

LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS: GENERALIDADES Y DETECCIÓN

Dr. José Vicente Gil Ponce (giljv@iata.csic.es)

Biología de alimentos: el juego ancestral de la genética y la alimentación.

Muchas son las voces que actualmente hablan sobre la comercialización de los alimentos transgénicos. Se cuestiona, en primer lugar, su seguridad sanitaria y medioambiental y también su impacto sobre la economía de los países en desarrollo. La respuesta a estas cuestiones, lejos de ser unánime, parece polarizada en dos frentes bien diferenciados: los que se oponen a cualquier tipo de alimento transgénico por ser negativos en prácticamente todos los aspectos posibles y los que defienden su seguridad y su papel en el futuro de la agricultura mundial. En medio de este debate aparecen confusos términos como *biotecnología*, *ingeniería genética* o el propio *alimento transgénico* que conviene clarificar si se quiere tener una opinión bien fundamentada.

Desde la Ciencia, la Biotecnología es el empleo, con fines industriales, de organismos vivos completos o de algunas de sus biomoléculas. Así, utilizar un cultivo del hongo *Penicillium chrysogenum* para obtener un frasco de penicilina, un cultivo de la bacteria *Lactobacillus delbrueeckii* para fabricar un yogur o el gen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* para generar una planta resistente a una plaga son ejemplos claros de lo que los científicos entienden por Biotecnología. El ciudadano europeo piensa, sin embargo, que la biotecnología es tan sólo la modificación genética de los alimentos, es decir, poner genes en su sopa, lo que unido a las fuertes campañas en contra de la comercialización de los alimentos transgénicos ha provocado que tanto estos alimentos como todo tipo de biotecnología tengan una percepción social claramente negativa. Todo esto es posible, en gran medida gracias al alto grado de desinformación y de desconocimiento de la biotecnología del ciudadano medio, algo tremadamente complejo de solucionar a corto o medio plazo. No obstante, si se empieza explicando que la genética y la alimentación han ido de la mano desde los albores de la civilización y que, además, gracias a los mejoradores genéticos de los últimos 12.000 años disponemos de la variedad actual de alimentos, quizás esta percepción negativa comience a cambiar¹.

En efecto, desde entonces el hombre ha mejorado genéticamente las razas de animales de consumo, las variedades vegetales comestibles o los microorganismos responsables de la producción de alimentos y bebidas fermentadas². Lo ha hecho de forma empírica, utilizando distintas técnicas genéticas entre las que destacan la hibridación, también llamada cruce sexual, y la variabilidad natural generada por la aparición de mutantes espontáneos. Muy poco de lo que comemos se ha librado de estas mejoras, quizás tan sólo algunas especies animales que se cazan o pescan en estado salvaje. El resto, por muy "natural" o "ecológico" que a algunos les parezca, no está exento de modificación genética dirigida por parte del hombre. Es fácil entenderlo con un par de ejemplos. El primero se refiere al uso de la hibridación, donde se cruzan al

azar los genomas de dos progenitores intentando buscar en la descendencia una combinación de genes más adecuada. Un ejemplo hace referencia a las variedades de trigo con las que se producen hoy en día el pan y las pastas alimenticias. Se obtuvieron por un trabajo de siglos que incluyó mutaciones y sucesivos cruces, al extremo que en la actualidad podemos definirlas como puzzles genéticos en los que, a diferencia de las especies progenitoras de trigo donde había dos copias de cada cromosoma como en la especie humana, las actuales tienen seis³. La segunda se refiere al uso de la mutación en la mejora de alimentos. En esta técnica un gen de entre los varios miles de genes de un genoma muta al azar y como consecuencia aparece un nuevo mutante con una característica de interés. Este fue el caso de las coles. Hace unos cuantos miles de años, un ancestro de las mismas mutó en un gen que controlaba el tamaño de las yemas terminales y como consecuencia apareció un monstruo en el que las mismas habían aumentado de forma descontrolada. Un agricultor lo vio, le pareció atractivo, lo cultivó y llegó hasta nuestros días con el nombre de col. De forma similar, aunque en mutaciones en genes distintos, surgieron las coliflores, el brócoli o las coles de Bruselas. Coles y panes son sólo dos de los miles de ejemplos del empleo de la genética en la alimentación.

De esta forma totalmente empírica, y no por ello menos eficaz, funcionó la tecnología de alimentos durante siglos hasta que a finales del siglo XIX Mendel estableció las bases de la herencia. Hace tan sólo treinta años la genética ha ofrecido a la alimentación una nueva herramienta con la que mejorar nuestros alimentos. Se denomina ingeniería genética y en ella ya no se hibridan o mutan miles de genes al azar. Se trabaja con genes aislados en el laboratorio que están perfectamente identificados a nivel molecular. Estos genes se introducen en el genoma deseado generando los organismos que llamamos transgénicos. Por eso, cuando en el diseño de un alimento empleamos la ingeniería genética se producen los alimentos transgénicos⁴. Esta denominación es la habitual en los países castellanoparlantes, aunque en los países anglófonos y francófonos se habla de ellos como alimentos modificados genéticamente. Nada demasiado nuevo desde la tecnología de alimentos ya que sigue siendo aplicar genética en la alimentación.

¿Qué tiene de nuevo un alimento transgénico?

Como se deduce de lo expuesto en los párrafos anteriores, la diferencia entre un alimento transgénico y otro convencional sólo es tecnológica, ya que se basa en la técnica genética utilizada en su diseño: ingeniería genética frente al cruce sexual o mutagénesis. En muchas ocasiones se ha hecho una simplificación excesiva de este hecho por parte de algunos defensores de esta nueva tecnología que concluyen que, al no hacerse nada nuevo, sobran evaluaciones e información. Por el contrario, otros autores aun reconociendo esta mínima diferencia tecnológica, hablan de las consecuencias que la misma acarrea.

En primer lugar, tal y como antes se indicó, en el diseño de un alimento transgénico la direccionalidad se impone al azar, ya que no se mutan ni mezclan genes en una ruleta genética. Se selecciona uno, se disecciona molecularmente y se trabaja con él. Con ello podemos afirmar que el conocimiento de lo

genéticamente variado en el caso de un alimento transgénico es muy superior al que tenemos de las modificaciones introducidas en el resto de alimentos. Por ejemplo, al generar un cruce sexual el producto resultante presenta cambios en su genoma que pueden evaluarse entre el 30 y el 50% con respecto a los genomas de los parentales. Por el contrario, al generar una planta transgénica estos cambios no superan un valor del 0.1% con respecto a la variedad convencional.

En segundo lugar, en el diseño de un alimento transgénico se obtienen los resultados de una forma mucho más rápida, lo que es de importancia radical para las compañías agroalimentarias. Por ejemplo, un programa de mejora de melón comercial que implique introducir tres características de relevancia agroalimentaria es un proyecto a tres años por ingeniería genética y a diez por tecnologías convencionales. Es necesario aclarar que el hecho de obtener antes el desarrollo no implica necesariamente que este llegue antes al mercado. Como discutiremos posteriormente, todos los alimentos transgénicos deben ser evaluados sanitaria y toxicológicamente antes de obtener el permiso de comercialización y estos trabajos suelen llevar una media de siete años.

