

**CONSIDERACIONES EN TORNO A LA CONSTRUCCIÓN DE ORGANISMOS
VEGETALES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE**

JAVIER OLIVERIO CÓRDOBA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
ESPECIALIZACIÓN EN MEJORAMIENTO GENÉTICO
PUERTO ASÍS, COLOMBIA**

2017

**CONSIDERACIONES EN TORNO A LA CONSTRUCCIÓN DE ORGANISMOS
VEGETALES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE**

JAVIER OLIVERIO CÓRDOBA

Trabajo de grado monográfico presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Mejoramiento Genético.

Asesora trabajo de grado

Dra. MYRIAM JANETH ORTEGA TORRES

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
ESPECIALIZACIÓN EN MEJORAMIENTO GENÉTICO
PUERTO ASÍS, COLOMBIA**

2017

Nota aclaratoria.

La escuela y los jurados no se hacen responsables por los conceptos emitidos por el autor.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento va dirigido especialmente a:

Mi compañera de siempre, Nelly, mujer trabajadora e incansable, echada p'álante; por su apoyo incondicional.

Mis hijos, Edson Jair y Yesenia Briksvanny, por el tiempo no dedicado que me les robé y que se merecen.

Los tutores y tutoras de la UNAD por su acompañamiento, soporte invaluable y máxime, su excelente orientación profesional.

Mis amigos y amigas por su espíritu alentador y orientación para no desfallecer ante la adversidad de esta meta propuesta.

Mis opositores y opositoras, pues me llenaron de fuerza y actitud positiva para afrontar el reto y me concedieron una oportunidad para buscar el éxito.

DEDICATORIA

A mi madre (humilde y sencilla mujer, trabajadora hasta los tuétanos) y mi padre (a quien no conocí), pues sin ellos la existencia me hubiese sido negada; él por colocar ese valeroso espermatozoide y ella por ese liberado ovocito, células germinales con 50-50 de la información genética, cuyo ADN materno y paterno unidos formaron la nueva molécula de ADN, de la cual provengo con individualidad y genes propios.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD por acogerme, darme la oportunidad de ser profesional y ofrecer programas de posgrado de alta competitividad como la Especialización en Mejoramiento Genético.

A las asesoras (en especial a la doctora Myriam Janeth Ortega Torres) y asesores por las orientaciones brindadas para el desarrollo de esta monografía.

A todas y todos quienes de manera distinta han cooperado o contribuido, paso a paso, en el logro de esta invaluable meta de superación académica.

*“Cualquiera que hayan sido nuestros logros,
alguien nos ayudó siempre a alcanzarlos”.*

Althea Gibson.

CONTENIDO

Introducción	11
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Contexto Histórico de los Transgénicos	17
Clonación Molecular – Transfección	21
Vectores de Clonación	21
Plásmidos.	22
Cósmidos.	26
Virus – Fagos.	28
BACs (Cromosomas Artificiales de Bacterias).	29
YACs (Cromosomas Artificiales de Levaduras).	29
Transferencia Indirecta Mediada por Agrobacterium	31
Transfección Transitoria o Método Biológico	31
Métodos Químicos.	31
Métodos Físicos.	32
Transferencia Directa	34
Transferencia de ADN a Protoplastos.	34
Bombardeo con Microproyectiles.	35
Microinyección.	35
Macroinyección.	35
Electroporación.	35
Ultrasonido.	36
Transformación Mediada por Polen	36
Transformación Mediada por Inhibición	36
Técnicas de Identificación de Genes Transfectados	37
Transformación de la Célula Vegetal con el Plásmido Ti de <i>A. tumefaciens</i>.	38
<i>Agrobacterium Rhizogenes</i>.	41
Vectores Virales.	42
Vectores Transposones.	42
Técnicas de Transferencia Génica Directa	42
Genes Marcadores	43
Ejemplos y Aplicaciones	44
Situación Actual de OVG, Cultivos Transgénicos a Nivel Nacional y Mundial	48
Marco Regulatorio de los Cultivos Transgénicos	59
Impactos de Cultivos Genéticamente Modificados, Beneficios y Preocupaciones	61
Debate ético sobre OVG	65
Mitos y Realidades de los OGM	75
Conclusiones y Recomendaciones	77
Referencias	82

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1. Millones de hectáreas sembradas de cultivos transgénicos en los principales países productores	50
Tabla 2. Mitos y realidades de los cultivos transgénicos	75

Figuras

Figura 1. Plásmido de Bolívar y Rodríguez (pBR322)	24
Figura 2. YAC cromosoma artificial de levadura	30
Figura 3. Plásmido Ti	39
Figura 4. Estructura y modo de acción del plásmido Ti	41
Figura 5. Crecimiento de los cultivos transgénicos a nivel mundial 2006-2015	49
Figura 6. Crecimiento del cultivo del maíz transgénico en España	54

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es analizar la situación actual de los cultivos transgénicos, teniendo en cuenta las técnicas de transfección molecular aplicadas en los organismos vegetales modificados genéticamente (OVMG), implementadas con el fin de mejorar la resistencia de las plantas a ciertos tipos de herbicidas, insectos y elementos particulares del suelo y del clima. Teniendo en cuenta los amplios y largos debates que se han generado en torno a la utilidad de los cultivos transgénicos en el mundo, es importante establecer un análisis que permita comprender las características del proceso de clonación a través de los vectores, cuya función es la de transportar el ADN de una célula a otra por el proceso de transformación. En particular, el estudio de la clonación molecular aplicada a organismos vegetales modificados genéticamente (OVMG.), resulta fundamental para evaluar la situación actual de los cultivos transgénicos, y generar reflexiones que aporten en el debate mundial sobre los beneficios que se generan a través de este tipo de cultivos.

Palabras claves: transgénicos, vectores, clonación, transferencia, ADN.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to analyze the current situation of transgenic crops, taking into account the molecular transfection techniques applied in plant genetically modified organisms (PGMOs), implemented in order to improve the resistance of plants to certain types of herbicides, insects and particular elements of soil and climate. Taking into account the broad and long debates that have been generated around the usefulness of transgenic crops in the world, it is important to establish an analysis to understand the characteristics of the cloning process through the vectors, whose function is to transport the DNA from one cell to another by the transformation process. In particular, the study of molecular cloning applied to plant genetically modified organisms (PGMOs) is fundamental for assessing the current situation of transgenic crops and to generate reflections in the global debate on the benefits that are generated through this type of crops.

Key words: transgenic, vectors, cloning, transfer, DNA.

Introducción

Las presiones a las que se exponen los diferentes ecosistemas, generadas por los patrones desbordados de consumo y por los mecanismos de producción, hacen indispensable promover una serie de reflexiones y cambios para minimizar los efectos nocivos que en la actualidad se transfieren a la naturaleza.

A pesar que los gobiernos, a nivel mundial, han sido conscientes de la necesidad de modificar las políticas de gobernanza ambiental, para lograr prevenir los daños causados al medio ambiente por el crecimiento de la población y por el desarrollo de las actividades económicas e industriales, implementando iniciativas y proyectos en medio de un horizonte de cooperación internacional y participación ciudadana. Los acontecimientos en el mundo demuestran que la situación ambiental continua siendo un asunto sobre el cual no hay políticas claras que permitan actuar de manera efectiva.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta en relación con esta situación, es que el avance científico y la tecnología se han constituido en la base primordial del desarrollo económico de los países, generando así un enfoque en la competitividad y productividad, el cual se ha establecido también en el sector de la agricultura, que con el fin de enfrentar los retos de la globalización y de la apertura de mercados, ha tenido que dinamizar sus procesos, y hacer uso de la ciencia y la tecnología como medio para aumentar y garantizar el crecimiento de la productividad.

En particular, siguiendo las apreciaciones de Colciencias (2010), la biotecnología moderna ha generado un enorme conjunto de posibilidades para los países en desarrollo, principalmente en los campos de la salud, la agricultura y los alimentos, con el fin de mejorar la seguridad y soberanía alimentaria, y apoyar el desarrollo sostenible de las regiones.

Sin embargo, explica Salgado (2012) en el mundo se ha generado un proceso mediante el cual el campo y el sector rural son percibidos como una empresa, lo cual genera repercusiones

concretas en el territorio, que es preciso examinar. Específicamente, la biotecnología, entendida como el manejo de los sistemas biológicos para el beneficio de la humanidad, empieza a aplicarse de manera especial en el campo agrícola, impulsando el uso y el aprovechamiento de las plantas como fuente de alimento, y generando nuevos enfoques que han cambiado completamente los procesos productivos a nivel agrícola (Colciencias, 2010).

Además, la biotecnología adquiere una nueva dimensión gracias a los avances y utilización de métodos modernos de biología celular y molecular, que han generado una mejor comprensión de los procesos y de su control, así como el desarrollo de técnicas o métodos de manipulación de sus características. Gracias al avance tecnológico, a la biotecnología, y al enfoque en la productividad y en la competitividad, se han desarrollado los cultivos transgénicos, entendidos como organismos vegetales modificados genéticamente (OVMG), los cuales son producidos a partir de un organismo vegetal modificado, al que se le han incorporado genes de otro organismo para propiciar las características deseadas, mediante los vectores de clonación.

Sin duda alguna, el desarrollo de los cultivos transgénicos a partir de la clonación molecular ha generado importantes debates a nivel mundial, en donde entran en oposición las percepciones de los ambientalistas y agrupaciones rurales, con las ideas de grandes empresarios y políticos que buscan nuevas formas de asegurar la rentabilidad y productividad del sector agropecuario. Es por ello que resulta vital analizar el proceso de clonación molecular en las plantas, como medio para generar reflexiones que permitan aportar en este debate.

