centeno y avena. La enfermedad provoca reacción inflamatoria en la mucosa intestinal provocando atrofia de las vellosidades, por lo que se producen cuadros de malabsorción. El único tratamiento disponible para esta enfermedad crónica es una dieta libre en gluten. Actualmente la enfermedad celiaca afecta al 7% de la población mundial³⁶.

El CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tras largas investigaciones ha conseguido desarrollar variedades de trigo genéticamente modificadas. Para ello suprimieron la mayor parte de las gliadinas, reduciendo su reactividad entre un 90-95%. Y pruebas llevadas a cabo demuestran que estas nuevas variedades no difieren de sus propiedades nutricionales y organolépticas respecto de las variedades no modificadas³⁷.

Esta nueva creación supone un gran avance que en un futuro no muy lejano puede llegar a ser una buena oportunidad para mejorar la calidad de vida de las personas que sufren esta enfermedad, tanto a nivel nutricional como a nivel económico³⁸.

6.3 ARROZ DORADO.

El déficit de vitamina A es un problema de salud pública en muchos lugares del mundo. Los grupos de población con más riesgo de sufrir déficit de este micronutriente son los niños y las mujeres embarazadas por tener aumentados los requerimientos. La OMS, Organización Mundial de la Salud, estima que este problema afecta a 190 millones de niños en edad preescolar y a 19 millones de mujeres embarazadas a nivel mundial. Por lo tanto este déficit es considerado un problema grave con consecuencias que van desde la ceguera hasta una muerte prematura. Se estima que con una nutrición adecuada se puede reducir en un 23% la mortalidad infantil³⁹.

Para paliar este problema han ido surgiendo a lo largo de los años diferentes estrategias como son la promoción de la lactancia materna, alimentación variada con frutas, verduras y alimentos de origen animal, alimentos enriquecidos, suplementos de vitamina A⁴⁰... a pesar de ésto el déficit de esta vitamina sigue siendo un importante problema de salud pública sobre todo para países del Sudeste de Asia y África que tienen como alimento básico el arroz. Los principales problemas de este cereal son los niveles bajos de hierro biodisponible, de lisina y el déficit de beta-caroteno, que es el precursor de la vitamina A. A pesar de que las partes verdes de la planta si lo producen, la parte comestible no y esto se debe a la ausencia de tres enzimas necesarias para su formación⁴¹.

En 1999 el profesor Ingo Potrykus del Instituto Federal Suizo de Tecnología, y el profesor Peter Beyer, de la Universidad de Friburgo, Alemania, crearon el denominado Golden Rice o arroz dorado, con el objetivo de poder complementar las anteriores estrategias y ayudar a los países más pobres a cubrir las recomendaciones

diarias de este micronutriente. El arroz dorado fue creado por técnicas de ingeniería genética introduciendo en su genoma genes de otras variedades de plantas que sí que producen dichas enzimas⁴⁰.

Actualmente el Instituto Internacional de Investigación del Arroz, IRRI, y la Universidad de Friburgo siguen investigando el desarrollo de variedades con más cantidad de beta-caroteno. Pero según una investigación publicada en el American Journal of Clinical Nutrition en 2009, el consumo diario de una taza de arroz dorado cocida serviría para cubrir el 50% de la cantidad diaria de vitamina A recomendada para un adulto⁴².

Otros ejemplos interesantes sobre investigaciones de la mejora de la calidad de los alimentos con técnicas de modificación genética son la patata Innate y la lechuga rica en ácido fólico. Estos alimentos forman parte de nuestra alimentación diaria y dichas modificaciones aportarían claros beneficios para nuestra salud.

6.5 PATATA INNATE

La empresa J.R. Simplot Company ha creado una variedad de patata transgénica introduciendo en su genoma genes de otras patatas silvestres y de cultivo, es decir, sin introducir genes de otras especies. Esta variedad contiene tres propiedades importantes que ofrecen beneficios a los compradores de semillas, agricultores, procesadores, compañías de alimentación y consumidores^{43,44}.