Finalmente, al construir un alimento transgénico es posible saltar la barrera de especie. Todos los organismos vivos tienen el mismo material hereditario: el DNA. En el laboratorio es imposible mutar una pera hasta obtener un plátano o cruzar sexualmente estas dos frutas porque son sexualmente incompatibles. Pero nada impide transferir un gen del genoma de un plátano al genoma de una pera porque ambos están hechos del mismo DNA. Esta diferencia tiene claras repercusiones éticas. Por ejemplo, un hipotético vegetal transgénico que porte un gen de un animal puede ser un problema para un vegetariano de dieta estricta. De la misma forma, aquellos consumidores que profesan una religión con limitaciones alimentarias, por ejemplo la ingesta de carne de cerdo, no querrán tomar un alimento transgénico que contenga un gen proveniente del genoma de este animal. La solución a este problema debe pasar por el etiquetado correcto de estos alimentos.

Producción y detección de organismos transgénicos.

La generación de organismos transgénicos se puede simplificar en tres etapas básicas con independencia que se trate de un animal, una planta o un microorganismo. En primer lugar hay que aislar el gen o genes a introducir a partir del organismo donador y conocer todo lo posible acerca de él y sus implicaciones fisiológicas. Esta primera etapa implica generalmente clonar el gen de interés en un vector adecuado que servirá para introducirlo en el organismo receptor. La segunda etapa del proceso consiste en conseguir que nuestro gen se introduzca y exprese en el organismo receptor. A este evento se le llama transformación y existen numerosas técnicas que van desde el uso de pulsos eléctricos para abrir poros en las membranas de los microorganismos por los que se puede introducir el vector, el uso de la capacidad infectiva de virus o de bacterias especializadas en introducir fragmentos de su DNA en el huésped, el bombardeo con partículas impregnadas con ADN o la microinyección del mismo directamente en el núcleo de la célula a transformar. Por último y si hemos tenido

éxito en las dos etapas anteriores sólo nos quedaría conseguir regenerar organismos transgénicos viables y estables a partir de los que hayan sido transformados con éxito y evaluar el efecto de dicha transformación para seleccionar aquellos individuos que presenten las características que se perseguían. La dificultad y rapidez para conseguir culminar las tres etapas puede variar enormemente en función de la naturaleza del organismo receptor o del sistema de transformación empleado, desde unos pocos meses hasta varios años de trabajo.

La nueva legislación europea referente al etiquetado y trazabilidad de alimentos transgénicos obliga a disponer de métodos eficaces y validados para detectar y cuantificar la presencia de ingredientes provenientes de organismos transgénicos en los alimentos. La cuantificación es imprescindible debido a que la legislación establece, en el caso de contaminación involuntaria, un umbral por encima del cual es obligatorio etiquetar. Actualmente existen laboratorios especializados capaces de realizar esta tarea y certificar la presencia de ingrediente transgénico así como su cantidad. Para ello se utiliza generalmente la técnica de amplificación de secuencias concretas de DNA mediante la reacción en cadena de la polimerasa, conocida como PCR por sus siglas en inglés o la detección inmunológica de la proteína recombinante.

Transgénicos en el mercado.

Para entender la problemática de los alimentos transgénicos es necesario conocer los productos que ya están en el mercado y los que están próximos a llegar. En todo el mundo hasta la fecha se ha autorizado la comercialización de unos 80 alimentos transgénicos. La mayoría se venden en Estados Unidos, Australia y Canadá. Se calcula que hay más de 500 en últimas fases de experimentación o de solicitud del permiso de comercialización. De ellos en la UE sólo unos pocos productos habían recibido el permiso de comercialización hasta octubre del año 2003 que se reducen a variedades de soja, maíz o colza con tolerancia a herbicidas o a plagas.

Se han desarrollado alimentos transgénicos de origen animal, vegetal o fermentado. Un gran porcentaje se han obtenido en laboratorios de compañías privadas, pero otros lo han sido en los de organismos públicos de investigación. Contrariamente a lo que se piensa, no todos benefician a los primeros eslabones de la cadena agroalimentaria, es decir, a las compañías de semillas y a los agricultores. Algunos favorecen a las industrias de transformación, otros al consumidor e incluso algunos a los profesionales del sector evitando enfermedades profesionales. Por ello es conveniente analizar algunos ejemplos que enumeramos a continuación.

Un porcentaje muy elevado de los transgénicos en agroalimentación se han dirigido a construir plantas transgénicas que resisten el ataque por distintos parásitos como viroides, virus, bacterias, hongos o insectos. Para ello se ha trabajado con variedades de claro interés agronómico en países desarrollados como son el maíz, la patata, la soja o el tomate. En ellas es posible eliminar el uso de plaguicidas, ya que la propia planta es resistente al ataque merced al gen introducido, reduciéndose considerablemente el uso de estos productos y su

possible impacto negativo en el medio ambiente. El ejemplo más conocido es el maíz transgénico autorizado en la UE en cuyo genoma se ha introducido un gen proveniente de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* que sintetiza una proteína que destruye el estómago del taladro, una de las plagas más importantes de este cultivo. La mejora de productividad mediante el empleo de estas variedades, denominadas Bt, se sitúa entre el 10 y el 20% y, además, con su empleo no es necesario utilizar insecticidas. Todo ello explica el amplio uso de este producto transgénico en la agricultura americana. En nuestro país se ha plantado, fundamentalmente en Aragón, con unos resultados similares a los obtenidos en Estados Unidos⁵. Hay otras muchas variedades vegetales transgénicas que resisten plagas y algunas de ellas ya disfrutan de la autorización para la comercialización en Estados Unidos. De particular relevancia es el caso de la generación de resistencia a virus, ya que a diferencia de los insecticidas, fungicidas o antibióticos, no existen compuestos antivirales efectivos, por lo que la generación de transgénicos es una solución única⁶.

Otro gran grupo de vegetales transgénicos presenta resistencia a herbicidas. Es el representado por la llamada soja transgénica autorizada en la UE. El cultivo de este vegetal, como el de muchos otros, tiene el inconveniente del crecimiento conjunto de malas hierbas que, al competir con la soja por los nutrientes del suelo, producen descensos importantes en la producción. Por ello se trata de eliminar las malas hierbas, lo que es factible mediante el uso de herbicidas. Ahora bien, de la misma forma que el herbicida acaba con la mala hierba elimina también la soja que es sensible a dicho compuesto. Para solventar este problema, se han obtenido variedades transgénicas de soja que contienen en su genoma un gen proveniente del genoma de la petunia que da resistencia al herbicida⁷. De esta forma es posible tratar la plantación transgénica con el herbicida y eliminar sólo las malas hierbas. Los aumentos de producción por el uso de esta estrategia se sitúan en torno al 20%, por lo que el uso de semillas de soja transgénica alcanzó el año pasado porcentajes de mercado del 56% en Estados Unidos y del 96% en Argentina, dos de los mayores productores mundiales.

