

Los transgénicos en la alimentación.

*Daniel Ramón Vidal**

De los albores de la agricultura a la ingeniería genética

Contrariamente a lo que mucha gente piensa, emplear genética en la alimentación y la nutrición no es nuevo. Desde hace 12000 años, en los albores de la agricultura y la ganadería, el hombre, ha mejorado las razas de animales de granja y las variedades vegetales comestibles utilizando técnicas genéticas (García Olmedo, 2009). Comenzó domesticando estos organismos y acabó mejorándolos mediante el empleo de genética (Reichholf, 2009). Para ello utilizó varias técnicas. De entre todas ellas las más utilizadas han sido la hibridación, conocida como cruce sexual, y la aparición de mutantes espontáneos, también llamada variabilidad natural.

En la primera de estas técnicas se cruzan dos organismos parentales portadores cada uno de ellos de una característica agroalimentaria relevante persiguiendo conseguir en el híbrido resultante las características positivas de los dos (Cubero, 2003). Por ejemplo, se puede cruzar una variedad con buenas propiedades organolépticas y que tenga baja productividad con otra con buena productividad en campo pero falta de aroma y sabor. En el híbrido se busca una alta productividad y un buen perfil organoléptico. Dado que cada uno de estos parentales tiene un genoma con varias decenas de miles de genes, lo que ocurre a nivel molecular en estos cruces es la mezcla al azar de los miles de genes de cada progenitor, de forma que la combinación con los genes adecuados será minoritaria. Pero los mejoradores son capaces de seleccionar los híbridos adecuados entre esa descendencia. Por complicada que parezca esta tecnología ha funcionado magníficamente, de hecho un porcentaje altísimo de variedades vegetales y razas animales que consumimos en nuestra dieta son productos de procesos de cruce y selección. Así se han conseguido las variedades de trigo con las que se producen las harinas panaderas. Los genomas de estas variedades son un auténtico puzzle de cromosomas que pueden llegar a tener hasta seis pares de cada cromosoma cuando las variedades ancestrales que se cultivaban en el Sudeste Asiático hace 8000 años tenían dos. Otro ejemplo de mejora por cruce sexual hace referencia a las gallinas ponedoras de huevos. En la década de los cincuenta del siglo pasado las razas más productoras ponían setenta huevos por año. Aplicando

técnicas de cruce sexual se han logrado razas que en la actualidad ponen trescientos huevos por año.

Al aplicar la segunda de las técnicas anteriormente mencionadas, la mutación, se seleccionan nuevos individuos mutantes que, también al azar, han cambiado uno o unos pocos de las decenas de miles de genes de su genoma consiguiendo una nueva combinación mucho más eficaz desde el punto de vista agroalimentario. Un caso claro son las coles. Estos vegetales no existían hace cinco mil años. Son el fruto de una mutación en el genoma de un ancestro evolutivo ya desaparecido sobre un gen que controlaba el desarrollo de las yemas florales. Otras mutaciones en genes que controlaban el desarrollo de las yemas terminales, las yemas laterales o las flores y los tallos explican la aparición de los repollos, las coles de Bruselas o los brécoles, respectivamente. A veces, se ha forzado la aparición de estos mutantes utilizando mutagénesis forzada. Este es el caso de la variedad rosada de pomelo que se obtuvo por irradiación con rayos X de una variedad previa de pomelo blanco.

Todas las técnicas genéticas mencionadas hasta ahora presentan dos importantes limitaciones: la falta de direccionalidad y la imposibilidad de saltar la barrera de especie. Con respecto a la primera, es imposible conseguir agrupar selectivamente en el descendiente de un cruce los genes deseados de un parental y del otro. De la misma forma, mutar selectivamente un único gen de un genoma es imposible. En cuanto a la barrera de especie, no se puede mutar una zanahoria hasta conseguir una nueva variedad que tenga el contenido en resveratrol de la uva, ni es posible llevar a cabo un cruce sexual entre estos dos vegetales. Hace poco más de treinta años, algunos investigadores norteamericanos trabajando en biología básica descubrieron la forma de hacer moléculas híbridas (o recombinantes) de DNA proveniente de dos organismos distintos. Mediante estas técnicas, denominadas en global ingeniería genética, es posible dirigir la mejora genética al seleccionar el fragmento del genoma que contiene el gen deseado y también saltar la barrera de especie. En esencia consiste en tomar el gen deseado del genoma de un organismo donador e introducirlo en el genoma de un organismo receptor generando un organismo modificado genéticamente (abreviadamente OMG) o transgénico. Por supuesto, estas técnicas se pueden utilizar en la agricultura y la alimentación. Cuando se aplican se logran los llamados alimentos o cultivos transgénicos. Conviene destacar que hay tres diferencias notables entre las técnicas genéticas convencionales y la ingeniería genética. Con la ingeniería genética se direcciona la modificación genética introducida, se hace de forma más rápida y eficaz y, como anteriormente se mencionó, se puede saltar la barrera de