A nivel metodológico, se desarrollará una investigación cualitativa-descriptiva, basada en un enfoque de revisión de literatura, que permita analizar y contrastar diferentes artículos e investigaciones en torno a los vectores de clonación y los beneficios que se generan a partir de los cultivos transgénicos.

En el primer capítulo se presenta un análisis del concepto y del contexto histórico de los cultivos transgénicos. En el segundo capítulo se hace referencia al tema de la clonación molecular, refiriéndose a términos como vectores de clonación, plásmidos, cósmidos, virus-fagos, cromosomas artificiales de bacterias y cromosomas artificiales de levaduras. En el tercer

capítulo se analiza la situación actual de OVGGM y de los cultivos transgénicos en el plano nacional y mundial. Posteriormente, en el cuarto capítulo se examinan los argumentos que hacen parte del debate ético obre los OVGGM; y, finalmente, en el quinto capítulo se plantean las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

Justificación

Colombia es un país de tradición agrícola, cuya principal riqueza es la diversidad representada en plantas, animales y microorganismos. La globalización ha impuesto en Colombia nuevas políticas agrarias, de tal manera que el desarrollo de agrario depende de la relación y conexión regional, con el mercado de desarrollo internacional. Esto sólo se logrará a partir de la utilización y operación eficiente de los recursos.

En particular, explica Hodson (2011), el uso de las plantas como fuente de alimento ha adquirido una nueva dimensión, a través de los avances tecnológicos, relacionados con la biología celular y molecular, que han permitido comprender más el desarrollo y la relación entre los procesos agrícolas, con el fin de generar técnicas de manipulación que permitan mejorar la producción.

Teniendo en cuenta la importancia de la biotecnología a nivel de la agricultura, se considera que el presente estudio monográfico es importante en la medida en que analiza la técnica de los vectores biológicos como medio para la transfección molecular, la cual es desarrollada mediante la utilización de una bacteria del género *Agrobacterium* en la célula vegetal de una planta, con el objetivo de transformar o incorporar nuevas características de mejoramiento, permitiendo la transferencia de una mayor variedad de información genética de una manera más precisa y controlada (Izquierdo, 2001).

En particular, esta técnica se ha utilizado para el desarrollo de los cultivos transgénicos, cuya finalidad es la de mejorar la producción de los alimentos. Sin embargo, explica Balcázar (2001), el aumento en la producción debe estar acompañado de estrategias de tipo social y ambiental que ayuden a mejorar la distribución, y a reducir los impactos ambientales, especialmente en las regiones de bajos ingresos, para lo cual es fundamental hacer uso responsable de los descubrimientos científicos y de las nuevas tecnologías.

Teniendo en cuenta esta situación, en el mundo se ha generado una intensa polémica sobre los cultivos transgénicos, en donde confluyen argumentaciones y visiones de tipo ambiental, social, económico, cultural, ético e incluso religioso. De allí la importancia de analizar la transfección molecular en OVGMs, con el fin de generar reflexiones que permitan nutrir el debate y fortalecer la argumentación en torno a la verdadera naturaleza y beneficio de los cultivos transgénicos.

A pesar de tratarse de una temática conocida en el ámbito biotecnológico, desde otros campos de la tecnología biológica, el presente estudio puede determinarse como loable y al mismo tiempo útil puesto que se establece como exposición explicativa e informativa y tecnológica de beneficio para técnicos y productores del sector agropecuario, ya sea en la obtención de productos más saludables para el consumidor y/o el medio ambiente o en la mejora de procedimientos agroindustriales menos contaminantes.

En este sentido, como parte del quehacer de la especialización en “Mejoramiento Genético” promovido por la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, se considera también, que el desarrollo de la investigación aporta conocimientos sobre las diferentes formas de aprovechar la tecnología biológica de los seres vivos, para generar alimentos más saludables, materiales más resistentes o menos contaminantes, cultivos más productivos, fuentes de energía amigables con el medio ambiente e incluso sistemas para eliminar la contaminación.

Cabe recalcar, además, que el desarrollo de este documento monográfico es viable por estar ubicado en una línea de investigación enmarcada en la biotecnología, disciplina científica cuyos conocimientos y técnicas se pretenden difundir, dando cumplimiento a objetivos fundamentales señalados por la UNAD: potenciar esta disciplina como herramienta que direcciona programas de mejoramiento, producción y conservación de especies vegetales y/o animales.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la situación actual de los cultivos transgénicos, teniendo en cuenta las técnicas de clonación molecular o transfección aplicada a organismos vegetales modificados genéticamente (OVMG).

Objetivos Específicos

1. Comprender la importancia de la clonación molecular para el desarrollo de la agricultura.
2. Analizar la situación actual de los cultivos transgénicos a nivel nacional y mundial.
3. Examinar los argumentos que se han establecido al interior del debate ético sobre los organismos vegetales genéticamente modificados-OVGM.

Contexto Histórico de los Transgénicos

El cultivo de transgénicos hace referencia a organismos modificados genéticamente, que han resultado ser esenciales para garantizar el abastecimiento mundial de alimentos y de materias primas. De acuerdo con Zamora (2011), un transgénico se entiende como un organismo vivo al cual se le ha aplicado un proceso que permite modificar o alterar sus genes, por medio de un experimento a gran escala que involucra métodos biológicos, físicos y químicos.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud-OMS (2008), se refiere a los organismos genéticamente modificados como aquellos cuyo material genético (ADN) ha sido alterado de modo artificial, a través de la biotecnología, mediante la cual se transfieren genes individuales de un organismo a otro, generando plantas genéticamente alteradas que, a su vez, producen los denominadas alimentos modificados o transgénicos.

Generalmente, las técnicas que se utilizan para el desarrollo de los transgénicos son las de aislar segmentos del ADN de un ser vivo con el fin de introducirlos en el material hereditario de otro. En este sentido, explica Chaparro (2005), los cultivos transgénicos se han establecido como una respuesta ante los problemas de agricultura, y las dificultades que tiene para asegurar la soberanía alimentaria de las regiones, produciendo plantas más fuertes y resistentes a las enfermedades y los herbicidas, y a las consecuencias derivadas del cambio climática como las sequías y la acidez.

De esta manera, a través de su historia, los transgénicos se han establecido a partir de unos procesos de ingeniería y biotecnología que permiten ampliar considerablemente el conocimiento de los fenómenos biológicos, y del desarrollo de iniciativas que permitan mejorar la productividad y rentabilidad de los cultivos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas-ONU (2010) la biotecnología se define como:

La aplicación industrial de procesos biológicos en el contenido genético o de información hereditaria de un organismo en particular, para lo cual retoma elementos esenciales de la biología molecular, la genética, la inmunología para armonizar con enfoques de ingeniería, química, industrial y farmacéutica.

Como consecuencia, las llamadas nuevas biotecnologías ofrecen una amplia gama de productos en los cuales intervienen en forma determinante en su fabricación seres vivos o partes de ellos (p, 12).

Delgado (2012), en su estudio titulado: “Un Modelo Pedagógico para la Enseñanza de la Producción Biotecnológica de Material Vegetal”, destaca la importancia de la biotecnología vegetal por su gran potencial para aportar a la solución de problemas mundiales de alto impacto, como el déficit alimentario que se prevé, la producción de materiales para la salud, la industria y la preservación ambiental. Con base en este estudio, señala la importancia de implementar su enseñanza en la educación básica y media, para que las generaciones futuras puedan usar adecuadamente sus productos y aplicaciones, tomando decisiones responsables en cuanto a políticas públicas y de impacto ambiental.

Principalmente, existen cuatro tipos de plantas transgénicas que tienen un enorme volumen a nivel de producción y comercio en el mundo, que son la soya (*Glycine max*), el maíz (*Zea mays*), el algodón (*Gossypium herbaceum*) y la canola (*Brassica napus*). Estos productos poseen una serie de transformaciones genéticas en cada una de sus células, que obligan a alterar considerablemente los procesos de siembra y cosecha (Tinjacá, 2012).

La alteración genética de los cultivos tiene como fin principal mejorar el control de dos elementos fundamentales; en primer lugar, la tolerancia a los herbicidas, con el fin de aplicar químicos de alto impacto que mejoren la productividad del cultivo, sin que las plantas se vean afectadas, y, en segundo lugar, las plantas son modificadas para obtener una mayor resistencia a los insectos.

De acuerdo con Terradas (2010), es a principios de la década de 1980 cuando la agricultura a nivel mundial comenzó un proceso de cambios profundos, sustentados en el desarrollo de la ingeniería genética y la biología molecular, produciendo la proliferación de cultivos genéticamente modificados que posibilitaron nuevas capacidades para la producción agropecuaria. Este desarrollo no sólo cambió las estrategias de producción de bienes y servicios agroindustriales, sino que fue introduciendo en la sociedad nuevos debates, en torno a los riesgos ambientales de esta tecnología y la capacidad estatal para prevenirlos y regularlos.

En particular, las técnicas de transgénesis fueron utilizadas por primera vez en el año de 1981, con los animales, y en 1986 en el caso de las plantas, en países como Francia y los Estados Unidos de América - EUA. El tabaco fue la primera planta con la cual se iniciaron una serie de experimentos biológicos para mejorar su resistencia a ciertos tipos de virus. En el año de 1992, por ejemplo, se cultiva en China una planta de tabaco transgénico, cuya comercialización fue iniciada en 1993.

Un año importante para el desarrollo de los cultivos transgénicos fue 1994, cuando la empresa Calgene comienza un proceso de comercialización de un tomate modificado genéticamente, que ofrecía una nueva presentación, color y sabor para el consumidor. Lo que más alentaba la compra de este nuevo tomate, era que se podía conservar por mucho más tiempo que los tomates tradicionales, y que mantenía sus características de frescura. Desde entonces, gracias a los buenos resultados a nivel comercial por este tipo de productos, se inicia de forma progresiva y continua el desarrollo de nuevos cultivos de plantas y cereales modificados genéticamente, especialmente en países como EUA, Canadá y Japón.