Otros desarrollos transgénicos se han dirigido a mejorar las propiedades físicas o químicas en los alimentos. Existen tomates transgénicos que retrasan su ablandamiento y puede almacenarse durante largos períodos⁸ y también se han desarrollado patatas transgénicas con cambios en los contenidos de almidón, lo que repercute en su capacidad de retener aceite durante la fritura⁹. Hay plantas transgénicas de girasol o colza con cambios en los contenidos de ácidos grasos saturados u ovejas en las que se ha expresado el gen de la lactoalbúmina humana de forma que producen leche con una composición bioquímica distinta¹⁰. Recientemente se han generado vacas transgénicas que tienen modificados los niveles de distintas caseínas, de forma que su leche tiene propiedades funcionales nuevas¹¹. Incluso en el campo de los alimentos y bebidas fermentadas se han generado bacterias lácticas que acortan los tiempos de maduración de los quesos¹² o levaduras vínicas que incrementan el aroma afrutado¹³ o evitan problemas de filtrabilidad¹⁴ en el proceso de vinificación. Algunos de estos desarrollos ya han sido evaluados y otros lo están siendo ahora. En cualquier caso son alimentos transgénicos para el futuro inmediato.

Pero el objetivo clave para el futuro es mejorar las propiedades nutricionales de los alimentos mediante ingeniería genética, algo que a buen seguro el consumidor percibirá positivamente al implicar una mejora de su salud. Ya se han conseguido logros importantes. Se han desarrollado vegetales transgénicos denominados vacunas orales que inmunizan contra enfermedades infecciosas. Por ejemplo, se ha desarrollado una variedad de patata transgénica que contiene el gen que codifica una subunidad de la toxina del cólera y es capaz de inmunizar contra esta enfermedad¹⁵. Hay muchas más, tanto en vegetales¹⁶ como en bacterias ácido lácticas productoras de derivados lácteos¹⁷, e incluso algunos de ellos han sido ensayados con éxito en voluntarios humanos¹⁸. También se ha investigado la mejora en composición vitamínica de los alimentos. Ya se han conseguido variedades de arroz transgénico con un alto contenido en provitamina A capaces de solventar los problemas de avitaminosis en zonas del sudeste asiático donde este cereal es la base de la dieta¹⁹, se han generado fresas transgénicas con contenidos elevados de vitamina C²⁰ o tomates con distintas proporciones de tocoferoles²¹. Incluso se han conseguido levaduras panaderas que obvian problemas de alergenicidad²² o levaduras vínicas que producen vinos con más contenido de agentes con un posible efecto cardiosaludable²³. Son más alimentos transgénicos para el futuro.

Los riesgos

Con frecuencia, aunque con una falta absoluta de pruebas, se acusa a los alimentos transgénicos de ser un veneno para la salud y el medioambiente. Desde la seguridad alimentaria las cosas se perciben de otra manera. Desde hace más de quince años, organismos internacionales como la FAO, la OCDE o la OMS han establecido grupos de trabajo para evaluar la seguridad para el consumidor de los alimentos transgénicos, estableciendo un sistema de trabajo donde se da prioridad a la elaboración de principios científicos de evaluación. En todos los alimentos transgénicos que han obtenido el permiso de comercialización se ha llevado a cabo una evaluación de riesgos sanitarios atendiendo al contenido nutricional, la posible presencia de alérgenos y el nivel de toxicidad²⁴. Podemos afirmar sin miedo a equivocarnos que ningún alimento en la historia ha sido evaluado como estos. El resultado es que no existe un solo dato científico que indique que dichos alimentos, por el hecho de ser transgénicos, representen un riesgo para la salud del consumidor superior al que implica la ingestión del alimento convencional correspondiente²⁵, algo que recientemente ha sido puesto de manifiesto por la OMS en su página de Internet (<http://www.who.int/fsf/GMfood/>). La afirmación de la OMS establece un nuevo marco, ya que el ciudadano deberá elegir quién le merece mayor credibilidad en seguridad alimentaria: la OMS o las organizaciones ecologistas. Es interesante destacar que tras la publicación de esta decisión los grupos ecologistas han variado sus estrategias y apenas hablan ya de riesgos sanitarios cargando las tintas en los riesgos ambientales.

Es en esa parcela donde las cosas son, desde el punto de vista científico, menos claras, ya que hay una falta de metodologías para analizar riesgos medioambientales, tanto de las plantas transgénicas como de las

convencionales²⁶. Desde los sectores que se oponen a la transgenia se aducen posibles transferencias de los genes exógenos desde la variedad transgénica a variedades silvestres. Sin duda sucederán, ya que esta transferencia se produce frecuentemente en la naturaleza siempre que exista compatibilidad sexual y presión selectiva. Por ello, en Europa la transferencia de genes del maíz transgénico es improbable y probable si utilizamos soja transgénica²⁷. Pero no olvidemos que ese riesgo también se da y se dará con cualquier variedad vegetal resistente a una plaga que haya sido generada por cruce sexual o mutagénesis. Otro posible riesgo medioambiental es la pérdida de biodiversidad agrícola asociada al cultivo de plantas transgénicas. Nada nuevo en agricultura pues padecemos este problema desde que el hombre decidió cultivar. El freno racional a este problema, venga de las transgénicas, venga de las convencionales, es potenciar los bancos de germoplasma y las colecciones de cultivo. Un último riesgo medioambiental es el referente a los efectos dañinos que ciertas plantas transgénicas resistentes a insectos pueden tener sobre poblaciones de otros insectos distintos de aquellos contra los que protegen. Es una posibilidad que en el caso de los transgénicos, a diferencia de las variedades convencionales, antes de conceder el permiso de comercialización se obliga a analizar.

En resumen, no se percibe la aparición de nuevos posibles riesgos ambientales por el uso de las variedades transgénicas. Son los mismos de la agricultura convencional, aunque en este caso se intentan determinar a priori mediante la realización de liberaciones controladas al medio ambiente de las que ya se llevan realizadas decenas de miles en todo el mundo²⁸. La pregunta clave es, por lo tanto, ¿acelerará el empleo de transgénicos la aparición de estos riesgos? La respuesta desde la ciencia es que siempre que se mantengan las normas estrictas de evaluación que empleamos actualmente parece poco probable.

