

Gen ajeno o exógeno: transgén

SERGIO CALVO GARCÍA¹

Universidad de Salamanca
sergiocalvo@usal.es

SUMARIO

En las últimas décadas los avances en investigación han traído consecuencias favorables a la agricultura, incrementando considerablemente la mejora en la producción de alimento y materias primas. La Ingeniería genética o tecnología del ADN recombinante nos ha permitido modificar el genoma de diferentes especies de plantas. Aquellas plantas que muestran una nueva característica debido a la modificación de su genoma reciben el nombre de plantas transgénicas. Estas plantas portan un gen ajeno o exógeno que recibe el nombre de transgen.

Palabras clave: Ingeniería genética, plantas transgénicas, transgen, plásmido, enzimas de restricción, *Agrobacterium*.

SUMMARY

In recent decades, advances in research have brought favorable consequences for agriculture, increasing substantially improved food production and raw materials. Genetic engineering or recombinant DNA technology has allowed us to modify the genome of different plant species. Those plants that show a new feature due to the modification of its genome are called transgenic plants. These plants carrying a foreign gene transgene is called.

Keywords: Genetic engineering, transgenic plants, the transgene, plasmid, restriction enzymes, *Agrobacterium*.

¹ Sergio Calvo Gómez es estudiante de 3º de Grado en Biología en la Universidad de Salamanca.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la Historia el hombre ha estado ligado a la agricultura. El arte de cultivar la tierra nos ha proporcionado numerosos beneficios. Gracias a la agricultura el hombre ha conseguido y consigue todos aquellos vegetales que necesita para su consumo directo o para alimentar a diferentes especies criadas en cautividad.

Ya en el Neolítico el hombre comenzó a cultivar cereales para alimentarse y en la Edad de Bronce comenzó a utilizarse el primer arado. Con el paso de los años fueron muchos los avances que se produjeron, pero fue en el siglo XVIII cuando comenzaron los grandes avances, como consecuencia de los pasos agigantados que día a día daba la biotecnología; un claro ejemplo de esto fue la creación de abonos artificiales o la mecanización de ciertas actividades agrícolas.

En la actualidad el campo sigue siendo la principal fuente de alimentos de la humanidad. Debido a la importancia de la agricultura desde su surgimiento, el hombre ha intentado mejorar las diferentes técnicas agrícolas con un fin lógico, aumentar las cosechas. Ha seleccionado aquellas plantas que proporcionaban un mayor rendimiento tanto de alimento como de materias primas de las que obtiene numerosos productos útiles².

Los primeros agricultores guardaban las semillas de aquellas plantas que proporcionaban un mayor rendimiento. Utilizaban esas semillas en las siembras posteriores y de esa forma aumentaban la producción de las cosechas futuras.

En las últimas décadas los avances en general de la investigación y en particular de la biología vegetal, han traído consecuencias favorables a la agricultura, incrementando considerablemente la mejora en la producción de alimento y materias primas.

Muchos son los avances que han influido en la agricultura en las últimas décadas. En este artículo vamos a centrar nuestra atención en uno de ellos. Nos centraremos en aquellas plantas que son portadoras de un gen ajeno o exógeno, es decir, aquellas plantas en las cuales se ha introducido un nuevo gen externo. Este gen ajeno o exógeno recibe el nombre de transgen, y todas aquellas plantas que poseen un transgen³ las conocemos como plantas transgénicas⁴.

Profundizaremos en aspectos importantes de este tipo de plantas como son los beneficios que obtenemos de ellas, sus limitaciones en ingeniería genética y

2 L. Taiz-E. Zeiger, *Fisiología Vegetal*, Vol. I, Castellón de la Plana 2006.

3 www.ciencia-activa.org/Transgenicos.htm (9/5/2012)

4 www.xtec.cat/~jcarrasc/transgenicas.htm (28/4/2012)

describiremos las técnicas actuales de transferencia de genes, entre otros aspectos que desarrollaremos con posterioridad.