*La característica que aporta significativos beneficios para la salud del consumidor es la siguiente: Contiene aproximadamente hasta el 70% menos de asparagina, aminoácido responsable de la aparición de la acrilamida⁴³. La acrilamida es clasificada por la IARC, Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, dentro del grupo 2º como probable compuesto carcinógeno para los humanos y aparece cuando sometemos a alimentos con alto contenido en almidón a altas temperaturas, como en el caso de la fritura⁴⁵.

* En esta variedad se reduce el riesgo de que aparezcan manchas/ moretones que muchas veces aparecen durante el almacenamiento (por golpes, presiones...), lo que generalmente supone la pérdida del género y como consecuencia los productores se ven afectados por altas pérdidas económicas. También una vez que pelemos la patata ésta tardará más tiempo en ponerse marrón debido a la oxidación⁴³.

* Reducción de azúcares en su composición, que bajo ciertas condiciones, le da a la patata un bonito color dorado y un sabor y textura adecuados⁴³.

La patata Innate ya ha pasado los ensayos de campo y ha superado los trámites legales de la EPA y FDA y a finales de 2014 el departamento de Agricultura de los EE.UU. autorizó el cultivo y la comercialización de esta variedad de patata transgénica para el consumo humano. Se están llevando a cabo más investigaciones para seguir mejorando esta variedad haciéndola resistente al tizón tardío y mejorando su calidad con aumento de vitaminas y nutrientes⁴⁶.

Figura 3: Comparación patata Innate y patata convencional pasados 30 minutos desde su pelado.



Fuente: <http://www.simplotplantsciences.com/index.php/generationone/overview>

6.6 LECHUGA TRANSGÉNICA RICA EN ÁCIDO FÓLICO

Investigadores de EMBRAPA, Empresa Brasileña de Investigación Agrícola, han desarrollado una planta de lechuga transgénica con el objetivo de aumentar el contenido de ácido fólico de este vegetal. Para ello han introducido en su genoma un gen de *Arabidopsis thaliana*. Este gen lo tienen vegetales de hoja verde los cuales se suelen consumir cocidos, por lo que la biodisponibilidad de la vitamina se reduce por el calor, por lo contrario la lechuga es un vegetal que se consume en crudo por lo que conserva en su composición todos sus minerales.

Esta investigación se llevó a cabo con la visión de prevenir malformaciones fetales cuya causa es el déficit de este nutriente. Esta nueva variedad contiene 15 veces más ácido fólico que la lechuga convencional y con el consumo de dos hojas de lechuga modificada cubriría el 70% de las necesidades diarias (400 µg para adultos)⁴⁷.

7. LEGISLACIÓN DE ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

La legislación que regula a los alimentos transgénicos varía según el país en el que nos encontremos, no todos los países regulan los alimentos de la misma forma ni se centran en los mismos aspectos⁴⁸, e incluso algunos no tienen reglamentación, por ejemplo en los EE.UU. no es obligatorio el etiquetado de los transgénicos⁴⁶. Desde principios de 1990 la Unión Europea ha establecido un amplio marco jurídico para los organismos genéticamente modificados que ha ido variando a lo largo de los años⁴⁸. Actualmente las empresas del sector agroalimentario en la UE se deben regir por las siguientes normas que tienen por objeto evitar los eventuales riesgos o reducir los posibles daños que pueden surgir para la salud humana y el medio ambiente.

Los organismos que están relacionados con el proceso de regulación de los alimentos genéticamente modificados son los siguientes: en Europa encontramos la Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria y Nutrición (EFSA). Y en España encontramos la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), la Comisión Nacional de Biovigilancia y la Comisión Nacional de Bioseguridad⁴⁹.

Reglamentación Europea⁵⁰

- **Directiva 2001/18/CE**, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos genéticamente modificados. Tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente cuando⁵¹:
 - Se produzcan liberaciones intencionales en el medio ambiente de organismos genéticamente modificados para cualquier otro propósito distinto del de su comercialización en la comunidad.
 - Se comercialicen organismos genéticamente modificados como productos o componentes de productos en la comunidad.
- **Reglamento 1829/03**, sobre alimentos y piensos genéticamente modificados.
- **Reglamento 1830/03**, relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos genéticamente modificados y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos.