Los beneficios

¿Para qué sirven los alimentos transgénicos? Los grupos que se oponen a este nuevo tipo de alimentos lanzan esta pregunta en la UE. Ante la triste realidad de la moratoria que se dio en Europa en los últimos años, sólo se puede comercializar un maíz resistente a un insecto y una soja resistente a un herbicida, variedades que tan sólo benefician a los productores y no a los consumidores. Sin embargo, hemos visto que puede haber mucho más y de extrema utilidad. Pero no sólo para nosotros sino sobre todo para los países del Tercer Mundo²⁹⁻³⁰. De ello se han aprovechado muchas empresas del sector agroalimentario y algunos biotecnólogos entusiastas que, sin ruborizarse, afirman que los alimentos transgénicos acabarán con el problema del hambre en el mundo. Este problema tiene solución hoy en día al producirse la suficiente cantidad de alimentos para que nadie pase hambre, pero por desgracia el reparto de excedentes alimentarios es un problema social y político sin solución. Por ello, sin esas medidas de poco valen los transgénicos. Resulta particularmente lamentable que algunas compañías del sector hayan hecho uso de este mensaje cuando ninguna de ellas trabaja en los cultivos que plantan y comen los habitantes de los países con

problemas nutricionales y de abastecimiento. Pero si esas medidas se toman, los alimentos transgénicos pueden ser el complemento ideal. En esta filosofía se enmarcan los esfuerzos de algunos países del Tercer Mundo como China, India o Kenia financiando investigación pública sobre alimentos transgénicos. Ya hay desarrollos: patatas con mejor contenido proteico³¹, papayas con incrementos de productividad³² o boniatos resistentes al ataque de virus que acaban con la cosecha en algunos países africanos. ¿Tenemos derecho a prohibirles solucionar sus problemas en base a unos posibles riesgos que hasta ahora, a pesar de las miles de evaluaciones realizadas, no se han detectado? Aún a sabiendas de que pueda interpretarse como reaccionario por parte de algunos, debemos recordar que resulta penosa la actitud de alguna afamada organización ecologista cuando gira la vista a otro lado frente a todas estas evidencias.

El futuro

A pesar de que las campañas contrarias a la comercialización de los alimentos transgénicos se mantienen en las mismas posiciones desde hace más diez años, las evidencias científicas tan solo se han acumulado en un lado de la balanza, en el de demostrar la seguridad de estos productos. Además, los muchos años de cultivo, comercialización y consumo en países como Estados Unidos, Canadá o Australia suponen una sólida confirmación de que todos los miedos y peligros que se esgrimieron desde el principio carecen del fundamento que desde entonces ya les negaba la comunidad científica y de que el único camino válido, era entonces y lo sigue siendo ahora, la evaluación caso por caso y riesgo por riesgo.

Como ha ocurrido siempre en la historia de la ciencia y la tecnología, la verdad y el progreso acaban imponiéndose al fundamentalismo y la sinrazón. Nada está exento de riesgo y por ello nunca se puede bajar la guardia, pero de nada sirve partir de posiciones prejuzgadas e inamovibles y las soluciones siempre pasan por atender a evaluaciones exhaustivas y avalar las conclusiones y las decisiones que de ellas se deriven con argumentos científicos contrastables. En el futuro próximo nos espera una avalancha de nuevos alimentos transgénicos en los que el consumidor encontrará ventajas para su salud o para sus sentidos. Sin duda la percepción social de los transgénicos en Europa se verá profundamente alterada cuando los ciudadanos puedan encontrarle la utilidad a estos productos, tal y como ocurrió, ya hace décadas, cuando empezaron a producirse vacunas o insulina transgénica que representaban claras ventajas económicas y sanitarias y que ni en su origen ni en la actualidad han generado el más mínimo revuelo social.

Bibliografía

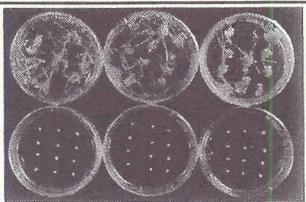
1. Daniel Ramón. Los genes que comemos. Algar, 1999, Alzira.
2. Jared Diamond. "Evolution, consequences and future of plant and animal domestication". Nature 418, 2002, págs 700-707.
3. Moshe Feldman, Ernest Sears. "Los recursos genéticos del trigo silvestre" Investigación y Ciencia, Marzo 1981, págs 50-61.
4. Daniel Ramón, María Dolores Calvo. "Debate en torno a la comercialización de los alimentos transgénicos". Arbor 661 2001, págs 171-186.

5. Graham Brookes. "The farm level impact of using Bt maize in Spain". *Crop Biotechnology Science* 3, 2003, 1-16.
6. Marcel Prins. "Broad virus resistance in transgenic plants". *Trends in Biotechnology* 21, 2003, págs 373-375.
7. Dilip Shah, Robert Horsch, Harry Klee, Ganesh Kishore, Jill Winter, Nilgun Tumer, Cathy Hironajka, Patricia Sanders, Charles Gasser, Serdar Aykent, Ned Siegel, Stephen Rogers, Robert Fraley. "Engineering herbicide tolerance in transgenic plants". *Science* 233, 1986, págs 478-481.
8. Raymond Sheehy, Matthew Kramer, William Hiatt. "Reduction of polygalacturonase activity in tomato fruit by antisense RNA". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 85, 1988, págs 8805-8809.
9. Richard Visser, Evert Jacobsen. "Towards modifying plants for altered starch content and composition". *Trends in Biotechnology* 11, 1993, págs 63-68.
10. Anthony Kinney. "Designer oils for better nutrition". *Nature Biotechnology* 14, 1996, págs 946.
11. Brigid Brophy, Grant Smolenski, Thomas Wheeler, David Wells, Phil L'Huillier, Götz Laible. "Cloned transgenic cattle produce milk with higher levels of β -casein and κ -casein". *Nature Biotechnology* 21, 2003, págs 157-162.
12. Pascale de Ruyter, Oscar Kuipers, Wilco Meijer, Willem de Vos. "Food-grade controlled lysis of *Lactococcus lactis* for accelerated cheese ripening". *Nature Biotechnology* 15, 1997, págs 976-979.
13. Paloma Sánchez-Torres, Luis González-Candelas, Daniel Ramón. "Expression in a wine yeast strain of the *Aspergillus niger* abfB gene". *FEMS Microbiology Letters* 145, 1996, págs 189-194.
14. Luis González-Candelas, Alejandro Cortell, Daniel Ramón. "Construction of a recombinant wine yeast strain expressing a fungal pectate lyase gene". *FEMS Microbiology Letters* 126, 1995, págs 263-270.
15. Takeshi Arakawa, Daniel Chong, William Langridge. "Efficacy of a food plant-based oral cholera toxin B subunit vaccine". *Nature Biotechnology* 16, 1998, págs 292-297.
16. Amanda Walmsley, Charle Arntzen. "Plant cell factories and mucosal vaccines". *Current Opinion in Biotechnology* 14, 2003, págs 145-150.
17. Karen Robinson, Lisa Chamberlain, Karin Schofield, Jeremy Wells, Richard LePage. "Oral vaccination of mice against tetanus with recombinant *Lactococcus lactis*". *Nature Biotechnology* 15, 1997, págs 653-657.
18. Carol Tacket, Hugh Mason, Genevieve Losonsky, John Clements, Myron Levine, Charles Arntzen. "Immunogenicity in humans of a recombinant bacterial antigen delivered in a transgenic potato". *Nature Medicine* 5, 1998, págs 607-609.
19. Xudong Ye, Salim Al-Babili, Andreas Klöti, Jing Zhang, Paola Lucca, Peter Beyer, Ingo Potrykus. "Engineering provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm". *Science*, 2000, págs 303-305.
20. Fernando Agius, Rocío González-Lamothe, José Luis Caballero, Juan Muñoz-Blanco, Miguel Angel Botella, Victoriano Valpuesta. "Engineering increased vitamin C levels in plants by overexpression of a D-galacturonic acid reductase". *Nature Biotechnology* 21, 2003, págs 177-181.
21. David Shintani, Dean Della Penna. "Elevating the vitamin E content of plants through metabolic engineering". *Science* 282, 1998, págs 2098-2100.
22. Francisca Rández-Gil, Pascual Sanz, José Antonio Prieto. "Engineering baker's yeast: room for improvement". *Trends in Biotechnology* 17, 1999, págs 237-244.
23. Luis González-Candelas, José Vicente Gil, Rosa Lamuela-Raventós, Daniel Ramón. "The use of transgenic yeasts expressing a gene encoding a glycosyl-hydrolase as a tool to increase resveratrol content in wine". *International Journal of Food Microbiology*, 59, 2000, págs 179-183.
24. Karl Heinz Engel, Gary Takeoka, Roy Teranishi. Genetically modified foods: safety aspects. *ACS Symposium Series*, 1995, Washington.
25. Daniel Ramón. "Genetically modified foods: a case of information or misinformation". *International Microbiology* 3, 2000, págs 1-2.
26. Daniel Ramón, Fernando González-Candelas. "Els aliments transgènics: reflexions científiques i socials". *Mètode* 24, 2000, págs 8-9.
27. Fernando Nuez, Juan José Ruiz. "¿Constituyen los cultivos transgénicos un riesgo para el hombre o el medio ambiente?" *Phytoma* 91, 1997, págs 7-16.
28. Clive James. Global review of commercialized transgenic crops. ISAAA, 2002, Ithaca.
29. Jikung Huang, Carl Pray, Scott Rozelle. "Enhancing the crops to feed the poor". *Nature* 418, 2002, págs 678-684.
30. Robert Paarlberg. "The real threat to GM crops in poor countries: consumer and policy resistance to GM foods in rich countries". *Food Policy* 27, 2002, págs 247-250.
31. Subhra Chakraborty, Niranjan Chakraborty, Asis Datta. "Increased nutritive value of transgenic potato by expressing a nonallergenic seed albumin gene from *Amaranthus hypochondriacus*". *Proceedings of the National Academy of Science USA* 97, 2000, págs 3724-3729.
32. Juan Manuel De la Fuente, Verenice Ramírez-Rodríguez, José Luis Cabrera-Ponce, Luis Herrera-Estrella. "Aluminium tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis". *Science* 276, 1997, págs 1566-1568.