Además de plantas transgénicas también existen animales transgénicos. Estos son modificados genéticamente para mejorar su producción, por ejemplo de carne o leche, o para introducir en ellos un nuevo carácter o genes de otra especie que multipliquen la tasa de crecimiento. No nos debemos olvidar de los microorganismos transgénicos, normalmente levaduras y bacterias, a los cuales se les ha modificado su genoma para que éstas produzcan algún producto de interés industrial, por ejemplo un fármaco o un antígeno vacunal. Pero en este artículo nos vamos a centrar exclusivamente en las plantas transgénicas, dejando a un lado todos aquellos animales y microorganismos transgénicos.

2. PLANTAS TRANSGÉNICAS

Las plantas que poseen un transgén reciben el nombre de plantas transgénicas⁵. Por lo tanto, definimos planta transgénica como aquella planta que muestra una nueva característica debido a la modificación de su genoma⁶. Dicho genoma se modifica porque se han introducido uno o más genes procedentes de otras especies (otra planta, animal, bacteria, virus...)⁷.

La ingeniería genética o tecnología del ADN recombinante nos ha permitido modificar el genoma de la planta y como consecuencia de esta modificación, la planta muestra características que antes no tenía. El descubrimiento de las enzimas de restricción⁸ y de los plásmidos dio un gran impulso al desarrollo de la ingeniería genética.

Las *enzimas de restricción* reconocen secuencias de 4, 6 o más bases. Nos dan la posibilidad de aislar parte del genoma, sólo aquel fragmento de ADN que nos interesa, para insertarlo en otra molécula de ADN. Después de reconocer la secuencia del genoma, cortan generando dos extremos. Es en este momento cuando actúa la enzima ADN ligasa, cuya función es sellar los extremos, generando así una molécula de ADN nueva. Esta nueva molécula de ADN recibe el nombre de recombinante.

5 M. F. Nieto-Jacobo [et alii], Plantas transgénicas. *Investigación y Ciencia* 268 (1999) 70-80.

6 J. P. Beltrán [et alii], *Plantas transgénicas*, Salamanca 2003.

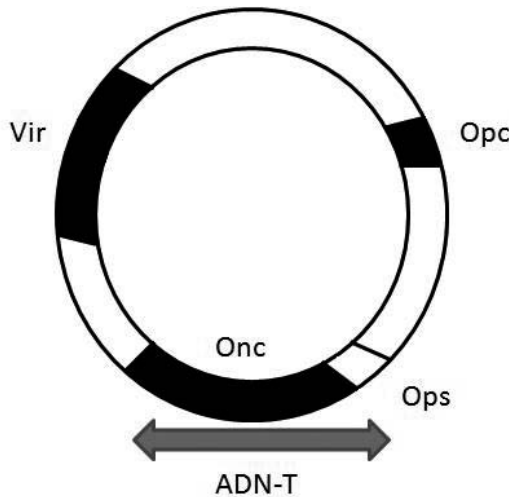
7 L. Taiz-E. Zeiger, *Fisiología Vegetal*, Vol. I, Castellón de la Plana 2006.

8 B. A. Pierce, *Genética: Un enfoque conceptual*, Madrid 2009.

Los *plásmidos*⁹ son moléculas de ADN circular, utilizados en investigación como vectores. Estas moléculas pueden extraerse de las bacterias que las originaron e incorporarse a otras bacterias mediante un minucioso proceso, que recibe el nombre de transformación. Los tres métodos de transformación son: conjugación, electroporación y shock térmico.

El plásmido es responsable de varias acciones fisiológicas. Contiene un conjunto de genes que se transfieren al genoma de la bacteria; estos genes son conocidos como ADN-T. Una parte de estos son responsables de la síntesis de opinas (Ops). Las opinas son unas moléculas, análogos de aminoácidos, que satisfacen los requerimientos nutricionales de *Agrobacterium*, es decir, que sirven de alimento a la bacteria. Además, la región ADN-T también es responsable de la inducción de hormonas como las auxinas y las citoquininas. Estas hormonas son las creadoras de un desbalance hormonal y de la posterior creación del tumor, conocido como *agalla de corona*.