Reglamentación Española⁵⁰

- **Ley 9/2003**, por la que se establece el régimen jurídico de la utilización confinada, liberación voluntaria y comercialización de OGM.

- **Real Decreto 178/2000**, por el que se aprueba el Reglamento general para el desarrollo y ejecución de la Ley 9/2003, de 25 de abril.

Los puntos clave que se encuentran en la legislación referente a los organismos genéticamente modificados en la UE son: la evaluación de seguridad alimentaria antes de su introducción al mercado, el etiquetado de éstos y una adecuada trazabilidad.

7.1 Seguridad alimentaria:

Antes de autorizar la comercialización de cualquier alimento en la UE estos tienen que ser evaluados para garantizar que son seguros para la salud de los consumidores. Por lo tanto, los alimentos genéticamente modificados también tienen que pasar por estas evaluaciones para asegurar la seguridad alimentaria; además este tipo de alimentos también están sujetos a evaluaciones de seguridad medioambiental. La EFSA con la colaboración de los organismos científicos de los estados miembros, es la responsable de llevar a cabo la evaluación de la seguridad tanto para la salud humana, animal y el medio ambiente^{52,20}.

La EFSA trata de comparar el organismo genéticamente modificado con su convencional y ver si ambos son igual de seguros. Se realizan exámenes de alergenicidad, toxicidad y comparaciones en cuanto al valor nutricional, también exámenes de seguridad ambiental. Actualmente todos los alimentos genéticamente modificados autorizados para su comercialización en la UE han resultado ser seguros y no se han identificado efectos adversos para el medio ambiente^{20,53}.

7.2 Etiquetado:

Para tener garantía de que los consumidores saben lo que están consumiendo y para que puedan tomar decisiones fundamentadas sobre sus preferencias en lo que respecta a los organismos genéticamente modificados, la UE ha considerado importante ofrecerles información adecuada y verídica.

Por ello los nuevos reglamentos referentes al etiquetado disponen que sea obligatorio el etiquetado de los alimentos y piensos que hayan sido genéticamente modificados, que contengan, o se hayan producido a partir de organismos genéticamente modificados, salvo si la presencia es inferior a un umbral de 0.9% de los alimentos /piensos o el ingrediente sea accidental o técnicamente inevitable⁵⁰.

El **Reglamento 1830/03** dispone como se debe hacer la mención en el etiquetado: “modificado genéticamente” o “producido a partir de (nombre de ingrediente) modificado genéticamente”⁵⁴.

Con el objetivo de evitar infundir miedos o prejuicios a los consumidores se recomienda evitar el etiquetado de los productos con términos como: “alimento libre de OGM”, “alimento no transgénico”...⁵⁰

Figura 4 y 5: Etiquetado, soja MG y aceite de soja MG.



Fuente figura 4: Guía roja y verde de alimentos transgénicos www.greenpeace.es

Fuente figura 5: Mayonesa Maricarmen www.simply.es



7.3 Trazabilidad:

Según el **Reglamento 1830/03**, relativo a la trazabilidad y etiquetado de organismos genéticamente modificados, se define trazabilidad a la capacidad de seguir la traza de los OGM y los productos producidos a partir de OGM a lo largo de las cadenas de producción y distribución en todas las fases de su comercialización⁵⁴.

La legislación obliga a llevar a cabo una adecuada trazabilidad desde la producción hasta la comercialización para que sea posible a su vez un adecuado etiquetado de los productos y así facilitar la libre elección del consumidor. Una adecuada trazabilidad también permite llevar a cabo una vigilancia sobre los efectos potenciales para el medio ambiente y la salud. Para que esto pueda ser posible deben participar todos los eslabones de la cadena alimentaria, desde los agricultores que son los que introducen el producto en la cadena pasando por todos los operadores. De unos a otros pasarán información por escrito de si el producto o los ingredientes contienen o está compuestos por organismos genéticamente modificados⁵⁰.