especie. La última de ellas puede afectar a determinados grupos de consumidores, sobre todo si los genes transferidos son de los denominados de reserva ética. Por ejemplo, la expresión de genes provenientes del genoma de un animal en un genoma vegetal o de genes provenientes de genomas de animales que presentan limitaciones de ingesta para alguna religión o grupo étnico.

Alimentos y cultivos transgénicos

Es fácil definir que es un alimento transgénico. Es aquel en cuyo diseño se han utilizado técnicas de ingeniería genética (Ramón, 2004). En la Unión Europea su comercialización está bajo sospecha por cuestiones que tienen más que ver con un debate ideológico que con un debate científico (*vide infra*). En otras partes del planeta, su uso aumenta año tras año. De hecho, no ha existido otra nueva tecnología que se haya impuesto a la misma velocidad en la historia de la agroalimentación. Para comprenderlo basta entender el aumento de la superficie mundial con cultivos transgénicos. Siguiendo los datos de la organización *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications* (<http://www.isaaa.org/>), en el año 2010 se cultivaron 148 millones de hectáreas de plantas transgénicas en el planeta. En total, 29 países cultivaron transgénicos. Merece la pena destacar que en este año, el 90% de los 15.4 millones de agricultores que cultivaron transgénicos vivían en países pobres y sembraron más del 48% de la superficie mundial de transgénicos. En Europa sólo ocho países, entre ellos España, cultivaron transgénicos.

Los primeros alimentos transgénicos que se han comercializado son vegetales transgénicos comestibles que resisten el tratamiento con herbicidas o el ataque de distintas plagas. Se les conoce con el nombre de primera generación de transgénicos y cubren casi la totalidad de los que ahora se comercializan. Han sido los primeros en desarrollarse porque dependen de un único gen y, por lo tanto, su generación es relativamente sencilla y también porque se trata de desarrollos con indudable interés comercial para los agricultores, lo que asegura su venta.

La mayoría de plantas transgénicas resistentes a herbicidas lo son al glifosato, un compuesto que inhibe la acción del enzima condensador de fosfoenolpiruvato, un paso clave en la síntesis de aminoácidos aromáticos. Se han seguido dos estrategias para construir plantas transgénicas resistentes a este herbicida. En la primera se ha aumentado la dosis génica del gen diana desequilibrando la relación cantidad de herbicida/cantidad de

dianas. En la segunda se han buscado mutaciones en el gen que codifica la enzima condensadora, de forma que el sitio activo de unión al herbicida ha variado y ya no se produce la inhibición. El empleo de estos cultivos transgénicos va unido a la siembra directa, una práctica agrícola que consiste en espolvorear la semilla sin roturar el campo y tratar inmediatamente con el herbicida (Gianessi, 2005). Usando esta doble tecnología, en Argentina se han alcanzado rendimientos de más de 6 toneladas de haba/Ha con una reducción importante del consumo energético y la erosión, unida a un aumento de la biodiversidad. En la campaña 1994-95, la última sin soja transgénica, los agricultores argentinos gastaban 78 dólares/Ha en herbicidas. Hoy gastan 37 dólares/Ha y se ha producido una bajada del 90% global en el consumo de estos plaguicidas. En cuanto a las plantas resistentes a plagas, se han generado variedades comestibles con resistencia a viroides, virus, bacterias, hongos o insectos (Christou *et al.*, 2006). El desarrollo más conocido es la expresión de la proteína insecticida Bt de la bacteria *Bacillus thuringiensis* en distintas plantas, entre ellas el algodón o el maíz, produciendo resistencia al ataque por este gusano. Se les denomina cultivos Bt y su productividad en campo es superior a la de los cultivos convencionales si hay incidencia de la plaga. Además dan lugar a reducciones drásticas del uso de insecticidas. Como prueba basta recordar que el uso en India del algodón Bt ha reducido el consumo de insecticidas un 70%. En la UE está autorizada la comercialización de soja transgénica resistente al glifosato y del maíz transgénico Bt, ahora bien, ninguno de estos dos cultivos se utiliza directamente en alimentación humana. Se usan como base para la preparación de piensos animales o en la obtención de almidones o jarabes de glucosa de maíz y de lecitinas o fitoesteroles de soja. Estos ingredientes se utilizan en la formulación de miles de alimentos que deben de hacer constar en su etiqueta la procedencia transgénica.