Según las apreciaciones de Rapp y Wendel (2005), los cultivos transgénicos en el mundo han tratado de responder a diferentes objetivos, relacionados con la producción, la sostenibilidad ambiental, y las posibilidades de mejorar la eficiencia de los procesos de siembra, cosecha y distribución. Se puede decir que los principales objetivos relacionados con la siembra de los cultivos transgénicos han sido:

- ✓ Mejorar la utilidad, desde el punto de vista alimentario, de las plantas o vegetales modificadas genéticamente.
- ✓ Desarrollar plantas que ayudan a reducir o eliminar la contaminación del suelo, en la medida en que poseen una serie de características que les permite resistir contaminaciones muy altas, ayudando así a recuperar territorios para la siembra, que de otra manera no hubieran podido ser utilizados.
- ✓ Teniendo en cuenta que las plantas modificadas genéticamente poseen altos niveles de polímeros de carbohidratos, pueden ser utilizados como combustibles biológicos.

- ✓ En algunas plantas se introducen genes con proteínas terapéuticas, con el fin de que mediante su consumo puedan generar beneficios para la salud.

Como se puede observar, son diferentes los beneficios que se pueden obtener a partir de los cultivos transgénicos. Lo más importante, según las palabras de Martínez, Cabrera y Herrera (2004), es comprender que este es un tema bastante nuevo en el mundo, pero que desde sus comienzos ha tenido un crecimiento constante, en medio del cual se han desarrollado nuevas innovaciones tecnológicas que permiten mejorar la resistencia, la calidad y el aporte que generan este tipo de organismos modificados genéticamente. Sin embargo, más adelante se analizará con detalle el debate ético que se ha generado en torno a los beneficios y perjuicios que se pueden desarrollar por medio de este tipo de cultivos.

Por ahora, cabe reconocer, según el análisis planteado por James (2010), que hoy en día no hay vuelta atrás en lo que tiene que ver con la producción de cultivos transgénicos, pues ya han superado los mil millones de hectáreas a nivel mundial. Esta situación hace importante generar análisis y reflexiones que permitan comprender mejor los mitos y realidades relacionadas con este tipo de cultivos, ya que hacen parte indiscutible de los procesos sociales, económicos y agrícolas de desarrollo mundial.

Ya que se ha analizado el concepto y contexto histórico de los cultivos transgénicos, reconociendo las problemáticas asociadas a su desarrollo, es importante detenerse a examinar el tema específico de la clonación molecular y la transfección.

Clonación Molecular - Transfección

La modificación genética de las plantas, se basa en aprovechar la naturaleza de las células de algunos vegetales, que tienen la propiedad de originar cualquier otro tipo de célula, incluyendo con ello la planta completa. En particular, para desarrollar la modificación genética, el método más convencional es la técnica de los vectores de clonación, entendidos como fragmentos de ADN no cromosómicos, que tienen la capacidad de replicarse autónomamente. Para comprender la situación actual de los cultivos transgénicos, es importante reconocer la técnica de los vectores de clonación, identificando de esta forma el proceso por medio del cual se crean los organismos modificados genéticamente.

Vectores de Clonación

Los vectores de clonación son definidos como vehículos, que permiten que un segmento de ADN entre a una célula huésped, con la finalidad de expresarse y utilizar la maquinaria replicativa del hospedero. Por tanto, según las palabras de Loeza, Valdés, Baizabal y López (2004), los vectores de clonación pueden entenderse simplemente como moléculas transportadoras de ADN.

Para cumplir con la función de un vector, una molécula debe reunir una serie de características, dentro de las cuales se resalta su capacidad para replicarse de manera independiente, junto con el segmento de ADN que transporta. Además, debe contener algunos sitios de corte para enzimas de restricción, los cuales se usan para insertar segmentos de ADN cortados con la misma enzima.

Finalmente, otra característica importante de los vectores de clonación es que deben tener algún marcador de selección, para distinguir las células huésped que transportan el vector de las que no lo contienen (Osorio, 2008). Otra característica señalada por Loeza et. al (2004), es que el vector de la célula huésped debe ser fácil de recuperar. Por tanto, afirma Maliga (2004) los

vectores deben ser fragmentos de ADN no cromosómicos, es decir, que estén libres en el citoplasma.

Según Chaparro (2005), los vehículos que se utilizan para transportar los genes en las construcciones quiméricas se denominan vectores de transformación. En el caso de la ingeniería genética de plantas, se utilizan principalmente tres tipos de vectores; plásmidos, cósmidos y virus o fagos. Sin embargo, dentro de este escrito se relacionaran, además, los BACs y los YACs, como vectores para transportar segmentos grandes de ADN.

Plásmidos.

Los plásmidos son moléculas de DNA que tienen la capacidad de replicarse de una manera autónoma en las células bacterianas, ya que poseen una doble cadena extracromosómica de origen natural. Para su uso en el campo de la ingeniería genética, se ha desarrollado un proceso por medio del cual se modifican o diseñan diferentes plásmidos resistentes a antibióticos específicos (Cultek, 2012).

Los plásmidos son estructuras que se encuentran naturalmente en las bacterias, fuera del cromosoma central; son de tamaño pequeño en relación con el tamaño del genoma bacteriano que usualmente contienen genes que confieren resistencia a antibióticos, o en todo caso, genes que no son esenciales para el normal funcionamiento de la célula bacteriana y pueden intercambiarse entre bacterias de la misma especie (Loeza et al. 2004).

Según Vargas, Montoya y Aristizábal (2000), el ADN extraño no se puede replicar a menos que contenga una secuencia de nucleótidos que la bacteria hospedadora reconozca como origen de replicación. Por lo tanto, según Chaparro y Díaz (2012) generalmente es necesario unir el ADN a otro fragmento que contenga un origen de replicación, los cuales existen de forma natural en los plásmidos: pequeñas moléculas circulares de ADN que se encuentran en muchas bacterias.

Una característica esencial de los plásmidos es que tienen la capacidad de replicar de manera independiente el ADN genómico, y algunos contienen genes que son útiles para la célula anfitrión, contribuyendo a su supervivencia en condiciones específicas. Los mecanismos principales por medio de los cuales se replican los plásmidos son:

- ✓ *El mecanismo tipo theta*: requiere de dos módulos estructurales: en primer lugar, el gen que codifica la proteína *Rep* y sus elementos regulatorios y en segundo lugar, el origen de la replicación.
- ✓ *El mecanismo por desplazamiento de la cadena*: las proteínas promueven el inicio de la replicación en el origen del plásmido, mediante la apertura de las cadenas de ADN.

Según Vargas, Montoya y Aristizábal (2000), el mecanismo de replicación de los plásmidos se relaciona con su capacidad para colonizar diferentes células anfitrionas. Los plásmidos son independientes del ADN cromosómico principal y sin embargo se replican y generalmente pasan a las células hijas durante la división celular. Además, explica Loeza et. al (2004), pueden llevar genes muy importantes, incluyendo los de resistencia a antibióticos, los de producción de toxinas y los de fijación de nitrógeno, necesarios para la degradación de un gran número de sustratos poco frecuentes, como herbicidas o residuos industriales.

Según Chaparro y Díaz (2012), los plásmidos ofrecen una fuente apropiada de orígenes de replicación para la clonación de genes, pero la mayoría de genes son superfluos, y hacen que la molécula sea difícil de manejar. Por lo tanto, se han construido plásmidos a partir de otros que existen en la naturaleza, conservando sólo aquellas características que favorezcan la clonación.

Uno de los plásmidos más ampliamente utilizados, el plásmido de Bolívar y Rodríguez – pBR322 (ver figura 1) se construyó cortando partes de plásmidos que aparecen naturalmente, utilizando enzimas de restricción y volviendo a unirlos en las orientaciones correctas. El plásmido resultante posee muchas de las características que son deseables en un vector de clonación.

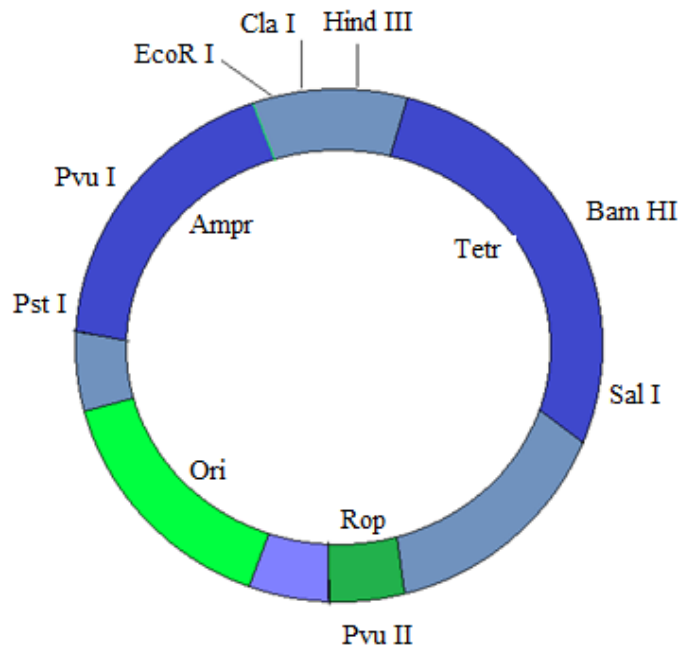


Figura 1: plásmido de Bolívar y Rodríguez (pBR322)

Fuente: tomado de <http://slideplayer.com/slide/3525048/>

Según lo expuesto por Chaparro y Díaz (2012), el plásmido contiene un origen de replicación, que deriva de un plásmido relacionado con el plásmido natural *ColE1*. Este origen es particularmente útil por ser “relajado” (referente a la replicación, independiente del cromosoma, pero que hace que tenga un alto número de copias por célula), es decir, su replicación no va unida a la del ADN cromosómico, y de aquí que la iniciación de la replicación del plásmido pueda ser más frecuente que la del ADN principal de la bacteria.