8. PERCEPCIÓN PÚBLICA SOBRE LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

A continuación se muestran parte de los resultados recogidos en dos encuestas realizadas para conocer la percepción y opinión de los consumidores ante diferentes aspectos de los alimentos transgénicos. Como resultado global se puede apreciar una clara desconfianza en un alto porcentaje de la población entorno a las aplicaciones que la ingeniería genética puede ofrecer, mostrándose menos reacios a mejoras destinadas al aumento de la calidad nutricional de los alimentos.

8.1 En 2010 la Comisión Europea publicó la encuesta europea sobre la opinión del consumidor, llamada **EUROBAROMETER**⁵⁵. Los puntos analizados en la encuesta son los siguientes: nivel de optimismo acerca de la tecnología; las actitudes y la sensibilización hacia la tecnología; las actitudes hacia los responsables de la biotecnología; participación en la biotecnología. Todos estos aspectos se analizaron tanto a nivel global de la UE, como de forma individual a los 27 países que forman

Figura 6: Pregunta de la encuesta Eurobarometer y respuesta según diferentes variables.

| QB2a Have you ever heard of genetically modified (or GM) foods before? (IF 'SPLIT A') | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| | Yes | No |
| EU27 | 84% | 16% |
| Age | | |
| 15-24 | 80% | 20% |
| 25-39 | 85% | 15% |
| 40-54 | 87% | 13% |
| 55 + | 81% | 19% |
| Respondent occupation scale | | |
| Self-employed | 89% | 11% |
| Managers | 96% | 4% |
| Other white collars | 89% | 11% |
| Manual workers | 84% | 16% |
| House persons | 73% | 27% |
| Unemployed | 76% | 24% |
| Retired | 79% | 21% |
| Students | 85% | 15% |
| Use of the Internet | | |
| Everyday | 90% | 10% |
| Often/ Sometimes | 86% | 14% |
| Never | 75% | 25% |
| Self-positioning on the social staircase | | |
| Low(1-4) | 76% | 24% |
| Medium(5-6) | 85% | 15% |
| High(7-10) | 89% | 11% |
| Education in science/ technology... | | |
| Yes | 89% | 11% |
| No | 78% | 22% |

Fuente:

http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_en.pdf

parte de ella, además también se diferenciaron por variables sociodemográficas como son la edad, género, ocupación, educación...

A continuación se muestra una parte de los resultados de la encuesta en lo referente a la conciencia y actitud de los ciudadanos Europeos hacia los alimentos genéticamente modificados.

Del total de encuestados el 84% habían oído hablar alguna vez de alimentos genéticamente modificados y el 16% nunca han había oído hablar de ellos.

Países como Noruega, Alemania, Finlandia son en los que la mayoría de sus encuestados habían oído hablar de ellos, por el contrario Malta es el único país en el que menos de la mitad habían oído hablar de AMG.

En lo referente a la actitud sobre los AGM la encuesta revela una desconfianza general y preocupación sobre la seguridad de los alimentos transgénicos entre el público europeo. Los siguientes datos lo confirman: El 70% está de acuerdo en que los AGM son antinaturales; El 61% están de acuerdo en que los AGM le hacen sentir incómodo; El 61% están de acuerdo que no se debe fomentar el desarrollo de cultivos transgénicos; El 59% están de acuerdo en que los AGM no son seguros para su salud y la de su familia; El 58% están de acuerdo en que los AGM no son seguros para generaciones futuras. Estos resultados son globales, apreciándose significativas variaciones según del país del que se trate.

8.2 Expertos de la Universidad de Carolina del Norte y la Universidad de Minnesota llevaron a cabo un estudio donde 1117 consumidores estadounidense fueron encuestados, se les hicieron preguntas respecto a AGM teniendo en cuenta factores como el precio, cualidades nutricionales, seguridad, sabor, beneficios ambientales... La mayoría de los consumidores aceptaría los alimentos transgénicos si la modificación genética generara una mejora nutricional o una mayor seguridad respecto al resto de alimentos. Los resultados fueron los siguientes:

El 19% de los encuestados comprarían AGM si se garantizara su seguridad; 23% comprarían AGM si fueran más baratos que el resto; 40% comprarían AGM si tuvieran mejoras nutricionales⁵⁶.