V WORKSHOP
MÉTODOS RÁPIDOS Y AUTOMATIZACIÓN EN
MICROBIOLOGÍA ALIMENTARIA

ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Generalidades y detección



José-Vicente Gil Ponce
Universitat de València-CSIC



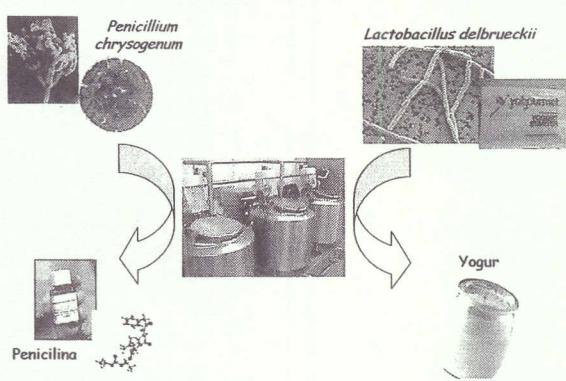
Alimentos en boca de muchos



¿Son seguros?
¿Son sanos?
¿Son sostenibles?
¿Son solidarios?
¿Son necesarios?
¿Son naturales?

WILL THE FARMERS FEED THE WORLD?
BY MIKE HAYER

¿Qué es Biotecnología?



Penicillium chrysogenum
Lactobacillus delbrueckii
Penicilina
Yogur

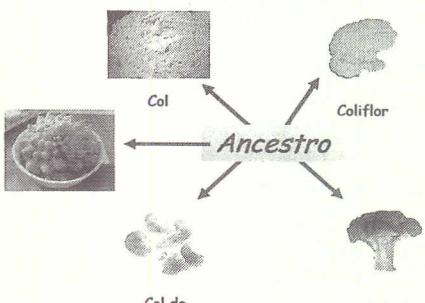
¿Qué es Biotecnología... para un ciudadano europeo?



Biotecnología y alimentación es... genética



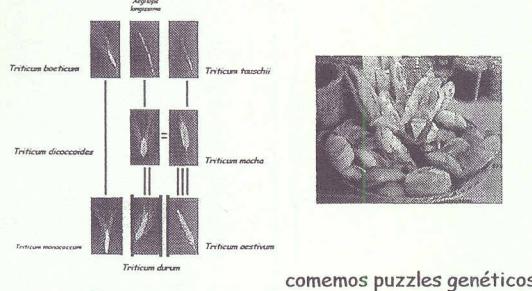
La variabilidad natural en la alimentación



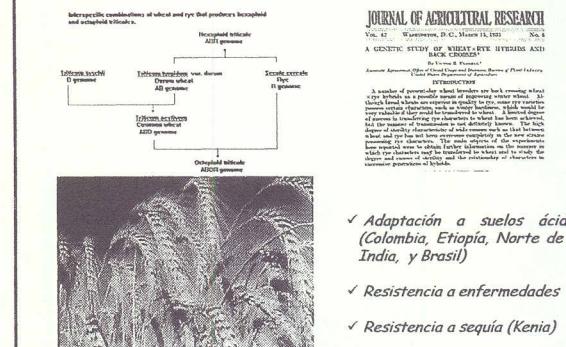
Ancestro
Col
Coliflor
Col de Bruselas
Brócoli

comemos mutantes

El empleo de la hibridación



Creación de nuevas especies comestibles

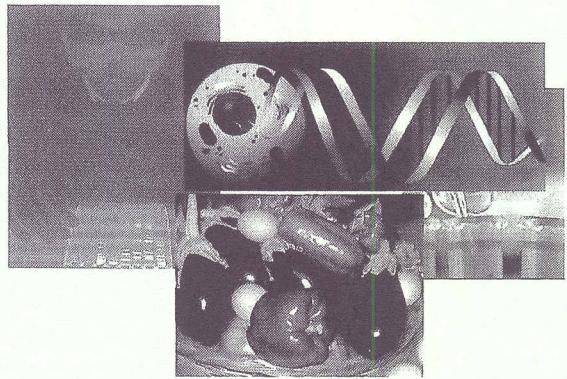


✓ Adaptación a suelos ácidos (Colombia, Etiopía, Norte de la India, y Brasil)

✓ Resistencia a enfermedades

✓ Resistencia a sequía (Kenia)

La nueva herramienta: ingeniería genética

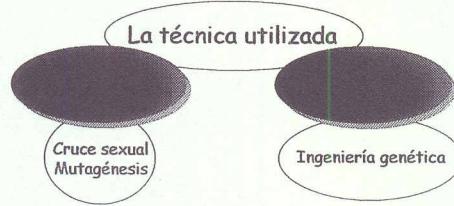


¿Qué es un alimento transgénico?