Como consecuencia, en cada célula se acumulan múltiples copias del plásmido. Este proceso puede llevarse aún más lejos si al cultivo celular se añade cloranfenicol (un inhibidor de la síntesis proteica), ya que la síntesis proteica es necesaria para la replicación cromosómica,

pero no para la del plásmido. De esta forma se puede utilizar el cloranfenicol para “amplificar” el plásmido, obteniendo hasta 3.000 copias por célula (Chaparro y Díaz, 2012).

El plásmido pBR322 se ha construido meticulosamente, de forma que contiene un único punto de reconocimiento denominado sitio de clonamiento múltiple o “multi cloning site” (son sitios únicos, ya que estos sitios de reconocimiento para enzimas de restricción, no se encuentran en el resto de la secuencia del vector) para 20 endonucleasas de restricción diferentes.

Esto significa que cualquiera de las enzimas verificará un solo corte en el plásmido circular, generando una sola molécula lineal a la que se puede unir un fragmento de ADN para su clonación. Seguidamente, la molécula se puede volver a cerrar regenerando un plásmido circular ligeramente mayor (Martínez, Cabrera y Herrera, 2004). Es así como los puntos de restricción se distribuyen por todo el plásmido, y esto permite una gran flexibilidad en la estrategia para seleccionar las moléculas recombinantes.

La presencia de un plásmido en una bacteria confiere a ésta resistencia a dichos antibióticos, de forma que estas bacterias pueden seleccionarse cultivándolas en un medio que contenga ampicilina o tetraciclina. Además, como los puntos de restricción están situados en los genes de resistencia a los antibióticos, se puede preparar la inserción del ADN extraño para que se inactive uno de los dos genes. Por ejemplo: si se inserta el ADN en el punto *Bam*HI, se destruirá la resistencia a la tetraciclina; por lo tanto, los plásmidos recombinantes harán que las bacterias puedan crecer en presencia de ampicilina, pero no ofrecerán protección frente a la tetraciclina (Jacobs, 2003).

El tamaño de los plásmidos que se utilizan como vectores para clonar se ha ido reduciendo al mínimo posible, debido a dos razones fundamentales: primero, porque es mucho más difícil que las moléculas pequeñas de ADN sufran daños por cortes durante el aislamiento. En segundo lugar, las moléculas pequeñas se incorporan con mayor eficacia a las bacterias durante el proceso de “transformación”, aspecto importante a considerar cuando se manejan cantidades muy pequeñas de un ADN valioso (Chaparro y Díaz, 2012).

El tamaño del plásmido, por lo tanto, debe mantenerse lo más pequeño posible, por lo que la inserción de grandes fragmentos de ADN en un plásmido, dará como resultado una molécula físicamente inestable y que puede tener una eficacia de transformación tan baja que la haga impracticable (Jacobs, 2003).

Finalmente, es importante tener en cuenta que las limitaciones en el tamaño máximo del fragmento a insertar pueden originar problemas cuando, por ejemplo, se está preparando una genoteca de un organismo eucariota. En tal caso, siendo el tamaño máximo de los fragmentos a clonar para hacer una genoteca de 10 kb, será necesario obtener unas 2×10^6 colonias de bacterias para estar razonablemente seguro de que al menos una tendrá un plásmido que lleve insertado un gen determinado. No obstante, si se clonan fragmentos de un tamaño de 40 kb, el cual es el tamaño máximo para hacer genotecas en cósmidos, sólo se necesitarían 7×10^4 colonias (Chaparro y Díaz, 2012).

Cósmidos.

Se entienden como vectores que se construyen a partir de diferentes partes del cromosoma que compone el fago lambda y el DNA plasmídico. Poseen una serie de secuencias plasmídicas de replicación y de genes de resistencia a antibióticos. En particular, estas características le posibilitan al cósmido identificar las células huésped que contienen dichos antibióticos (Culteck, 2012).

Chaparro y Díaz Granados (2012) consideran que incluso cuando la región del relleno del ADN de fago lambda (λ) se ha sustituido por un fragmento insertado, el ADN restante contiene toda la información necesaria para el crecimiento lítico del virus, incluyendo los genes necesarios para la replicación del ADN y para la síntesis de las proteínas víricas. De esta forma, el ADN se clona por ciclos repetidos de lisis e infección de células próximas, originando la formación de un halo de lisis.

Dado que los genes esenciales constituyen en torno a un 60% del genoma de fago lambda (λ), y que la longitud máxima entre puntos *cos* que puede empaquetarse es de 52 Kb, hay

un límite máximo para el tamaño del fragmento a insertar de 21 Kb. Aunque esta es una longitud de gran utilidad, hay ocasiones en las que se desean insertar tramos aún más largos como por ejemplo, en la construcción de genotecas de genomas de mamíferos o para el análisis de genes muy largos y de sus regiones colindantes.

Para evitar la limitación de tamaño de fago lambda (λ), Chaparro y Díaz (2012) manifiestan que se ha desarrollado un vector híbrido que incorpora las posiciones *cos* de fago lambda (λ) para empaquetamiento en virus, pero para la replicación del ADN en la célula hospedadora utiliza el origen de replicación de un plásmido. No hay genes para las proteínas víricas, por lo que no se forman virus en las células y no hay lisis celular.

Estos vectores “cósmidos” tienen por lo tanto, las características normales de un plásmido – el origen de la replicación, un gen marcador que codifica la resistencia a un fármaco, un solo punto de escisión para la inserción de ADN extraño, el cual puede encontrarse dentro de un gen marcador, y son de pequeño tamaño. El único “extra” es una pequeña fracción de ADN que contiene la posición *cos* de fago lambda (λ), de tal forma que los extremos adherentes de 12 bases están apareados y unidos. Por lo tanto, el proceso de clonación implica la linearización del cósmido con una enzima de restricción y la unión con fragmentos de ADN extraño obtenido, usando la misma enzima de restricción.

Como es habitual, expresan Chaparro y Díaz (2012), se formarán diversos productos, pero éstos incluirán moléculas que consistan en el ADN extraño unido por cada uno de sus extremos a un cósmido. Siempre que la distancia que haya entre los puntos *cos* se encuentre en el rango de 37 a 52 kb, la molécula recombinante será empaquetada por un sistema de empaquetamiento *in vitro* de fago lambda (λ), que consiste en enzimas de empaquetamiento y proteínas de cabeza y de cola, lo mismo que si fueran parte de una cadena de moléculas de ADN de fago lambda (λ) que se repite.

Como los cósmidos tienen una longitud de unos 5 Kb, se empaquetarán fragmentos de ADN con tamaños entre 32 a 47 Kb, que seguidamente será transferido con gran eficacia a las bacterias por infección con los virus. Una vez en el interior de la bacteria, el ADN lineal se circulariza debido a la complementariedad de bases de sus extremos adherentes, tras lo cual se

replica como un plásmido. En este sentido, los métodos para seleccionar los fragmentos insertados en particular son los que ya se han descrito para los plásmidos (Lacroix et al. 2005).

Virus - Fagos.

Son parásitos intracelulares que se multiplican al interior de células y bacterias, por medio de maquinarias biosintéticas, que están compuestos de ácido nucleico y proteína, los cuales varían dependiente del fago (Chaparro, 2005). Según Loeza et. al (2004), los ácidos nucleicos de los fagos usualmente poseen bases modificadas que tienen una utilidad fundamental, al protegerlos de las endonucleasas del huésped.

Según Segundo, Hernández, López y Torres (2010), todos los fagos tienen ácido nucleico (el cual puede ser DNA o RNA pero no ambos) y proteína. Estos ácidos nucleicos de los fagos contienen bases modificadas que los protegen de las endonucleasas del huésped. Uno de los fagos más conocidos y utilizados en los procesos de clonación molecular es el fago t4, de la familia *Myoviridae*. Es importante describir algunas de sus características:

- Consta de un capsómero (con ADN en el interior) o cabeza.
- Genoma lineal de DNA que consta de 300 genes probables divididos en genes tempranos, intermedios y tardíos.
- Los genes tempranos y medios tienen la función de codificar funciones para la replicación del DNA. Los genes tardíos codifican para componentes de la cabeza y de la cola.

A nivel general, explican Segundo et al. (2010), es fundamental conocer el ciclo de vida de cada fago, con el fin de entender los mecanismos por medio de los cuales pueden transferirse de una bacteria a otra.

BACs (Cromosomas Artificiales de Bacterias).

Un BAC es una molécula de ADN que permite clonar secuencias de ADN en las células bacterianas. Según lo explican Loeza et al. (2004), los BACs permiten clonar fragmentos de hasta 200 Kb en *E. coli*, y pueden ser manipulados como plásmidos bacterianos normales. Un aspecto importante de los BACs es que contienen el origen de replicación de un plásmido natural denominado factor F, que se establece como un sitio de clonación múltiple.

Las principales características de los BACs, mencionadas por Chaparro y Díaz (2012), son:

- ✓ Vectores sintéticos que se han usado para clonar fragmentos grandes de cromosomas de eucariotas (entre 100 y 300 kilo bases).
- ✓ Son usados en el análisis de grandes fragmentos de genomas complejos, genes completos y construcción de mapas físicos de genomas.
- ✓ Usando un plásmido pequeño, llamado factor F (fertilidad), permiten la clonación y los marcadores de selección.
- ✓ El factor F permite al vector integrar grandes fragmentos de DNA, siendo hasta un 25% del tamaño del cromosoma bacteriano.

YACs (Cromosomas Artificiales de Levaduras).