9. CUESTIONES ÉTICAS

Por último otro de los aspectos importantes a tratar son las cuestiones éticas en relación con la biotecnología y los alimentos transgénicos. Las mayores preocupaciones se centran en dos aspectos clave que son: la transferencia de genes humanos y la transferencia de genes animales, lo que puede resultar no bien avenido por parte de ciertos grupos sociales y por tanto se debe respetar.

Aunque hay que tener en cuenta que aún no existen plantas transgénicas con genes humanos o con genes animales comercializadas con fines alimenticios no se pueden pasar por alto estas cuestiones. Hay muchos sectores dentro de la sociedad que están en contra de la manipulación de la vida. En el caso de ciertas religiones, como por ejemplo los musulmanes, rechazarían alimentos transgénicos si tuvieran genes provenientes del cerdo, que en este caso es su animal prohibido. Los alimentos transgénicos con genes provenientes de animales también podrían verse rechazados por el colectivo de vegetarianos estrictos.

Una solución a estas cuestiones sería un etiquetado adecuado donde quede reflejado todo lo referente a la procedencia de los genes para que cada persona elija con juicio según sus preferencias, lo que actualmente se cumple con alimentos tradicionales que contengan mezcla de proteínas animales y vegetales.¹

CONCLUSIONES

El tema de los alimentos transgénicos es un tema muy amplio y variado, pudiéndose encontrar opiniones muy diversas al respecto. Las alegaciones aportadas por diversos grupos ecologistas sobre los posibles riesgos que este tipo de alimentos puede suponer, junto con la falta de información ha creado un sentimiento de desconfianza y muchas veces de rechazo entre los ciudadanos de a pie.

A pesar de que no se han encontrado significativas evidencias científicas sobre si los alimentos transgénicos son perjudiciales, tanto para la salud humana como para el medio ambiente, no hay que olvidar que el riesgo cero no existe. Asimismo se debe recalcar que los alimentos tradicionales o ecológicos tampoco quedan exentos de este riesgo. Para garantizar la inocuidad de los alimentos transgénicos es de importancia que se sigan cumpliendo con las evaluaciones de seguridad que hasta ahora se exigen para introducir nuevas variedades en el mercado.

La ingeniería genética puede ofrecer diversas aplicaciones a la industria médica, industria farmacéutica e industria alimentaria entre otras. Si estas aplicaciones se llevan a cabo de forma correcta y bajo un control adecuado pueden ofrecer diversos beneficios e incluso suponer una mejora de la calidad de vida de las personas. La ingeniería genética y los alimentos transgénicos son una posible herramienta para favorecer el desarrollo sostenible de la sociedad. Para que esto sea posible es importante que la sociedad cambie su percepción y que se lleven a cabo más investigaciones científicas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Biotecnología y alimentos [Preguntas y respuestas]. Sociedad Española de Biotecnología; 2003.
- 2 Plantas transgénicas [Preguntas y respuestas]. Sociedad Española de Biotecnología; 2007.
- 3 Monsanto. Biotecnología.
<http://www.monsanto.com/global/es/productos/pages/biotecnologia.aspx>
- 4 Reglamento (CE) nº 1829/2003, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente (DOUE núm. 268, de 18 de octubre de 2003).
- 5 Rodríguez E, Zumalacárregui J, Otero A, Calleja A, de la Fuente L. Lo que vd. debe saber sobre: Los alimentos transgénicos (y organismos modificados genéticamente). Caja España. León: Rubín; 2003.
- 6 James C. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. Ithaca, NY: ISAAA; 2014.
- 7 OMS. Biotecnología moderna de los alimentos, salud y desarrollo humano: estudio basado en evidencias. Ginebra: OMS; 2005.
- 8 Raymond J, McFarlane I, Hartley R, Ceddia G. The role of transgenic crops in sustainable development. Plant Biotech J 2010; 9: 2-21.
- 9 FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación; 2004.
- 10 <http://www.ecoticias.com/alimentos/76769/Arroz-trigo-maiz-patata>
- 11 FAO. The state of food insecurity in the world. Economic crises- impacts and lessons learned. Rome, Italy: FAO; 2009.
- 12 Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio). La biotecnología.
<http://www.argenbio.org/index.php?action=biotecnologia&opt=4>
- 13 Gil A. Tratado de Nutrición. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. 2ª Edición. Madrid Panamericana 2010; 2: 511-524.
- 14 <http://www.animalresearch.info/es/avances-medicos/linea-de-tiempo/la-clonacion-de-la-oveja-dolly/>
- 15 <http://aquabounty.com/>
- 16 Jost B, Vilotte JL, Duluc I, Rodeau JL, et al. Production of low-lactose milk by ectopic expression of intestinal lactase in the mouse mammary gland. Nat Biotechnol 1999; 17: 160-4.
- 17 Van Berkel PH, Welling MM, Geerts M, van Veen HA, et al. Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. Nat Biotechnol 2002; 20: 484-7.