Hay más alimentos y cultivo transgénicos. Son la segunda generación y en ellos la modificación genética introducida afecta a propiedades físico-químicas, organolépticas o nutricionales. Se han llevado a cabo en vegetales comestibles, en animales de granja y en microorganismos responsables de fermentaciones alimentarias. Por supuesto entrañan mayor complejidad tecnológica pues suelen afectar a varios genes, por eso se han conseguido más tarde. Algunos de ellos están afectados en propiedades físico-químicas como por ejemplo el proceso de podredumbre. En este sentido se han conseguido tomates transgénicos que tienen disminuida la expresión del gen que codifica la enzima poligalacturonasa, consiguiendo una reducción de hasta un 80% de la actividad y un retraso considerable en la podredumbre del fruto (Sanders and Hiatt, 2005). En ocasiones se han mejorado las propiedades organolépticas. Este es el caso de la construcción de levaduras

vínicas transgénicas que tienen mayor aroma afrutado (Pérez-González *et al.*, 1993). Ahora bien, donde más atractivo resultará el empleo de la ingeniería genética será en su uso para paliar problemas de déficit nutricional presentes en muchos alimentos. Existen ya multitud de alimentos transgénicos mejorados en cuanto a su composición nutricional (Tabla 1). Merece la pena comentar un par de ellos. El primero es el denominado arroz dorado. Se trata de un arroz transgénico en el que se han introducido tres genes que permiten que este cereal contenga β -caroteno. Su uso, previsto para el año 2014, permitirá eliminar el problema crónico de avitaminosis en países pobres del Sudeste asiático y Latinoamérica donde la base de la dieta es el arroz (Tang *et al.*, 2009). Según datos de OMS, este problema nutricional produce la muerte de 2 millones de niños cada año y condena a la ceguera a 250000 niños en el mismo período de tiempo. El segundo ejemplo es la reciente creación de un tomate transgénico donde se han expresado dos genes de la planta *Antirrhinum majus* que codifican dos factores transcripcionales (Butelli *et al.*, 2008). El resultado son tomates que acumulan antocianos a concentraciones comparables a las que se encuentran en los arándanos o las moras. Estos tomates tienen una tonalidad púrpura y han sido usados en un análisis preclínico en ratones mutantes Trp53 (-/-) susceptibles en el desarrollo de cáncer demostrándose que el grupo alimentado con estos tomates transgénicos no desarrollaban tumores mientras que el grupo de ratones mutantes alimentados con tomates convencionales los desarrollaba .

Evaluación de riesgos de los alimentos y cultivos transgénicos

Como anteriormente se indicó, en la UE hay un debate en torno a la comercialización de los alimentos transgénicos. Se trata de un debate ideológico, excesivamente politizado y carente de datos técnicos. Baste recordar que en la UE, los alimentos obtenidos por técnicas clásicas de biotecnología (incluida la mutación con agentes mutagénicos) no precisan de una evaluación sanitaria. Por el contrario, los alimentos transgénicos la requieren obligatoriamente antes de su comercialización. Para ello se siguen las directrices de FAO y OMS que durante años establecieron sus propios grupos de trabajo sobre la seguridad para el consumidor de los nuevos alimentos transgénicos, concediéndole prioridad a la elaboración de principios científicos para su evaluación. Estas directrices implican evaluar el contenido nutricional, la posible presencia de alérgenos y el nivel de toxicidad.