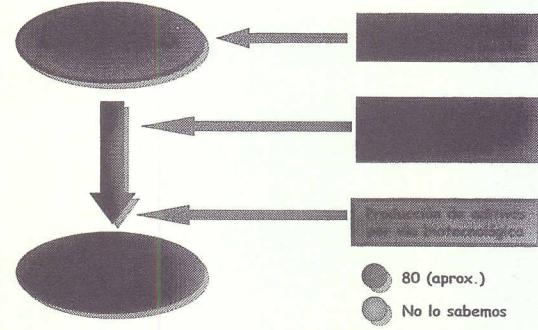
Aquellos en cuyo diseño utilizamos técnicas de ingeniería genética

¿Qué los diferencia de los convencionales?

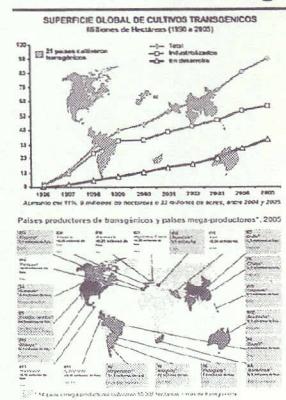


- Reducción del azar frente a aumento de la direccionalidad
- Obtención de resultados en menos tiempo
- Posibilidad de saltar la barrera de especie (repercusiones éticas)
- Estrictas evaluaciones sanitarias y medioambientales

¿Cuántos hay?



Cultivos transgénicos en 2005



i) Se plantaron 90 millones de Has de plantas transgénicas (11% y 4 países más que en el 2004)

ii) Las usaron 8.5 millones de agricultores (90% en países del Tercer Mundo)

iii) Se cultivaron en 21 países en todo el mundo (USA 55%, Argentina 19%, Brasil 10%, Canadá 6%, China 4%, Paraguay 2%, India 1.5%)

iv) Seis países en Europa cultivaron transgénicos, entre ellos España

v) Soja 60%, Maíz 24%, Algodón 11%, Canola 5%

vi) Tolerancia a herbicidas 71%, Bt 18%, Ambos 11%

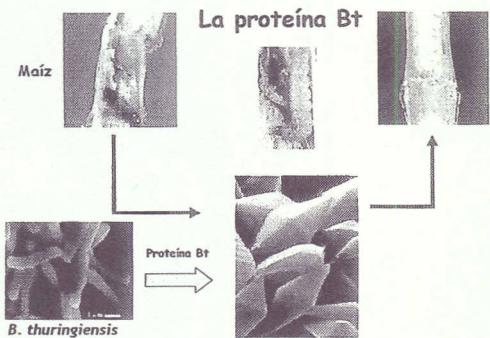
Alimentos Transgénicos vegetales

Campos de aplicación

- ✓ Resistencia a plagas
- ✓ Resistencia a herbicidas
- ✓ Propiedades físicas
- ✓ Propiedades nutricionales
- ✓ Resistencia a estrés
- ✓ Producción de compuestos

Alimentos Transgénicos vegetales

Resistencia a plagas: insectos



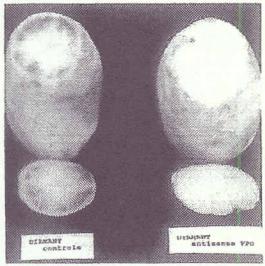
Alimentos Transgénicos vegetales

Resistencia a herbicidas



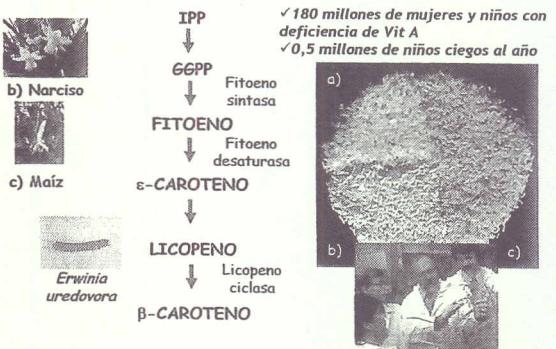
Alimentos Transgénicos vegetales

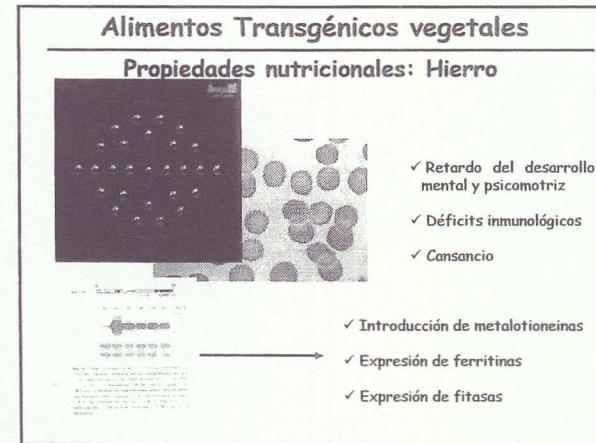
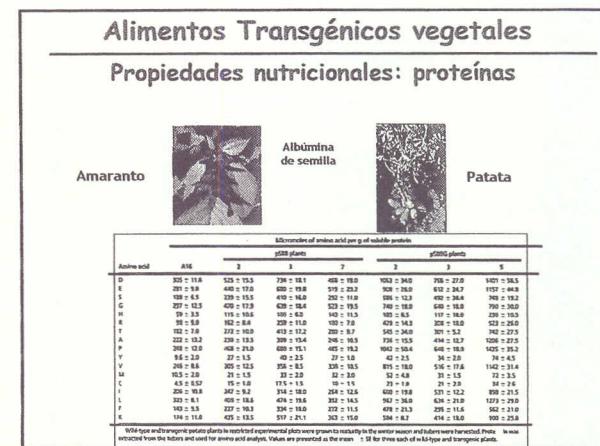
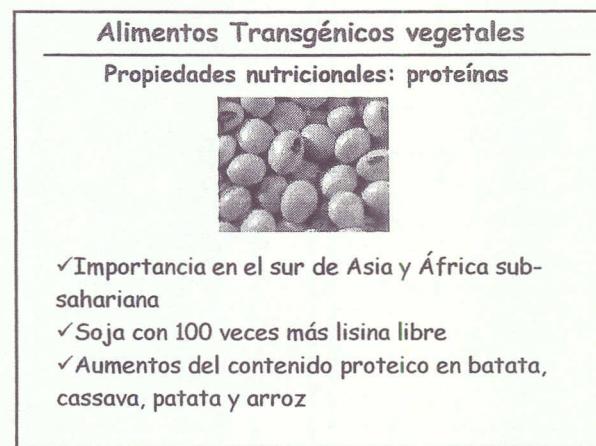
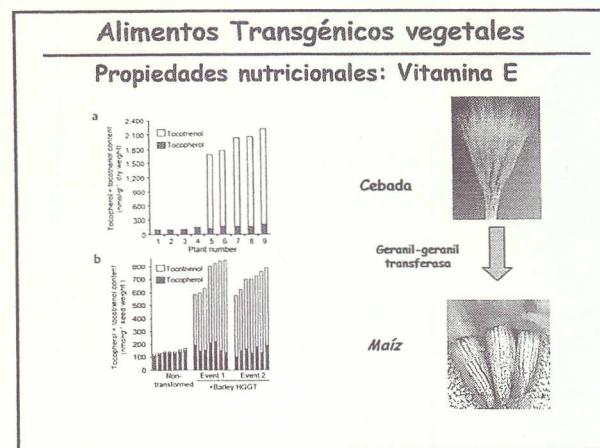
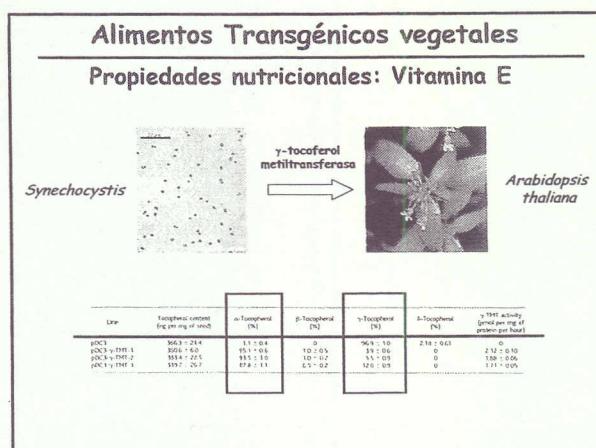
Propiedades físicas: pardeamiento