Están compuestos por una molécula de ADN humano, la cual es obtenida a través de un proceso de ingeniería genética, con el fin de clonar secuencias de ADN en células de levadura, específicamente, la levadura *Sacharomyces cerevisiae*. Los YACs se utilizan generalmente en el mapeo y la secuenciación de genomas, y en el mundo científico se han establecido como herramientas realmente valiosas, siendo considerados hoy en día como los vectores de clonación con mayor capacidad.

En la figura 2 se puede apreciar una biblioteca de levadura, en donde cada una contiene un YAC que porta un fragmento de ADN humano diferente.

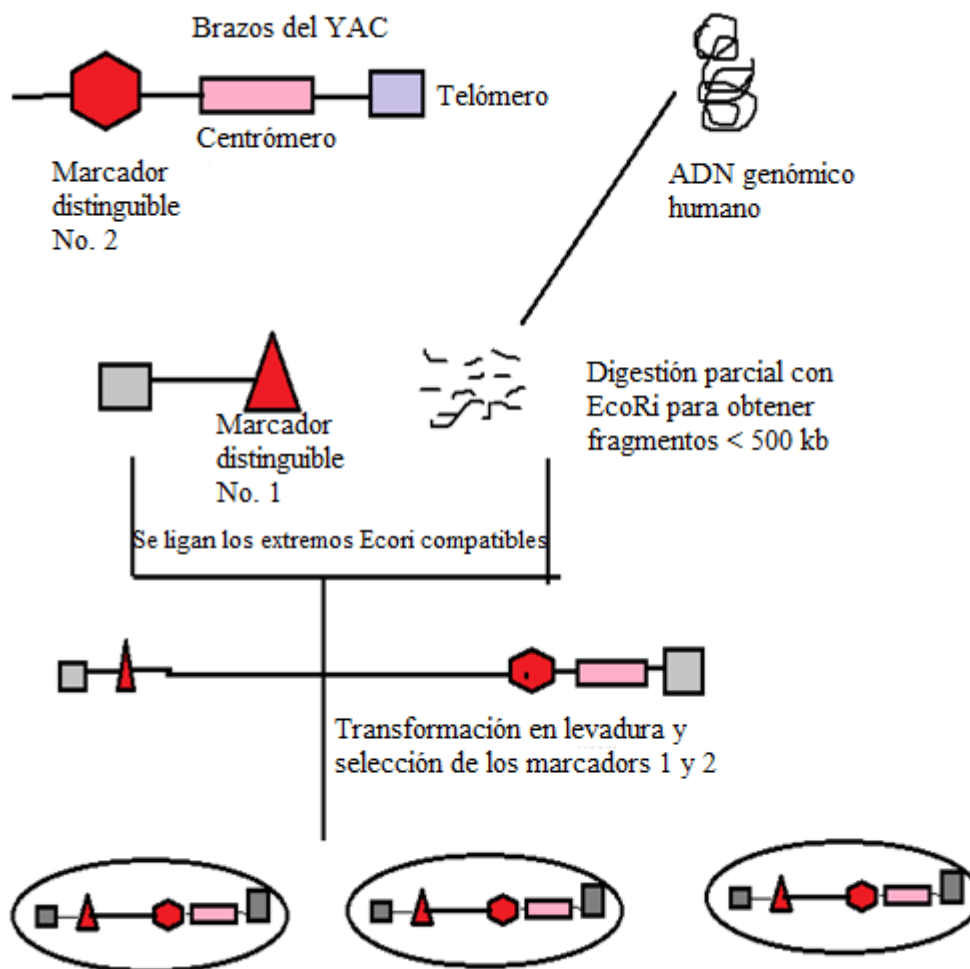


Figura 2: YAC cromosoma artificial de levadura

Fuente: universidad Autónoma de Barcelona (2012)

Como se puede apreciar, los brazos del vector se ligan a los fragmentos de ADN humano, produciendo de esta manera cromosoma lineal artificial con telómeros de levadura y marcadores distinguibles en cada extremo y un centrómero de levaduras, que contienen YAC construido apropiadamente.

Transferencia Indirecta Mediada por *Agrobacterium*

La transfección se entiende como el proceso mediante el cual que se introducen genes o segmentos de genes en la célula, a partir de diferentes tipos de métodos, como biológicos, físicos y químicos. Para el desarrollo de la transferencia y la transmisión de la información genética, se han generado diferentes técnicas que permiten la manipulación de los ácidos nucleicos (DNA y RNA), denominadas técnicas del DNA recombinante (Iglesias, Villamonte y Gonzáles, 2015).

Según la explicación planteada por Jacobs (2003), se han desarrollado diversas técnicas de transfección. El éxito de cada una de ellas depende de la eficiencia en el transporte del ácido nucleico a la ubicación celular apropiada, la baja toxicidad celular, el uso sencillo y la reproducibilidad (Schenborn, 2000). Dentro de los principales métodos utilizados en la transfección se destacan:

Transfección transitoria o método biológico.

Dirigen el ADN plasmídico al citoplasma, pero no está claro el porcentaje de estas moléculas que alcanzan el núcleo celular. Es importante que los parámetros experimentales sean definidos con detalle para lograr un grado importante de reproducibilidad.

Métodos Químicos.

La eficiencia depende de factores químicos que se generan en el proceso de transfección, como la proporción ácido nucleico/químico, el pH de la solución y las condiciones de la membrana celular. En general, estos aspectos hacen que la transfección química tenga una baja eficiencia, comparada con los métodos biológicos, en donde los virus son los principales protagonistas. En particular, la eficiencia de este método varía dependiendo del tipo de célula que se llegue a utilizar (Iannacone 2007).

Se destaca, dentro de los métodos químicos, el método del fosfato de calcio, en donde se obtiene un precipitado entre el cloruro de calcio y el DNA en una solución salina de fosfatos. El agregado con calcio protege al DNA de la degradación por las nucleasas celulares. También se

destaca el método de lipofección, en donde se forman complejos entre lípidos catiónicos y DNA. El complejo tiene afinidad por la membrana y permite la entrada del DNA en el citosol.

Métodos Físicos.

Utilizan una diversa variedad de herramientas físicas para transportar los ácidos nucleicos al interior de las células. Dentro de estos métodos se destaca la microinyección, por medio de la cual se introduce de manera directa el ácido nucleico al citoplasma; el transporte balístico de partículas, donde las moléculas son disparadas a alta velocidad dentro de las células receptoras; y la transfección basada en láseres, que permite emplear un pulso de láser para irradiar la membrana celular con la finalidad de formar un poro momentáneo (Iglesias, Villamonte y Gonzáles, 2015).

En particular, la transfección vegetal se genera a través de la adición manual de genes totalmente nuevos a un organismo, entonces, no hay necesidad de cruzamiento sexual para transferir material genético. Como resultado, un gen proveniente de cualquier organismo viviente puede ser introducido a otro organismo sin importar la especie a que pertenezca. Esto permite mayores posibilidades para la modificación genética de cultivos; especialmente cuando se introduce a una especie características con las que jamás contó. Además, la ingeniería genética es tan precisa que, un solo gen o pocos genes de interés son transferidos de un organismo a otro.

Un aspecto importante es que no hay limitaciones para la transferencia de genes entre plantas de la misma especie o plantas emparentadas cercanamente, lo que permite superar las barreras de incompatibilidad sexual y fertilidad, lo cual es relevante para garantizar la efectividad y el éxito del proceso de transfección.

De acuerdo con Carranza (2011), son tres las razones por las cuales el tema de la transfección vegetal ha tenido un auge importante en los últimos años:

- ✓ La adición del gen mejora el valor agrícola, horticultor u ornamental de una planta.

- ✓ Las plantas transgénicas pueden generar proteína, de tal manera que sería bioreactores
- ✓ Diferentes aportes de la transgénesis de plantas, permiten el conocimiento más detallado de los procesos de las mismas.

Según las apreciaciones de Küper, Ort, Sivaguru, Hoekenga y Kochian (2007), la transfección vegetal es una respuesta a la necesidad de garantizar la seguridad y soberanía alimentaria de las regiones, ante las problemáticas económicas y climáticas que han generado un déficit importante en cuanto al acceso que tienen las personas a alimentos de calidad.

La transfección vegetal no sólo se utiliza como medio para mejorar la cantidad de alimentos disponibles, sino también la calidad de los mismos, y las posibilidades de sobrevivir a diferentes plagas, insectos y enfermedades. Sin embargo, como lo explican Legorreta, Martínez, Fernández y Zentella (2012), la ciencia no se detiene allí, y ya se está pensando en la posibilidad de crear plantas que produzcan vacunas ingeribles para humanos, o plantas con contenidos nutricionales mejorados.

Ahora bien, entre los estudios realizados en el campo de los cultivos transgénicos cabe citar a la Organización Mundial de la Salud - OMS (2008), que a través de un documento titulado, “Biotecnología Moderna de los Alimentos, Salud y Desarrollo Humano”, define organismos genéticamente modificados (OGM) : “organismos en los cuales el material genético (ADN) ha sido alterado de modo artificial”, y aclara que la tecnología generalmente se denomina “biotecnología moderna” o “tecnología genética”, en ocasiones también “tecnología de ADN recombinante” o “ingeniería genética”.

Mediante la biotecnología moderna se transfieren genes seleccionados individuales de un organismo a otro, entre especies no relacionadas, con resultados y consecuencias muchas veces impredecibles, y dichos métodos se utilizan para crear plantas y animales genéticamente alterados de los cuales provienen los alimentos genéticamente modificados o transgénicos (AT).

Según la Revista Ciencia y Tecnología (2014), se consideran como vegetales transgénicos, todas aquellas plantas a las cuales, mediante técnicas genéticas, se les han incorporado genes de otra especie, tanto animal como vegetal o bacteriana con el fin de añadirles

alguna cualidad especial, por ejemplo y como se dijo en un aparte anterior, resistir plagas, aguantar mejor la falta de agua (sequía) o resistir a algunos herbicidas.