- 18** Salamone D, Barañao L, Santos C, Bussmann L, et al. High level expression of bioactive recombinant human growth hormone in the milk of a cloned transgenic cow. *J Biotechnol* 2006;124(2):469-72
- 19** Díaz C, Chaparro-Giraldo A. Métodos de transformación genética de plantas. *Rev. U.D.A Act. & Div. Cient.* 2012; 15(1): 49-61.
- 20** European Commission. Fact Sheet: Questions and Answers on EU's policies on GMOs.Brussels;2015. [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-15-4778_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-4778_en.htm)
- 21** Ginés Donaire. Andalucía da el paso para prohibir el cultivo de alimentos transgénicos. *EL PAÍS* 2013 Marzo 3.
- 22** Pablo R. Suanzes. La UE autoriza la comercialización de 17 alimentos transgénicos. *EL MUNDO* 2015 Abril 4. Ciencia. <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/04/24/553a580a22601db57e8b4570.html>
- 23** Ecologistas en acción. Alimentos transgénicos. Madrid: Ecologistas en acción; 2005.
- 24** Nordlee J, Taylor SL, Townsend JA, Thomas LA, Bush RK. Identification of Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *N Engl J Med* 1996; 334(11): 688-92.
- 25** Silva CA. Maíz genéticamente modificado. Primera edición. Bogota D.C., Colombia: Agro-bio; 2005.
- 26** Tappeser B, Jäger M, Eckelkamp C. Survival, persistence, transfer. An update on current knowledge on GMOs and the fate of their recombinant DNA. *TWN Biotechnology & Biosafety* 2002; 3: 44.
- 27** Hebert MR, García-G JE, García-G M. Alimentos transgénicos: Incertidumbres y riesgos basados en evidencias. *Revista Acta Académica (UACA, Costa Rica)* 2006; 19(39): 129-145.
- 28** Rang A, Linke B, Jansen B. Detection of RNA variants transcribed from the transgene in Roundup Ready Soybean. *Eur. Food Res. Technol* 2004; 220: 438-443.
- 29** Ewen, S. W. B. y Pusztai, A. Effect of Diets Containing Genetically Modified Potatoes Expressing Galanthus Nivalis Lectin on Rat Small Intestine. *The Lancet* 1999; 354: 1353-1354.
- 30** Buchanan BB, Adamidi C, Lozano RM, Yee BC, Momma M, Kobrehel K, Ermel R, Frick OL. Thioredoxin-linked mitigation of allergic responses to wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 1997; 94: 5372–5377.
- 31** Estudio FAO: Cuestiones de ética. Los organismos modificados genéticamente, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente. Roma: FAO; 2001.
- 32** González V, Ruiz O, García E, Vega M. Aplicaciones de la Biotecnología en seguridad alimentaria. AESA/Genoma España; 2005.
- 33** OMC. Problemas Mundiales, Soluciones Mundiales: Hacia una mejor gobernanza mundial. Organización Mundial del Comercio 2010. Pág. 116.
- 34** Gaitán D, Olivares M, Arredondo M, Pizarro F. Iron bioavailability in humans. *Rev Chil Nutr* 2006;33 (2):142-148.