Fuera de la región conocida como ADN-T, pero dentro del material genético del plásmido, se encuentran también un conjunto de genes conocidos como genes Vir o de virulencia, responsables de la transferencia hasta el genoma del ADN-T. Además contiene otro conjunto de genes, conocidos como genes Opc, que se caracterizan por tener una función catabólica (catabolismo de opinas).



Plásmido Ti de Agrobacterium tumefaciens

Por otro lado, la manera de introducir un gen de interés en una célula sería la siguiente: el primer paso es insertar el gen de interés en el plásmido; después el

plásmido actúa como vector incorporándose a la nueva célula (bacteria, célula animal o vegetal); además del gen de interés, también se introduce en el plásmido un gen marcador de selección; la célula que lleva este gen marcador es capaz de dividirse y generar colonias en un medio selectivo; estas colonias las forman bacterias idénticas entre sí, que reciben el nombre de recombinantes o lo que es lo mismo, bacterias con un genoma modificado. De esta forma es posible introducir genes de interés en todo tipo de células.

Resumiendo, el proceso que sigue es el siguiente: identificamos un carácter deseable en un organismo; encontramos el gen responsable del carácter (gen de interés); combinamos dicho gen con el vector; transferimos el gen de interés al organismo receptor; y finalmente hacemos que crezca y se reproduzca el organismo modificado genéticamente o también llamado organismo receptor. Una vez modificado el gen, éste se transmite a la descendencia como cualquier otro gen de la planta.

3. MÉTODOS PARA INTRODUCIR GENES AJENOS EN UNA PLANTA

Se emplean principalmente tres procedimientos o métodos para la obtención de plantas transgénicas. Los tres procedimientos utilizados actualmente para introducir genes de interés en el genoma de las plantas son la infección con *Agrobacterium*, la electroporación de protoplastos y la técnica de biobalística.

3.1. INFECCIÓN CON *AGROBACTERIUM*

Este método se basa en el mecanismo natural de infección de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*¹⁰. Se usa el género *Agrobacterium* como herramienta para introducir el gen de interés, siendo las características de dicho género las siguientes¹¹:

- Bacterias aeróbicas.
- Gram positivas.
- No forman esporas.
- Se encuentran comúnmente en el suelo.
- Se mueven por medio de flagelos.
- Forma de bacilo.

10 <http://plantastransgenicas.espacioblog.com/categoria/agrobacterium> (11/5/2012)

11 O. Ogunseitan, *Microbial Diversity: Form and Function in Prokaryotes*, 2008.

En la naturaleza frecuentemente los insectos, las heladas u otras causas, producen lesiones en el tejido vegetal. Estas microlesiones tienen un efecto en las bacterias del género *Agrobacterium* que se encuentran libremente en el suelo. Las bacterias son atraídas por ciertas sustancias que liberan las células lesionadas.¹² Cuando entran en contacto con las células lesionadas sintetizan microfibrillas de celulosa, es una forma de adhesión a dichas células. En otras ocasiones es el propio plásmido el que induce la liberación de estas sustancias. El plásmido de la bacteria contiene una región de virulencia, en la cual hay un conjunto de genes que son los responsables de inducir la liberación de moléculas o sustancias a través de las heridas.

Una región del plásmido Ti (inductor de tumores) se integra en el genoma de la planta. Los genes introducidos mediante el plásmido son transcriptos junto a los del genoma de la planta receptora y finalmente codifican enzimas relacionadas con la síntesis de hormonas vegetales, como son las auxinas y citocininas. La alta producción de hormonas de este tipo, da lugar a un desbalance hormonal¹³.

Las células que contienen nuevos genes introducidos por los plásmidos comienzan a proliferar de forma desordenada, produciendo una estructura de naturaleza tumoral conocida con el nombre de *agalla de la corona*, que se caracteriza por formar voluminosas agallas en raíz, tallo y cuello del tallo de numerosas especies de plantas con un importante interés agronómico. Las dos principales especies que producen esta enfermedad son: *Agrobacterium tumefaciens* y *Agrobacterium rhizogenes* (raíces pilosas)¹⁴.