La Organización Mundial de la Salud (2008) aclara que un transgénico u Organismo Modificado Genéticamente-OMG, “es un organismo vivo que ha sido creado artificialmente manipulando sus genes”. Por lo tanto, el procedimiento consiste en aislar segmentos del ADN (material genético) de un ser vivo (virus, bacteria, vegetal, animal e incluso humano) para introducirlos en el material genético de otro ser vivo, lo cual es posible gracias a las nuevas técnicas de ingeniería genética.

Una de las razones para que aparezcan estos alimentos transgénicos se encuentra en la necesidad de innovar para incrementar, de tal manera que la industria moderna sea competitiva. También se justifica en la necesidad de acabar con el hambre de muchos países que no pueden abastecerse (Martínez, 2009).

Transferencia Directa

Con el fin de introducir el DNA en las células, también se pueden utilizar técnicas basadas en el desarrollo de tratamientos de tipo físico, químico y eléctrico, que en conjunto son denominadas como técnicas de transferencia génica directa. En particular, este tipo de técnicas permiten superar algunas de las dificultades que se presentan en la transferencia génica mediada por *Agrobacterium*, estableciéndose así como alternativas importantes (Carranza, 2010). A continuación se definen las diferentes técnicas de transferencia directa.

Transferencia de ADN a Protoplastos.

Se basa en la posibilidad de extraer temporalmente la pared celular para permitir la transferencia del DNA. Las células utilizadas para la transformación se obtienen en diferentes tejidos, y el principal requisito es que tengan la posibilidad de sobrevivir en un rango de 24 a 72 horas tras el tratamiento (Carranza, 2011).

Esta técnica, en particular, permite la transformación de una alta cantidad de células individuales, y la producción de muchas líneas independientes. Sin embargo, la principal desventaja es que muchas veces la generación de las plantas a partir de cultivos de protoplastos no es eficiente (Herráez, 2012).

Bombardeo con Microproyectiles.

Mediante esta técnica se bañan partículas esféricas, del tamaño de las células bacterianas, con oro o tungsteno, las cuales son aceleradas a altas velocidades, utilizando para ello una pistola de partículas. De esta manera, los proyectiles acelerados penetran en la pared y membrana celular. Al ingresar a la célula, el DNA se separa de las partículas y puede ser integrado dentro del genoma de las plantas (Carranza, 2011).

Microinyección.

La principal ventaja de la microinyección, que ofrece una mayor estabilidad y control que el bombardeo, es que permite la transferencia génica a una célula concreta. Sin embargo, esta es una técnica que se utiliza principalmente en animales, ya que la pared celular es una barrera física que limita la efectividad de la microinyección, y dificulta además la visibilización del núcleo.

Macroinyección.

Por medio de esta técnica, la solución que contiene el plásmido de DNA se inyecta en el interior de las cavidades que contienen los órganos sexuales de la planta. Se ha establecido como una alternativa importante para introducir el DNA en la célula, aunque requiere de una importante cantidad de plásmido (Carranza, 2011).

Electroporación.

Los protoplastos se suspenden en un tampón con gran conductividad, el cual contiene el DNA que desea ser transferido a la célula. De esta forma, se aplican una serie de impulsos de alto voltaje, causando unas grietas o poros en la membrana, que facilitan la penetración de las moléculas externas. Un aspecto relevante de esta técnica, es que los poros se crean en el

componente lipídico de la membrana, por lo cual después de finalizado el proceso, ésta vuelve a tener sus condiciones normales (Carranza, 2011).

Ultrasonido.

La intención principal, como en el caso de la electroporación, es crear grietas o fisuras en la pared celular por la cual puedan ingresar las moléculas externas. En lugar de un impulso por medio del voltaje y un conductor de energía, se utilizan ondas de ultrasonido que forman unas burbujas, un aumento en la temperatura, y una serie de corrientes que producen alteraciones en la permeabilidad de la membrana celular.

Transformación Mediada por Polen

Teniendo en cuenta que la función del polen es el de transmitir el DNA, ha existido un importante interés para utilizarlo como medio para posibilitar la transferencia genética. No obstante, esta técnica presenta un problema, pues es difícil interpretar si la transferencia es un resultado de la transformación o de la contaminación generada por el polen. Sin embargo, explica Carranza (2011), se ha logrado obtener la transformación de maíz por polinización con una mezcla de polen y de DNA.

Transformación Mediada por Inhibición

Por medio de esta técnica se trata de aprovechar la deshidratación de la planta, la cual genera unos cambios en las células que aceleran la ruptura de la pared. Estas condiciones pueden ser aprovechadas para el desarrollo de la transferencia genética, pero sólo puede ser aplicada a organismos determinados. Lo cual limita considerablemente sus alcances.

Técnicas de Identificación de Genes Transfectados

La obtención de un organismo transgénico mediante técnicas de ingeniería genética implica la participación de un organismo que dona el gen de interés y un organismo receptor del gen que expresará la nueva característica deseada. Por ejemplo, para el caso particular de la producción de una variedad de maíz (*Zea mays*) que resista el ataque de insectos, el organismo o donante es la bacteria del suelo denominada *Bacillus thuringiensis* (Bt) de la cual se extrae el gen que determina la síntesis de la proteína con efecto insecticida, y el organismo receptor del gen es la planta de maíz.

En términos generales, lo anterior implica, en primer lugar, corroborar que existe un gen que codifica para la característica de interés, reconociendo que el organismo que se quiere transferir a otro sea un gen. Esto se puede hacer mediante cruzamientos a partir de una característica que se expresa, verificando las proporciones mendelianas. Posteriormente, una vez que se realiza la corroboración, se procede a clonar el gen de interés, a partir de la técnica de vectores. Para ello, como se ha visto, es preciso realizar la extracción de ADN, buscar un gen entre la mezcla de genes del ADN, iniciar el proceso de secuenciación y la construcción del *vector* recombinante.

Si bien, estos son los procedimientos generales mediante los cuales se genera el proceso para la transformación de un organismo, en el caso de la transfección vegetal se han desarrollado diferentes métodos, basados en la utilización de vectores biológicos, y en el uso de elementos químicos y físicos (Hodson, Castaño y Uscátegui (2012).

Gleba, Marillonnet y Klimyuk (2004), plantean un análisis en torno a los diferentes métodos que se han utilizado para la transfección vegetal, aludiendo al hecho que han tenido que ser modificados por nuevos procedimientos, debido a las limitaciones que fueron presentando con el paso de los años. En primera instancia, la transformación de plantas se generó por medio del uso del plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*, un fitopatógeno que en su ciclo vital normal transforma genéticamente las plantas que infecta.

Sin embargo, este método tuvo limitaciones importantes que reducían la efectividad de las transfección, por lo cual se desarrollan vectores genéticamente diseñados basados en el plásmido Ti, que fueron el vector binario y el vector cointegrado. El problema es que mediante los vectores no se podían transformar las plantas monocotiledóneas, dentro de las que se encuentran el trigo (*Triticum aestivum*), el arroz (*Oriza sativa*) y el maíz (*Zea mays*).

Efectivamente, ante estas problemáticas, se generaron mecanismos alternativos a la transformación mediada por *A. tumefaciens*: específicamente los métodos físicos de transferencia del DNA, que requieren del uso de protoplastos para eliminar la pared celular de las células vegetales. También se han propiciado métodos que permiten introducir genes clonados en una reducida cantidad de las células que componen un tejido vegetal, con el fin de desarrollar la planta entera, sin tener que hacer uso de los protoplastos. “En el presente, la mayor parte de los investigadores usan los vectores derivados del plásmido Ti o el bombardeo con microproyectiles (biolística) para la transformación de células vegetales” (Carranza, 2011, p, 12).

A continuación, se analizan cada uno de los métodos utilizados para la transfección vegetal, teniendo en cuenta la técnica usada para identificar el gen transfectado.

Transformación de la Célula Vegetal con el Plásmido Ti de *A. tumefaciens*.

Según Cancino (2009), el patógeno vegetal del suelo *Agrobacterium tumefaciens* es estudiado ampliamente desde 1907, siendo Smith y Townsend quienes lo identificaron como el agente causal de la enfermedad de la agalla de la corona, enfermedad que se caracteriza por la proliferación de las células vegetales y la formación de una agalla o tumor generalmente cerca de la unión del tallo con la raíz (cuello). Es un grave problema para el cultivo de viñedos, frutales, plantas ornamentales y en especial para la familia de las rosas (*Rosaceae*). Estos investigadores aislaron la bacteria a partir de tejido tumoral vegetal y demostraron que al inocular las bacterias en una herida practicada a una planta sana aparecía de nuevo el tejido tumoral.

En la figura 3 se muestra el Plásmido Ti (plásmido inductor de tumor), contenedor de los genes *vir* que son necesarios para la transferencia e incorporación del fragmento de ADN en el genoma de la planta.