Alimentos Transgénicos vegetales

Propiedades nutricionales: Vitamina A



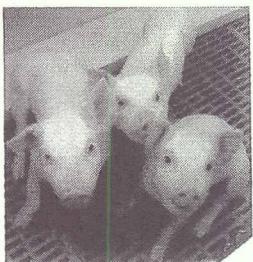


Animales transgénicos

Mejora animales de granja: nutrición

- ✓ La n-6/n-3 ratio disminuye de 15,88 a 4,35 en músculo

- ✓ No se detectan otros cambios



Animales transgénicos

Uso de animales como biofactoría

CABRA

Activador plaminógeno t-PA (> 3g/l)

CERDOS

Factor VIII humano (1-2.7 mg/l)
Proteína C (1 g/l)

CONEJOS

Interleuquina-2 humana (50 µg/l)
Calcitonina (2 g/l)

OVEJAS

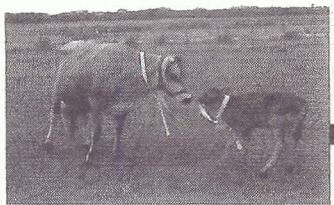
Antitripsina 1 humana (35 g/l)
Factor IX antihemofílico (25 g/l)



Animales transgénicos

Uso de animales como biofactoría

5 Kg /año de hGH

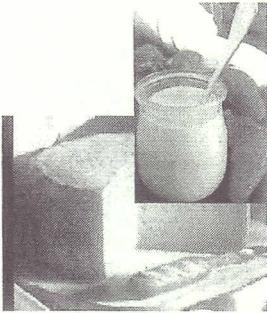


Pampa, Pampa Mansa, Pampa Mansa y Pampa Mansa II y III... y Pampero

Alimentos fermentados transgénicos

Bacterias ácido-lácticas

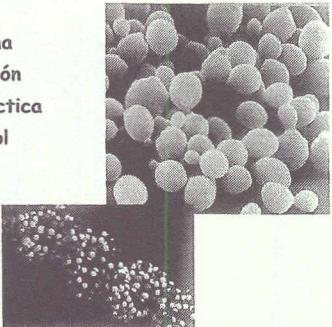
- ✓ Utilización de lactosa
- ✓ Actividad proteasa
- ✓ Producción de diacetilo
- ✓ Bacteriocinas
- ✓ Resistencia a fagos
- ✓ Vacunas



Alimentos fermentados transgénicos

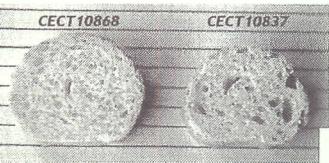
Levaduras

- ✓ Incremento del aroma
- ✓ Enzimas de maceración
- ✓ Fermentación maloláctica
- ✓ Producción de glicerol
- ✓ Diacetilo
- ✓ β -glucano
- ✓ Amilasa



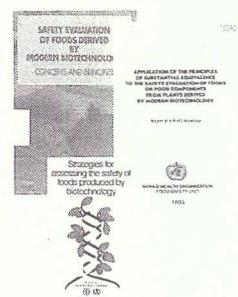
Alimentos fermentados transgénicos

Levaduras: panes antialérgicos



¿Los alimentos transgénicos son un riesgo para la seguridad alimentaria?

- i) Los transgénicos autorizados son los alimentos más evaluados de toda la historia de la alimentación
- ii) Siguiendo los criterios de OMS, en todos los alimentos transgénicos autorizados se ha analizado la composición nutricional, la alergenicidad y la toxicidad
- iii) No hay datos científicos que permitan concluir que cualquiera de todos estos alimentos transgénicos sean mejores o peores para la salud del consumidor que los convencionales correspondientes



¿Tienen claro los europeos qué es seguridad alimentaria?

«Aautorizan un alimento que tuviera...»

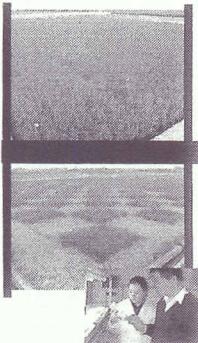
- Presencia de un patógeno que cause enfermedades de pulmón en el cerdo
- Presencia de un pesticida que reduce la enfermedad de Parkinson
- Mayor incidencia de arotinato A en arroz y trigo
- Mayor presencia de fumonisina B2
- Presencia de pesticidas prohibidos como DDT, heptaclor y deltametrina
- Mayor contenido en polifenoles totales
- Mayor incidencia de Escherichia coli
- Escasa incidencia de listeriosis
- Mayor incidencia de neosíntesis A en leche
- Mayor incidencia de muerte eosinofílica
- Mayor incidencia de parvulivrosis
- Mayor incidencia de pleurosis
- Mayor incidencia de diarreas
- Mayor número de observaciones de ligado
- Mayor incidencia de gomas en pollos
- Mayor incidencia del parásito intestinal *Enterobius vermicularis*
- Mayor incidencia del parásito intestinal *Enterobius vermicularis*
- Alta incidencia de contaminación por el parásito *Ascaris suum*
- Alta incidencia de contaminación por el parásito *Trichuris trichiura*
- Alta incidencia de contaminación por el parásito *Oesophagostomum spp*