En el laboratorio podemos introducir los plásmidos que contienen los genes de interés en las células de *Agrobacterium*. Las bacterias del género *Agrobacterium* son utilizadas como vectores para la transformación de plantas transgénicas. Normalmente se emplean plásmidos pequeños, con menos de 200 Kb, que resulten fáciles de manipular. Los plásmidos se introducen dentro de la bacteria mediante un proceso conocido con el nombre de transformación. Los pasos del proceso de introducción de genes mediante *Agrobacterium* serían estos:

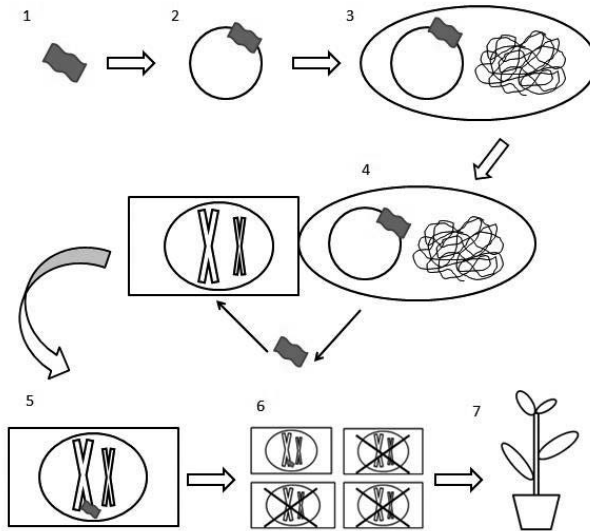
1. Identificación y aislamiento del gen de interés.
2. Insertar el gen de interés en el plásmido Ti.
3. Introducción del plásmido en la bacteria del género *Agrobacterium*.
4. Transferencia del ADN-T a la célula vegetal.
5. Incorporación del gen de interés a los cromosomas.

12 L. Taiz-E. Zeiger, *Fisiología Vegetal*, Vol. I, Castellón de la Plana 2006

13 www.xtec.cat/~jcarrasc/transgenicas.htm (28/4/2012)

14 www.uned.es/experto-biotecnologia-alimentos/TrabajosSelecc/CristinaRivas.pdf (6/4/2012)

6. Selección de las células que contienen el transgén o gen de interés.
7. Regeneración de una planta utilizando una única célula que contenga el transgen.



Introducción de genes mediante Agrobacterium

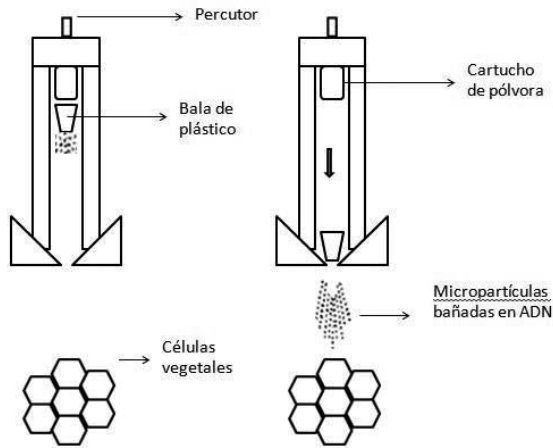
Este procedimiento de introducción de genes de interés se caracteriza por su bajo costo operacional, por la simplicidad de sus técnicas y por su alta eficiencia de transformación.

3.2. BIOBALÍSTICA

Procedimiento que utiliza microprojectiles a alta velocidad de 0,3 micrómetros de diámetro, para introducir genes de interés dentro de las plantas. A esta técnica también se la conoce como “bombardeo con microprojectiles”¹⁵.

Los microprojectiles o micropartículas son aceleradas hasta velocidades que superan los 1400 kilómetros por hora. Normalmente son partículas de oro y tungsteno cubiertas con secuencias variables en tamaño de ácidos nucleicos. Las partículas penetran en las células y se integran en los numerosos organoides celulares. Aquí se libera el ADN debido a las modificaciones del entorno iónico y se integra en el genoma nuclear de la célula receptora. Mediante un proceso de

recombinación al azar, el ADN puede integrarse de forma estable en los cromosomas. Las partículas proyectadas sobre el tejido vegetal alcanzan elevadas velocidades debido al impulso de aire comprimido a alta presión o a la explosión de una pequeña carga de pólvora.