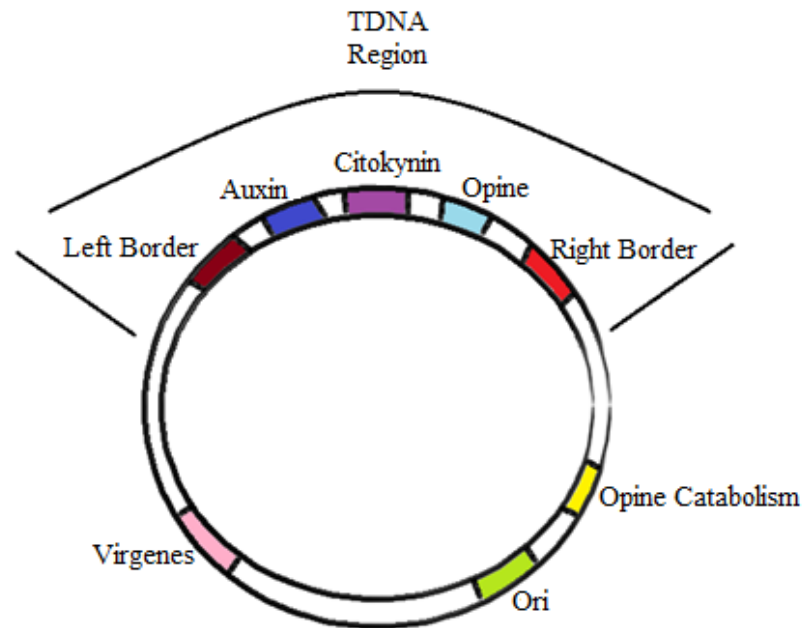


Figura 3: Plásmido Ti

Fuente: Carranza (2014)

Según Carranza (2011), el método más prometedor para transformar células vegetales utiliza un plásmido llamado Ti (plásmido inductor de tumor), recibe este nombre por su capacidad para hacer que las bacterias que lo portan sean capaces de inducir tumores en las raíces o en el tronco de determinadas especies vegetales. Este plásmido se encuentra en la naturaleza en la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, que vive en el suelo e invade muchas plantas dicotiledóneas cuando sufren lesiones a nivel del suelo.

La bacteria penetra en la lesión reciente y se une a la pared de una célula intacta, tras lo cual transfiere una parte relativamente pequeña de plásmido Ti al núcleo de la célula vegetal. El ADN transferido se conoce como ADN-T, y lleva varios genes que se expresan en la planta y que ejercen un drástico efecto en su metabolismo. Uno de los genes codifica una enzima que cataliza la síntesis de una opina, un compuesto químico de bajo peso molecular, derivada de aminoácidos y otros metabolitos que se encuentran normalmente en la célula vegetal. Las opinas no se encuentran normalmente en las plantas, y estas no pueden metabolizarlas, pero *Agrobacterium tumefaciens* puede utilizarlas como sustrato, y de hecho las utiliza.

Carranza (2011), aclara que, la opina particular que se elabora depende de la cepa de bacteria que infecta la planta puesto que, algunas cepas, por ejemplo, dan lugar a la producción de nopalina, otras provocan la síntesis de octopina. En cada caso concreto la bacteria sólo puede utilizar la opina en particular que ella induce. Las enzimas codificadas son nopalina u octopina sintetasa, y sus respectivos genes se denominan *nos* y *ocs*.

El ADN-T no sólo asegura un aporte de nutrientes a la bacteria, sino que también, induce la proliferación desordenada de células alrededor de la herida para formar un callo, agalla o tumor que posteriormente puede ser colonizado por las bacterias. Este crecimiento desordenado es el resultado de una producción excesiva de fitohormonas y está codificado en el gen *onc* del ADN-T.

Una propiedad importante del ADN-T dice Carranza (2011), es que una vez en el interior de la célula vegetal no permanece como un plásmido independiente, sino que se integra en el ADN cromosómico de la planta. Esta integración parece depender de la presencia de dos secuencias repetidas de 25 pb que se encuentran a cada extremo del ADN-T, las cuales podrían unirse después de que el ADN-T se haya escindido del plásmido Ti, dando lugar a una forma intermedia circular de la molécula.

Entre los genes que permanecen en el plásmido Ti se incluyen los de fijación de la bacteria a la pared celular vegetal, los de transferencia del ADN-T a la célula vegetal, los de incorporación y catabolismo de la opina apropiada. La única región del plásmido Ti que no se integra y que es esencial para la transferencia e integración del ADN-T es la región *vir*, la cual se

encuentra cerca del ADN-T. La transformación de las células vegetales es irreversible, y las células del callo pueden cultivarse indefinidamente mucho después de que se haya eliminado la bacteria. La estructura y la manera cómo opera el plásmido Ti se detalla en la figura 4.

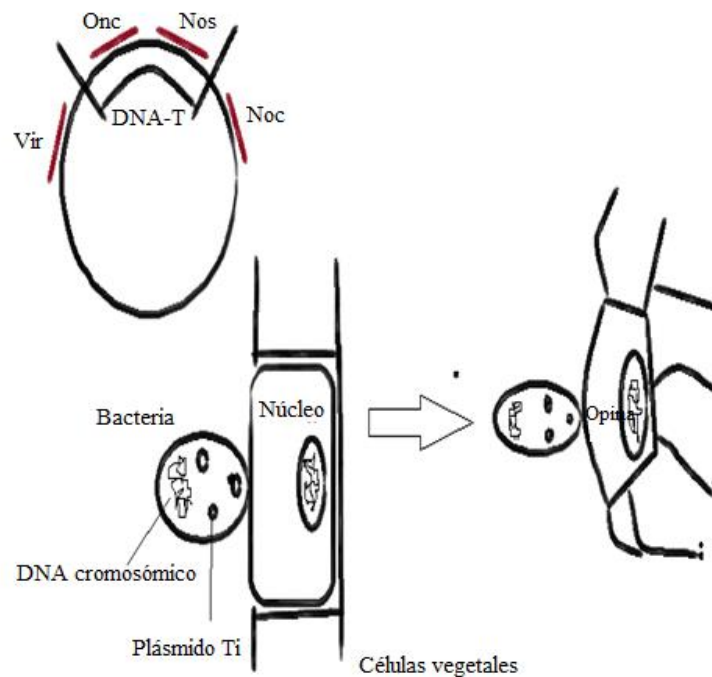


Figura 4: Estructura y modo de acción del plásmido Ti
Fuente: Biotecnología: Técnicas de Ingeniería Genética (2005)

Como se puede apreciar, el DNA-T es transferido desde la bacteria a la célula vegetal, integrándose en el núcleo de la planta, provocando la síntesis de opina y formación de los genes Ti.

Agrobacterium rhizogenes.

Es otra familia de plásmidos de *Agrobacterium* que podrían servir de vectores de genes para la obtención de plantas genéticamente modificadas. Se caracterizan por provocar la proliferación de las raíces en las plantas infectadas por *A. rhizogenes*. Estas raíces tienen la particularidad que

pueden crecer rápidamente en un cultivo libre de bacterias. Gracias a ello, los plásmidos *Ri* originan células vegetales transformadas, que pueden convertirse en plantas fértiles y sanas. Para la utilización de estos plásmidos se utilizan procesos similares a los de *A. tumefaciens*.

Vectores virales.

La idea del uso de los vectores virales es la de infectar de forma sistémica a las plantas, con el fin de investigar la expresión génica en los diferentes tejidos. A pesar que esta técnica permite generar datos importantes sobre los genes, no han satisfecho los requerimientos de ingeniería genética de plantas, debido a que los virus descubiertos hasta ahora no se integran en el genoma huésped. Sin embargo, esta técnica ha generado importantes aportes para complementar las tecnologías que existen (Carranza, 2011).

En particular, existen dos grupos de virus vegetales, que son los virus DNA, que tienen una replicación asociada al núcleo y los virus RNA, que tienen su ciclo en el citoplasma. Otras limitaciones de esta técnica, explica Gelvin (2003a), es la limitada cantidad de hospedadores y los problemas de empaquetamiento según el tamaño del inserto en los vectores virales.

Vectores transposones.

Son fragmentos de DNA que pueden realizar “saltos” de una zona del DNA a otra *in vivo*: “Un gen mutado portando un inserto transposón se aísla primero usando un transposón previamente clonado como sonda para encontrar el elemento y el DNA flanqueante; el DNA flanqueante se usa posteriormente como sonda para aislar el gen desde la línea salvaje” (Carranza, 2011, p, 44).

Técnicas de transferencia génica directa.

Utilizan procesos y tratamientos químicos, físicos y eléctricos para introducir DNA en las células. Se han desarrollado teniendo en cuenta que *Agrobacterium* no resulta efectiva en plantas monocotiledóneas, como el arroz (*Oriza sativa*), el maíz (*Zea mays*) y el trigo (*Triticum aestivum*). Se destacan técnicas que ya han sido explicadas en la sección anterior, como la microinyección, el bombardeo con microproyectiles, la electroporación y el láser.

Genes marcadores.

Permiten determinar si el DNA que ha sido introducido en las células de la planta se ha integrado en su genoma de una manera efectiva y satisfactoria. Además, tienen una función fundamental, en la medida en que le permiten a unas células vivas, tejidos o plantas crecer en medio de condiciones que no previenen el crecimiento de los tejidos que no han sido transformados.

Según señala Carranza (2011), los genes marcadores que se encuentran en los tejidos de la planta, indican el número y ubicación de las células transfectadas, lo cual es fundamental para el desarrollo de una transformación estable. A su vez, los genes marcadores se agrupan en marcadores que confieren viabilidad o letalidad bajo condiciones de selección y marcadores visibles. Dentro del primer grupo se encuentran:

- ✓ *Marcadores de resistencia a herbicidas o antibióticos:* pueden ser resistencias a través de toxificación, la reducción de la afinidad por el agente de selección y la sobreexpresión de una molécula diana de tipo salvaje.
- ✓ *Marcadores letales:* son usados para seleccionar mutaciones que suprimen la expresión de un gen, y para eventos de selección positiva/negativa.

Por otra parte, dentro de los marcadores visibles se encuentran:

- ✓ *Marcadores histológicos:* confieren fenotipos distinguibles en presencia de un sustrato que es suplementado de manera exógena.
- ✓ *Marcadores morfológicos:* se incrementan en la medida en que se va haciendo posible el control de los genes relacionados con caracteres morfológicos.
- ✓ *Marcadores de pigmentación:* teniendo en cuenta que las plantas son organismos coloridos, las mutaciones que afectan a la síntesis de pigmentos han sido utilizadas como marcadores en plantas durante muchos años. Algunos son genes estructurales que codifican factores en *trans* que regulan la expresión de los genes estructurales a nivel transcripcional.