En cuanto a la composición nutricional se sigue el criterio de la equivalencia sustancial. Es utilizado por la normativa europea sobre la comercialización de alimentos transgénicos que otorga dicha categoría a aquellos alimentos transgénicos cuya composición nutricional y características organolépticas son iguales a aquel del que proviene, con la única excepción del nuevo carácter introducido por ingeniería genética. Todos los alimentos transgénicos comercializados hasta la fecha cumplen este requisito. Para evaluar la alergenicidad se siguen los criterios de FAO, OMS y el grupo *Codex ad hoc Intergovernmental Task Force on Foods Derived from Biotechnology*. Implica que para cada alimento transgénico se evalúa el análisis de homología y similitud estructural entre la proteína transgénica y alergenitos conocidos y también la posible identificación de epítomos que por su secuencia en aminoácidos puedan interaccionar con la inmunoglobulina E, epítomos de células T o motivos estructurales significativos. También para algunos casos incluye el estudio de la digestibilidad de la proteína transgénica en sistemas simulados de fluidos gástricos e intestinales y estudios de exposición ocupacional. Todos estos trabajos cobran especial relevancia si el organismo donador del gen tiene un pasado de alergenicidad. Finalmente, para llevar a cabo los estudios toxicológicos, si hay equivalencia sustancial se focalizan en la proteína transgénica. Se requiere información sobre su carcinogenicidad, genotoxicidad, metabolismo, toxicidad crónica y subcrónica y toxicocinética. Si no hay equivalencia sustancial o existen indicaciones de ocurrencia potencial de efectos no intencionados se debe estudiar todo el alimento. En estos casos se llevan a cabo estudios de toxicidad de noventa días en roedores con las dosis máximas que no produzcan desequilibrios nutricionales (EFSA GMO Panel Working Group on Animal feeding Trials, 2008). En todos los alimentos transgénicos comercializados hasta la fecha se han llevado a cabo todos estos controles concluyéndose 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 correspondiente. Esta opinión es defendida por la propia OMS (<http://www.who.int/fsf/GMfood/>). Podemos concluir que los alimentos transgénicos son los más evaluados en toda la historia de la alimentación y no hay datos científicos que detecten riesgos inaceptables para la salud del consumidor.

En cuanto a la evaluación del impacto ambiental de los cultivos transgénicos las cosas son más complejas, ya que hay una falta de conocimiento y metodologías para analizar riesgos medioambientales, tanto de las plantas transgénicas como de las convencionales. Aun así, hay que recordar que es preciso evaluar centenares de plantas transgénicas en el

invernadero antes de comenzar con algunas de ellas los trabajos de campo. A este proceso se le denomina liberación controlada al ambiente y es obligatorio llevarlo a cabo en distintos ecosistemas y durante diferentes campañas antes de obtener el permiso de comercialización. La experiencia con las mismas demuestra que no hay nuevos riesgos asociados al uso de plantas transgénicas (Jank y Gaugitsch, 2001). Son los mismos que con las plantas convencionales, es decir, la posible transferencia de los genes exógenos desde la variedad transgénica a variedades silvestres, el descenso de la biodiversidad en el entorno y, en el caso de las plantas resistentes a plagas, el ataque a organismos distintos del diana. Por ello la cuestión clave es conocer si el empleo de transgénicos acelerará la aparición de estos riesgos. Parece claro que no, siempre que se mantengan y mejoren las normas de evaluación que empleamos actualmente con las plantas transgénicas.