Cañón de partículas

Esta técnica presenta un problema y es que genera dos tipos de células que compiten entre ellas en el mismo tejido, que son las células transformadas y las no transformadas; esta competencia disminuye la eficacia del método.

3.3. ELECTROPORACIÓN DE PROTOPLASTOS

Los protoplastos son células vegetales sin pared celular. La pared celular es una barrera que impide el paso de grandes moléculas como es el ADN, siendo una enzima la encargada de eliminar dicha barrera. Los diferentes genes que se quieren transferir a las células vegetales sin pared celular se adicionan al medio de cultivo en que se baña el protoplasto.

La electroporación consiste en la inducción de poros reversibles en las membranas celulares, que permiten el pasaje de iones y moléculas. Sometiendo a los protoplastos a descargas eléctricas, creamos un gran número de poros en la membrana, a través de los cuales penetra el ADN. Utilizando sustancias como el polietilenglicol ayudamos a desestabilizar la membrana celular¹⁶.

Para terminar con este punto, vamos a desarrollar una breve cronología de los avances que se han ido sucediendo en la implantación de genes en las plantas transgénicas: en el año 1970 se planteó por primera vez la hipótesis de que podría existir una transferencia de material genético entre las bacterias pertenecientes al género *Agrobacterium* y células pertenecientes a tejidos vegetales. Esta transferencia de genes producía una enfermedad denominada agalla de corona. En 1973 Schell descubrió el plásmido Ti (Tumour inducing), en cepas de *Agrobacterium tumefaciens*. Más tarde en 1987 se aplicó por primera vez el método de cañón de partículas ideado por Sanford y Wolf. El modelo más utilizado actualmente es el cañón de alta presión de helio PDS-1000/He. En 1996 se empezó a utilizar una pistola génica de mano como alternativa al cañón PDS 1000/He. En el año 1988 se consiguieron cereales transgénicos mediante la técnica de electroporación de protoplastos. En 1996 entraron en el mercado las plantas transgénicas resistentes a insectos.

4. LIMITACIONES EN LA CREACIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS

La modificación genética que se lleva a cabo en las plantas transgénicas afecta a un número reducido de genes. Esto da lugar a una de las principales limitaciones técnicas en la creación de plantas transgénicas, y es que sólo se pueden modificar genéticamente características que son controladas por menos de cinco genes.

Otra limitación es que ciertos genes de interés no pueden aislarse fácilmente; además los métodos con los que contamos actualmente para transferir genes no son efectivos en algunos cultivos. Existe otro tipo de limitaciones no técnicas que produce retrasos en la comercialización de los productos obtenidos de las plantas transgénicas como, por ejemplo, el impacto ambiental y la seguridad de los alimentos¹⁷.

Además de limitaciones tiene numerosas desventajas. Destacan por encima del resto aquellas que se producen a nivel genético, como la inestabilidad estructural y bioquímica del genoma que se produce al insertar genes de manera artificial, el riesgo de hibridación entre las plantas transgénicas y sus parientes silvestres, el efecto que puede tener la transferencia horizontal de genes. Además, los genes que provienen de todas aquellas plantas modificadas genéticamente pueden tener efectos negativos en otras plantas, incluso en otro tipo de organismos. Y por último está la aparición de alergias ocasionadas por la ingestión de plantas con genes extraños o ajenos¹⁸.

17 www.xtec.cat/~jcarrasc/transgenicas.htm (28/4/2012)

18 <http://es.scribd.com/doc/74077301/Plantas-Transgenicas> (30/4/2012)

5. BENEFICIOS OBTENIDOS DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS

La población mundial continúa creciendo y la superficie de los suelos agrícolas disminuye cada año. Uno de los desafíos que se nos plantea es dar de comer a toda la población mundial con los mismos suelos agrícolas. Debemos aumentar la calidad y cantidad de los productos finales. Este es el origen de la necesidad que tenemos de incrementar la producción agrícola de alimentos. Una forma de aumentar el rendimiento de los cultivos ha sido el empleo de las plantas transgénicas, siendo numerosos los beneficios obtenidos de estas plantas modificadas genéticamente.