- 35** Mendoza C, Viteri FE, Lonnerdal B, Raboy V, Young KA, Brown KH. Absorption of iron from unmodified maize and genetically altered, low- phytate maize fortified with ferrous sulfate or sodium iron EDTA. *Am J Clin Nutr* 2001; 73: 80-5.
- 36** <http://www.celiacos.org/enfermedad-celiaca.html>
- 37** Gil-Humanes J, Piston F, Tollefsen S, Sollid L.M, Barro F. Effective shutdown in the expression of celiac disease-related wheat gliadin T-cell epitopes by RNA interference. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*2010; 107: 17023–17028.
- 38** <http://fundacion-antama.org/trigo-transgenico-libre-de-gluten-oportunidad-celiacos/>
- 39** WHO. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005. WHO Global Database on Vitamin A deficiency. Geneva; World Health Organization; 2009.40
- 40** <http://irri.org/>
- 41** <http://lacienciadeamara.blogspot.com.es/2012/08/arroz-dorado-biotecnologia-libre-la.html>
- 42** Tang G, Qin J, Dolnikowski GG, Russel RM, Grusak MA. Golden Rice is an effective source of vitamin A. *Am J Clin Nutr* 2009; 89: 1776–83.
- 43** <http://www.simplotplantsciences.com/>
- 44** Chawla R, Shakya R, Rommens C. Tuber-specific silencing of asparagine synthetase-1 reduces the acrylamide-forming potential of potatoes grown in the field without affecting tuber shape and field. *Plant. Biotech. J.* 2010: pp. 1-12.
- 45** <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>
- 46** Joaquim Elcacho. Estados Unidos autoriza el cultivo de una nueva patata transgénica. *La vanguardia natural* 2014.
<http://www.lavanguardia.com/natural/20141111/54419756891/innate-patata-transgenica-i-r-simplot-autorizada-estados-unidos.html>
- 47** <http://cib.org.br/em-dia-com-a-ciencia/alface-transgenica-pode-prevenir-ma-formacao-fetal/>
- 48** Angulo N. Manipulación genética de los alimentos. *Controversias bioéticas para la salud humana. Comunidad y salud:* 2010; 8(2).
- 49** Fundación Antama. Legislación vigente. <http://fundacion-antama.org/wp-content/uploads/2009/10/0021-Legislacion-vigente.pdf>
- 50** FIAB. Guía de Aplicación de las Exigencias de Etiquetado y trazabilidad de Alimentos y Piensos Modificados Genéticamente. FIAB; 2004
- 51** Directiva 2001/18/CE, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente. (DOUE núm. 106, de 17 de abril de 2001).
- 52** AECOSAN. Rincón del consumidor. Para saber más. OGMs.
http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/rincon_consumidor/subseccion/omgs.shtml
- 53** <https://www.youtube.com/watch?v=ZvciTwaQ9rM>

54 Reglamento (CE) nº 1831/2003, de 22 de septiembre de 2003, relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos modificados genéticamente y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos. (DOUE núm. 268, de 18 de octubre de 2003).

55 http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_en.pdf

56 Chengyan Y, Shuoli Z, Kuzma J. Heterogeneous Consumer Preferences for Nanotechnology and Genetic-modification Technology in Food Products. JAE 2015; 66(2):308-328.

57 Larrión J. El caso Pusztai. El conocimiento y la incertidumbre en la controversia sobre los organismos modificados genéticamente. Política y Sociedad 2010; 47(1): 215-230.

*Todas las consultas de las páginas webs reseñadas en la bibliografía se consultaron entre los meses de mayo y junio de 2015.