En cuanto a los posibles riesgos y beneficios económicos, la cuestión difiere en función de la parte del planeta donde la planteemos. Por ejemplo, en la República Popular China desde la década de los ochenta existe una apuesta decidida por la transgénica, al extremo que el Programa Nacional de Biotecnología del gobierno chino ha financiado proyectos sobre más de 130 variedades transgénicas y 100 genes concretos. Por su parte el gobierno hindú financia 48 proyectos de plantas transgénicas que afectan a 15 cultivos distintos. Se han generado plantas transgénicas de relevancia como variedades de arroz transgénicas resistentes a sequía y salinidad, arroz con provitamina A libre de marcadores de resistencia, patatas y arroz con mayor contenido proteico o patatas transgénicas Bt. Si analizamos Latinoamérica podemos ver que el 98% de la soja cultivada hoy en Argentina es transgénica. En el primer semestre del 2002, en plena debacle económica por el corralito, el 60% de los ingresos que entraron en Argentina llegaron por exportación de soja transgénica. Se supone que de forma directa o indirecta, la soja transgénica da empleo a un millón de argentinos. En Brasil no estaba autorizada la plantación de soja transgénica, pero existía tráfico ilegal de soja transgénica desde agricultores argentinos a brasileños. En su primera campaña electoral el Presidente Lula defendió el rechazo a los transgénicos. Tras llegar al poder comprobó que el 40% de la soja plantada en Brasil era ilegalmente transgénica, por lo que decidió conceder en el año 2003 una medida precautoria para comercializar de forma transitoria la soja transgénica ilegalmente producida. Desde entonces se aprobó la comercialización de soja transgénica y su producción se ha disparado, de forma que Brasil es el segundo cultivador mundial de transgénicos (Tabla 1). En África se han dado casos complicados. Zambia ha rechazado ayuda humanitaria en forma de maíz transgénico aduciendo

informes de organizaciones ecologistas sobre el potencial cancerígeno de dicho producto. Estas afirmaciones carecían de datos científicos que las avalaran. Aun así, la apuesta decidida por la transgéncia de Sudáfrica y las más recientes de Burkina Faso y Egipto plantean un futuro esperanzador. En la UE la situación es distinta y el avance los transgénicos es lento.

Genómica y alimentación

En el año 2001, tras un enorme esfuerzo de investigación pública y privada, se hizo pública la secuencia que conforma nuestro genoma. Desde entonces es posible saber que genes se activan o desactivan en respuesta a la ingesta de un determinado nutriente. A esta disciplina se le denomina nutrigenómica. También es posible determinar las diferencias genéticas entre individuos que dan lugar a diferentes respuestas nutricionales. Es la nutrigenética. Además, cada día se secuencian nuevos genomas de animales, plantas o microorganismos de relevancia alimentaria, como por ejemplo el arroz, la levadura panadera, la bacteria probiótica *Bifidobacterium bifidum* o microorganismos patógenos responsables de toxiinfecciones alimentarias como *Escherichia coli*. Con ello es posible conocer sus genes clave y definir estrategias de mejora clásica o ingeniería genética, plantear mecanismos de defensa frente a su patogenicidad o definir nuevas funciones fisiológicas.

Hasta ahora la secuenciación de genomas ha sido una técnica costosa en tiempo y dinero, pero en los últimos años se han descubierto nuevas técnicas de secuenciación masiva que permiten acelerar y abaratar los costes de secuenciación. Su aplicación en alimentación y nutrición está más próxima de lo que muchos imaginan. Por ejemplo, recientemente se han llevado a cabo proyectos de secuenciación masiva en voluntarios humanos, determinándose que varios miles de cepas bacterianas distintas pueblan nuestro tracto digestivo y que existen diferencias entre las poblaciones bacterianas de individuos delgados y obesos (Ley, 2010). También se pueden realizar estudios epidemiológicos que permiten definir genes implicados en metabopatías de interés. Por ejemplo, la enzima metil tetrahidrofolatoreductasa es crucial para mantener los niveles en sangre de homocisteína. Dichos niveles deben ser adecuados porque si aumentan, el riesgo de padecer una enfermedad cardiovascular es muy elevado. Hay individuos con un genotipo denominado TT que presentan una mutación en dicho gen que da lugar a una enzima poco activa. Los portadores de este genotipo tienen un mayor riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Si por secuenciación se detecta la presencia de esta

mutación es posible definir una dieta adecuada que puede ayudar a paliar en parte estos problemas genéticos. En este caso una dieta rica en ácido fólico puede contrarrestar el problema del exceso de homocisteína en sangre, por lo tanto, bastará pautar este tipo de dietas en las personas con dicho genotipo para que su riesgo cardiovascular se normalice (Corella y Ordovas, 2010).

Por todo lo expuesto en las páginas anteriores podemos concluir que el futuro de la genética en la alimentación es relevante. Cada día queda más atrás la época en que los tecnólogos de alimentos eran expertos en procesos industriales. Se necesitan nuevos profesionales que entiendan la importancia de la biología celular y molecular y de la genética en la búsqueda de nuevos alimentos con mejores propiedades y en la comprensión de como los alimentos ayudan a mantener nuestra salud. Sin duda también se precisarán nuevos tecnólogos de alimentos con conocimientos en control automático de sistemas o nanotecnologías que aporten mejoras en estas disciplinas científicas. La pregunta clave es: ¿está preparada una comunidad científica tan conservadora como la de los tecnólogos de alimentos y nutricionistas a recibir a estos nuevos profesionales? Confiamos que así sea.