Un ejemplo beneficioso es la resistencia adquirida por parte de las plantas transgénicas a ciertos insectos y plagas que atacan a los cultivos. El ataque de estos insectos producen elevadas pérdidas en la producción, pero está siendo erradicado gracias a las plantas transgénicas. Además esto lleva ligado una disminución del uso de plaguicidas de naturaleza química, ya que las plantas por sí mismas son capaces de acabar con las plagas envenenando a los insectos. De esta forma también disminuye el impacto sobre otras plantas, la microfauna y el suelo. Además, los plaguicidas químicos suponen un riesgo sobre la flora y fauna y muchos de ellos son tóxicos para el cuerpo humano¹⁹.

También mediante métodos de ingeniería genética se ha conseguido incrementar considerablemente el número de ciertas sustancias en la planta; normalmente nutrientes con un carácter especial para el ser humano. Algunas plantas carecen de estos nutrientes esenciales, pero mediante ingeniería genética se han modificado sus genomas creando plantas transgénicas, en las cuales el valor nutritivo ha aumentado, apareciendo así variedades más nutritivas²⁰.

En el campo de la medicina, las plantas transgénicas se han utilizado para difundir el uso de vacunas, como por ejemplo la vacuna de la hepatitis B. La producción de vacunas activas, anticuerpos funcionales y otras sustancias terapéuticas, son parte de los nuevos avances que nos proporcionan las plantas transgénicas²¹.

La inserción de genes en las plantas nos permite también generar nuevas plantas transgénicas con funciones específicas. Plantas que descontaminen el terreno y reciclen una gran variedad de productos. También hay plantas transgénicas con fines ornamentales; éstas se han modificado con el fin de mejorar sus característi-

19 <http://es.scribd.com/doc/74077301/Plantas-Transgenicas> (30/4/2012)

20 V. M. Villalobos y N. E. Borlaug, *Los transgénicos: oportunidades y amenazas*, México 2008.

21 www.uned.es/experto-biotecnologia-alimentos/TrabajosSelecc/CristinaRivas.pdf (6/4/2012)

cas estéticas, principalmente manipulando los pigmentos, obteniendo así plantas con unos colores llamativos que atraigan al consumidor.

Además las plantas transgénicas son utilizadas en investigación para aumentar los conocimientos acerca de los procesos básicos del desarrollo de la planta, como son el desarrollo de flores, germinación o adaptaciones a condiciones climáticas extremas.

6. ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DE ORIGEN VEGETAL

Se denomina alimento transgénico²² a todo aquel alimento obtenido a partir de un ser vivo que con anterioridad ha sido manipulado genéticamente, es decir, que en su genoma se han suprimido, inactivado o incorporado genes mediante ingeniería genética²³. Partiendo de esta base, hay que mencionar que, en cuanto a los alimentos transgénicos, existe actualmente un debate social con opiniones controvertidas e interesadas. La mención de transgénicos o alimentos transgénicos induce una desconfianza y abre un amplio debate. Al margen de ese debate, lo que no admite ninguna duda es que cualquier avance en el ámbito científico aporta grandes beneficios a nuestra sociedad, de modo que todo aquel avance científico que ayude al hombre a producir una mayor cantidad de alimentos y que además mejore la calidad de estos, debe ser recibido con los brazos abiertos, siempre y cuando se cumplan una serie de controles y condiciones de seguridad²⁴.

No debemos olvidar que a día de hoy millones de personas mueren por culpa de ese mal que azota en extensas regiones de nuestro planeta. Efectivamente, me refiero al hambre.