REFERENCIA

Machemer (1999) New Scientist 162: 2108
Bettarotti (2000) Nature Neurosci 3: 1301-1304
Jorgenson y Jacobson (2002) Food Addit Contam 19: 1104-1109
Ceville et al. (2003) J Agric Food Chem 51: 8120-8131
González et al. (2003) J Agric Food Chem 51: 1353-1359
Lombard-Bacca et al. (2004) J Agric Food Chem 52: 90-94
Lombard-Bacca et al. (2004) 2 Food Protect 6: 994-900
Varey y Everardson (1997) J Dairy Res 64: 23-27
Shay (1999) Food Addit Contam 16: 75-78
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Honson et al. (2000) J Vet Med B 48: 111-120
Cobert et al. (2002) Vet Parasitol 105: 33-47
Cobert et al. (2002) Vet Parasitol 105: 33-47
Cobert et al. (2002) Vet Parasitol 105: 33-47
Cortesmen et al. (2002) Vet Parasitol 105: 253-264
Cortesmen et al. (2002) Vet Parasitol 105: 253-264
Cortesmen et al. (2002) Vet Parasitol 105: 253-264

Descripción en alimentos provenientes de la agricultura orgánica

¿Es una agricultura para ricos?



- i) En el 2001-05 el gobierno chino destinó 15000 millones de dólares a proyectos biotecnológicos; en el 2006-10 han prometido un 400% de incremento de fondos
- ii) El actual Programa Nacional de Biotecnología trabaja con más de 130 variedades transgénicas y 100 genes concretos
- iii) Han aprobado diez cultivos transgénicos para consumo humano (arroz, algodón, maíz, soja y patata). Ya cultivan arroz Bt y arroz transgénico tolerante a la marchitez bacteriana

¿Qué dice la Organización Mundial de la Salud?

OMS

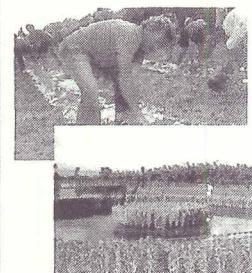


Twenty questions on genetically modified foods

Los alimentos genéticamente modificados actualmente disponibles en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgo y no es probable que presenten riesgos para la salud humana. Además, no se han demostrado efectos sobre la salud humana como resultado del consumo de dichos alimentos por la población general en los países donde fueron aprobados.

<http://www.who.int/fsf/GMfood/>

¿Los alimentos transgénicos son un riesgo para el medio ambiente?



- i) No hay una metodología desarrollada; se hacen liberaciones previas controladas
- ii) Hay tres riesgos posibles: transferencia de genes, descenso de la biodiversidad, daño a otras especies
- iii) Son los mismos riesgos que tienen las plantas convencionales
- iv) El problema real es la velocidad de aparición

India y los transgénicos

- i) El cultivo de algodón Bt ha pasado de 28000 Ha en el 2002-03 a 1300000 Ha en el 2005-06. En la actual campaña 2006-07 se espera llegar a los 4200000 Has. Monsanto sólo ha vendido el 5% de la semilla empleada

- ii) Con el uso de algodón Bt se ha rebajado el consumo de insecticidas en un 70% y aumentando la productividad en un 58% (737 kg/Ha); el beneficio medio de los agricultores ha aumentado un 60%

- iii) Hay en marcha 48 proyectos de plantas transgénicas financiadas con fondos públicos que afectan a 15 cultivos distintos. Hay en marcha ensayos de berenjena, cacaotero, calabaza, coliflor y lentejas Bt



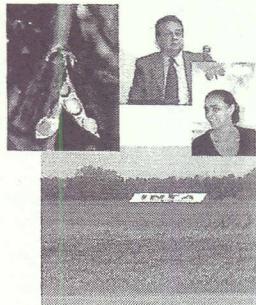
Latinoamérica

i) En el 2004 el 98% de la soja plantada en Argentina era transgénica; con ella y con la siembra directa se han alcanzado rendimientos de más de 6 toneladas de haba/Ha

ii) Con su uso se ha reducido la erosión, el consumo energético y el uso de pesticidas

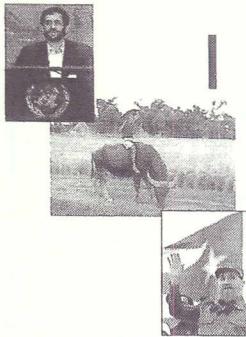
iii) En el año 2003 el 40% de la soja plantada en Brasil era ilegalmente transgénica; el gobierno del Partido de los Trabajadores tuvo que establecer una medida precautoria

iv) En la campaña 2005-06 se han sembrado ya más de 9 millones de Ha's de soja transgénica pero se sospecha que aun hay más soja ilegal



Otros ejemplos de los que nunca se habla

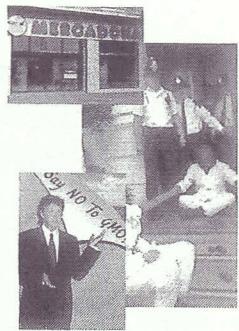
i) Irán en el año 2004 fue el primer país en cultivar arroz transgénico (*Tarom molaii Bt*) con el que ha logrado frenar la importación de más de un millón de toneladas de arroz



ii) En febrero de este año el gobierno de Vietnam ha anunciado la creación de un Programa de Biotecnología agroalimentaria con un presupuesto de 53 millones de euros

iii) La Agencia Cubana de Noticias reconoció el pasado día 4 de mayo que en Cuba se han producido más de 100 millones de plantas transgénicas desde el año 1988 (banana, papaya y piña)

El caso de la UE



i) Falta de credibilidad de las instituciones evaluadoras

ii) Fuerte presión por parte de algunas organizaciones ecologistas sobre la industria de distribución

iii) Se ha defendido el derecho a no comer transgénicos, pero no el derecho a comerlos (listas verdes y rojas)

iv) El riesgo de no hacer: la UE está a punto de perder este tren

v) A comienzos de mayo, la OMC ha dictaminado en contra de la UE en su contencioso sobre la moratoria de comercialización de los alimentos transgénicos

La legislación en la UE

La trazabilidad y la detección

✓ Desde 2003, los alimentos que sean organismos modificados genéticamente, que los contengan o que estén hechos a base de OMG, incluidos los productos para animales, deben llevar obligatoriamente la referencia OMG en la etiqueta. De esa forma, los consumidores pueden elegir en lo que respecta al consumo de dichos productos.

✓ En el caso de que la presencia detectable de ingrediente proveniente de OMG se deba a contaminación, el etiquetado es obligatorio a partir del 0,9%.

Reglamentos (CE): 1829/2003 y 1830/2003

Análisis por ELISA o PCR

Análisis de la proteína transgénica Ensayos inmunológicos (ELISA)



Análisis de la secuencia transgénica PCR (Polymerase Chain Reaction)



La realidad: debate tecnológico versus debate ideológico



i) El problema del hambre en el mundo no se resuelve sólo con genética, precisa sobre todo de medidas políticas y sociales

ii) Se ataca el sistema agroalimentario tomando como bandera los transgénicos

iii) En el fondo se trata de un problema de intereses comerciales