Bibliografía

- Butelli E, Titta L, Giorgio M, Mock HP, Matros A, Peterek S, Schijlen EG, Hall RD, Bovy AG, Luo J, Martin C (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nat. Biotechnol.* 26, 1301-1308.
- Christou P, Capell T, Kohli A, Gatehouse JA, Gatehouse AM (2006). Recent developments and future prospects in insect pest control in transgenic crops. *Trends Plant Sci*, 11, 302-308.
- Corella MD, Ordovas JM (2010). Nutrigenomics in cardiovascular medicine. *Circ. Cardiovasc. Genet.* 2, 637-651.
- Cubero JI (2003). Introducción a la mejora genética vegetal. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

- EFSA GMO Panel Working Group on Animal Feeding Trials (2008). Safety and nutritional assessment of GM plants and derived food and feed: the role of animal feeding trials. *Food Chem. Toxicol.* 46, 2-70.
- García Olmedo F (2009). El ingenio y el hambre. Ed. Crítica, Barcelona.
- Gianessi LP (2005). Economic and herbicide use impacts of glyphosate-resistant crops. *Pest Manag. Sci.* 61, 241-245.
- Jank B, Gaugitsch H (2001). Assessing the environmental impacts of transgenic plants. *Trends Biotechnol.* 19, 371-372.
- Ley RE. (2010). Obesity and the human microbiome. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 26, 5-11.
- Nottingham S (2004). Come tus genes. Ed. Paidós, Barcelona.
- Pérez-González JA, González R, Querol A, Sendra J, Ramón D (1993). Construction of a recombinant wine yeast strain expressing a β -(1,4)-endoglucanase activity and its use in microvinification processes. *Appl. Environm. Microbiol.* 59, 2801-2806.
- Ramón D (2004). Presente y futuro de los alimentos transgénicos. *Sistema.*, 179-180, 31-40.
- Reichholf JH (2009). La invención de la agricultura. Ed. Crítica, Barcelona.
- Sanders RA, Hiatt W (2005). Tomato transgene structure and silencing. *Nat. Biotechnol.* 23, 287-289.
- Tang G, Qin J, Dolnikowski GG, Russell RM, Grusak MA (2009). Golden rice is an effective source of vitamin A. *Am. J. Clin. Nutr.* 89, 1776-1783.

Tabla 1. Algunos ejemplos de mejoras en propiedades funcionales introducidas mediante transgenia.

| FENOTIPO MEJORADO POR TRANSGENIA | COMPUESTO DIANA |
|---|--|
| Mejora del contenido en vitaminas | Aumento del β -caroteno en arroz o tomate Aumento del contenido en vitamina A del maíz Aumento de carotenoides en colza Aumento de ácido fólico en arroz, lechugas, tomates Sobreproducción de ácido fólico por bacterias lácticas Aumento de vitamina C en lechuga Aumento de α -tocoferol y tocotrienol en maíz |
| Mejora del contenido proteico | Aumento de lisina en arroz, maíz, patata, remolacha y soja Aumento de metionina en arroz, girasol y maíz Aumento global del contenido en aminoácidos en arroz y patata |
| Cambios en la composición de aceites y grasas | Disminución de ácido linolénico y aumento del ácido oléico en soja Aumento de ácido esteárico en algodón y colza Aumento de ácido araquidónico y eicosapentanoico en mostaza |
| Biofortificación de minerales | Aumento de hierro en arroz, guisante y maíz |
| Aumento de flavonoides | Aumento de genisteína en alfalfa Aumento de flavonoles en tomate Aumento de antocianos y flavonoides en arroz Producción de resveratrol en patatas Sobreproducción de resveratrol en levaduras vínicas |
| Otros desarrollos de interés nutricional | Reducción de linamarina en mandioca Aumento de fructanos en remolacha Diseño de plantas y microorganismos antialérgicos Diseño de vacunas orales |