El origen de este debate tuvo lugar en el año 1994, cuando la Food and Drug Administration de Estados Unidos autorizó la comercialización del primer alimento transgénico. El primer alimento con un gen ajeno o exógeno fue el tomate Flavr-Savr²⁵. En estos tomates se ha inhibido la síntesis del enzima poligalacturonasa, responsable del ablandamiento y senescencia del fruto maduro. De esta forma los tomates pueden recolectarse ya maduros y comercializarse en dicho estado, mientras que los tomates normales deben recolectarse verdes y antes de su venta hay que hacerlos madurar artificialmente. Para que maduren artificialmente los tomates normales se utiliza el etileno, que es una hormona vegetal que cuenta

22 M. Javierre González (ed.), *Gran Enciclopedia Universal*, Vol. XVII, Madrid 2004.

23 J. Pedauyé Ruiz, *Alimentos transgénicos: la nueva revolución verde*, Madrid 2000.

24 www.saber.es/web/biblioteca/libros/los-alimentos-transgenicos/los-alimentos-transgenicos.pdf (5/4/2012)

25 M. Javierre González (ed.), *Gran Enciclopedia Universal*, Vol. XVII, Madrid 2004, 11489.

con diversos efectos fisiológicos, uno de los cuales es la maduración de frutos. Los tomates madurados de forma natural conservan su aroma y sabor característicos, mientras que el aroma y sabor de los tomates madurados artificialmente es ligeramente inferior, debido a la aplicación de etileno.

7. CONCLUSIÓN

Tal como hemos expuesto, el empleo de plantas transgénicas es uno de los avances más trascendente de las últimas décadas en agricultura. El aumento desmesurado de la población mundial nos plantea numerosos desafíos. ¿Cómo dar de comer a todos los habitantes del planeta? Hay que destacar que la superficie de suelos agrícolas disminuye cada año. Para vencer este problema debemos aumentar la calidad y cantidad de los productos finales. En este sentido, las plantas transgénicas pueden ofrecernos vías de solución.

Al margen del debate que plantea el consumo de alimentos transgénicos, lo que no admite ninguna duda es que cualquier avance en el ámbito científico que aporte grandes beneficios, siempre que se cumplan una serie de condiciones de seguridad, debe ser bien recibido.

Por un lado, las plantas transgénicas nos aportan numerosos beneficios como son la resistencia adquirida por parte de las plantas transgénicas a ciertos insectos, nos ha permitido generar plantas con nuevas funciones (descontaminar el terreno y reciclar una gran variedad de productos) o la disminución del uso de plaguicidas de naturaleza química. Pero tampoco debemos olvidar sus desventajas, como por ejemplo la inestabilidad estructural y bioquímica que se produce en el genoma de la planta, el riesgo de hibridación entre las plantas transgénicas y sus parientes silvestres o el efecto que puede tener la transferencia horizontal de genes.

La discusión está abierta, pero la investigación debe seguir avanzando y ofreciendo soluciones que mejoren la vida humana, siempre al servicio de la vida humana.

8. BIBLIOGRAFÍA

- B. A. Pierce, *Genética: Un enfoque conceptual*, Madrid 2009.
<http://es.scribd.com/doc/74077301/Plantas-Transgenicas> (30/4/2012)
<http://plantastransgenicas.espacioblog.com/categoria/agrobacterium> (11/5/2012)
- J. P. Beltrán [et alii], *Plantas transgénicas*, Salamanca 2003.
- J. Pedauyé Ruiz, *Alimentos transgénicos: la nueva revolución verde*, Madrid 2000.
- L. Taiz-E. Zeiger, *Fisiología Vegetal*, Vol. I, Castellón de la Plana 2006.

- M. F. Nieto-Jacobo [et alii], Plantas transgénicas. *Investigación y Ciencia* 268 (1999) 70-80.
- M. Javierre González (ed.), *Gran Enciclopedia Universal*, Vol. XVII, Madrid 2004.
- O. Ogunseitan, *Microbial Diversity: Form and Function in Prokaryotes*, 2008.
- V. M. Villalobos y N. E. Borlaug, *Los transgénicos: oportunidades y amenazas*, México 2008.
- www.ciencia-activa.org/Transgenicos.htm (9/5/2012)
- www.saber.es/web/biblioteca/libros/los-alimentos-transgenicos/los-alimentos-transgenicos.pdf (5/4/2012)
- www.uned.es/experto-biotecnologia-alimentos/TrabajosSelecc/CristinaRivas.pdf (6/4/2012)
- www.xtec.cat/~jcarrasc/transgenicas.htm (28/4/2012)