Ejemplos y Aplicaciones

En 1947 se logró cultivar tejido tumoral libre de bacteria inductora en un medio que sólo contenía azúcares y sales inorgánicas, y se observó que el tejido tenía la característica de un crecimiento descontrolado y seguía desarrollándose continuamente cada vez que se transfería a un medio fresco. A partir de ello, se concluyó que la bacteria introducía en la célula vegetal un cambio, el cual se denominó principio tumorígeno.

En 1960, Morel y colaboradores lograron descubrir una importante clave metabólica del principio tumorígeno. Determinaron que las células del tumor vegetal sintetizaban unas sustancias que denominaron opinas, que no estaban presentes en células normales de la misma planta. Se identificaron dos tipos de opinas: las nopalinas y las octopinas. Con estas investigaciones Morel concluyó que la bacteria insertaba en la célula vegetal un gen que controlaba la síntesis de opina, es decir, el principio inductor del tumor radicaba en una transferencia de información de material genético de la bacteria a la planta.

Posteriormente, Kerr (citado en Cancino, 2009), determinó que el principio inductor, es decir la virulencia, se transfería de una cepa portadora a otra que no lo tenía cuando se inoculaban ambas cepas en la misma planta. Kerr planteó que la información genética podría ser transportada por un elemento móvil, posiblemente un plásmido, que es un círculo de ADN separado del cromosoma, con la capacidad de duplicarse independientemente en la célula bacteriana y que puede ser transferido de una célula bacteriana a otra.

Por otro lado, en 1974 el grupo de Van Montagu identificó el principio inductor al determinar la presencia de plásmidos en las cepas virulentas, pero ausentes en las cepas no virulentas. La última década del siglo XX proporcionó avances trascendentales tanto para la biología de la infección en *Agrobacterium* como su manipulación en condiciones controladas para la inserción de genes de interés. En 2003, la sociedad Max Planck, su agencia de transferencia de tecnología y Bayer CropScience AG anunciaron la patente, con uso exclusivo de la tecnología de transformación con *Agrobacterium*, la cual fue desarrollada 20 años atrás.

Con base en lo anterior, Cancino (2009) manifiesta que el mejoramiento vegetal ha empleado a *A. tumefaciens* como herramienta para la inserción de genes mediante las técnicas desarrolladas de ingeniería genética de plantas, aclarando que cualquier gen de interés puede ser manipulado mediante ingeniería genética en el ADN bacteriano y posteriormente integrado en el genoma vegetal.

A. tumefaciens es una bacteria Gram-negativa, móvil, que no esporula y se relaciona estrechamente con la bacteria *Rhizobium*, la cual forma nódulos para fijar nitrógeno en plantas leguminosas. Las cepas de *Agrobacterium* se clasifican en tres biovars; esta clasificación se basa en la utilización de diferentes carbohidratos y pruebas bioquímicas. Es importante resaltar que esta clasificación no es particularmente relevante a la patogenicidad de *A. tumefaciens* (Cancino, 2009).

Muchos de los genes involucrados en la enfermedad de la agalla de la corona explica Cancino (2009), no se localizan en el cromosoma, sino en el plásmido Ti (inductor de tumores) y añade que, de manera similar en cepas de *Rhizobium* la mayoría de los genes que gobiernan la fijación de nitrógeno en nódulos están contenidos en el plásmido *Sym* (plásmido simbólico). Es claro que las características biológicas de estas dos bacterias radican principalmente en sus plásmidos y no en el cromosoma bacteriano.

El papel central de los plásmidos en estas bacterias según Cancino (2009), se puede evidenciar fácilmente, cuando se “cura” una cepa. En este procedimiento la bacteria se cultiva a una temperatura alta (alrededor de 30 °C), lo cual ocasiona que el plásmido se pierda y la patogenicidad (en *Agrobacterium*), o la capacidad de formar nódulos fijadores de nitrógeno (en *Rhizobium*) desaparezca, sin embargo, la pérdida del plásmido no afecta el crecimiento general de la bacteria.

Un ejemplo de un vector transposon es el elemento Ac, que crea una duplicación de 8 pb en el sitio de integración. El elemento Ac del maíz (*Zea mays*) pudo ser transferido a plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*), a través de una transformación que fue establecida mediante *Agrobacterium*. En estas plantas se observó su escisión y reintegración en cualquier sitio tal y como ocurre en el hospedador natural, que es el maíz (*Zea mays*).

Ahora bien, en cuanto a ejemplos de alimentos modificados genéticamente, a partir de la transfección vegetal, se destacan los siguientes:

- ✓ Maíz (*Zea mays*) transgénico: en el caso del maíz, los nuevos genes son insertados en el genoma de la planta, generando así un producto más resistente a los insectos y a las plagas.
- ✓ Soja o Soya (*Glycine max*) transgénica: se establecen una serie de modificaciones a partir de los genes extraídos de los herbicidas de bacterias, que son introducidos en las semillas de la soja, haciéndola más resistente a los herbicidas y a los glifosatos.
- ✓ Papas (*Solanum tuberosum*) transgénicas: el proceso para el desarrollo de este producto, consiste en la invalidación de la enzima del almidón, introduciendo una copia antagónica al gen que la anula. Sin embargo, debido a la dificultad de este proceso, y al hecho que para poder producir papas transgénicas se necesitan unas condiciones específicas muy complejas, es muy difícil encontrar este producto en el mercado.
- ✓ Trigo (*Triticum aestivum*) transgénico: al igual que el maíz y la soja, resulta ser mucho más resistente a las plagas y a las sequías.
- ✓ Tomates (*Solanum lycopersicum*) transgénicos: la principal cualidad de esta clase de tomates, es que el tiempo que pasa entre la cosecha y la descomposición es superior al tomate tradicional. Para ello, una de sus enzimas es inhibida genéticamente, por medio de la inclusión de su gen opuesto.

Ahora bien, con el fin de reconocer más aplicaciones y ejemplos de la transfección en plantas y de los procesos mediante los cuales son alterados genéticamente, se debe reconocer que tienen dos tipos de modificaciones genéticas:

- ✓ *La propiedad insecticida (Bt)*: poseen un gen bacteriano Bt (*Bacillus thuringiensis*), que produce en la planta alterada una toxina mortal para algunos tipos de insectos. Sin embargo, como las poblaciones de insectos se exponen de manera prolongada a una

elevada concentración de la toxina, se están generando en el mundo plagas resistentes al Bt.

- ✓ *Plantas tolerantes a herbicidas*: estas plantas son aquellas cuyo efecto de herbicidas no las afecta, es importante reconocer que estas plantas toleran, únicamente, los herbicidas de la misma empresa que comercializa las semillas.

Ya que se ha analizado la transfección en plantas, las técnicas y/o métodos usados y algunas aplicaciones, específicamente para el caso de los alimentos modificados genéticamente, es importante examinar la situación actual de los OVGGM y de este tipo de cultivos en el plano mundial (global) y en el entorno nacional (local).

Situación Actual de OVG, Cultivos Transgénicos a Nivel Nacional y Mundial

Para el año 2010, existían un total de 148 millones de hectáreas con semillas transgénicas, que supone un aumento del 10,5 por ciento respecto a 2009 con 14 millones de hectáreas más. Los cuatro grandes cultivos transgénicos en el mundo han experimentado un crecimiento alarmante en los últimos años (Zamora, 2011).

- ✓ Soya (*Glycine max*) transgénica (73,3 millones de hectáreas).
- ✓ Maíz (*Zea mays*) transgénico (46,8 millones de hectáreas).
- ✓ Algodón (*Gossypium herbaceum*) transgénico (21 millones de hectáreas).
- ✓ Canola o colza (*Brassica napus*) modificada genéticamente (7 millones de hectáreas) (Zamora, 2011).

Con respecto a la historia de los alimentos transgénicos, en 1986 se creó la primera planta transgénica, un tabaco (*Nicotiana tabacum*) que era resistente al antibiótico Kanamicina.

Se destaca además, que en 1994, se aprobó en EUA la comercialización del primer alimento transgénico, un tomate del tipo *Flavr savr*, el cual se le introdujo un gen que inducía su maduración, de manera que aguantaba más tiempo maduro y retrasaba su putrefacción, pero dos años más tarde el *Flavr savr* tuvo que ser retirado del mercado debido a que presentaba una piel blanda, sabor extraño y cambios en su composición (Vargas, Montoya y Aristizábal, 2002).

En el año 2013, más de 18 millones de agricultores de 27 países plantaron cultivos transgénicos, superando los 175,2 millones de hectáreas cultivadas. La superficie sembrada con cultivos transgénicos en todo el mundo alcanzó un pico máximo de 181,5 millones de hectáreas en 2014, en comparación con los 18 millones de agricultores de 28 países que sembraron 179,7 millones de hectáreas en 2015, lo que equivale a una disminución neta del 1%; cambio de la disminución total de la superficie cultivada, asociada con los bajos precios de los productos básicos en 2015 y a situaciones como la sequía devastadora ocurrida en Sudáfrica, que provocó una disminución masiva del 23%, aproximadamente 700 mil Has (Servicio Internacional de Adquisición de Aplicaciones de Agrobiotecnología – ISAAA por sus siglas en inglés, Informe

20 Años de Comercialización de Cultivos Transgénicos a Nivel Mundial (1996-2015) y Cultivos Transgénicos Destacados en 2105).

Los alimentos derivados de cultivos transgénicos, en la actualidad ampliamente utilizados por todas las sociedades a nivel mundial. En cuanto a las cifras y datos que permitan analizar el crecimiento de los cultivos transgénicos a nivel mundial, se tiene la siguiente información en la figura 5:

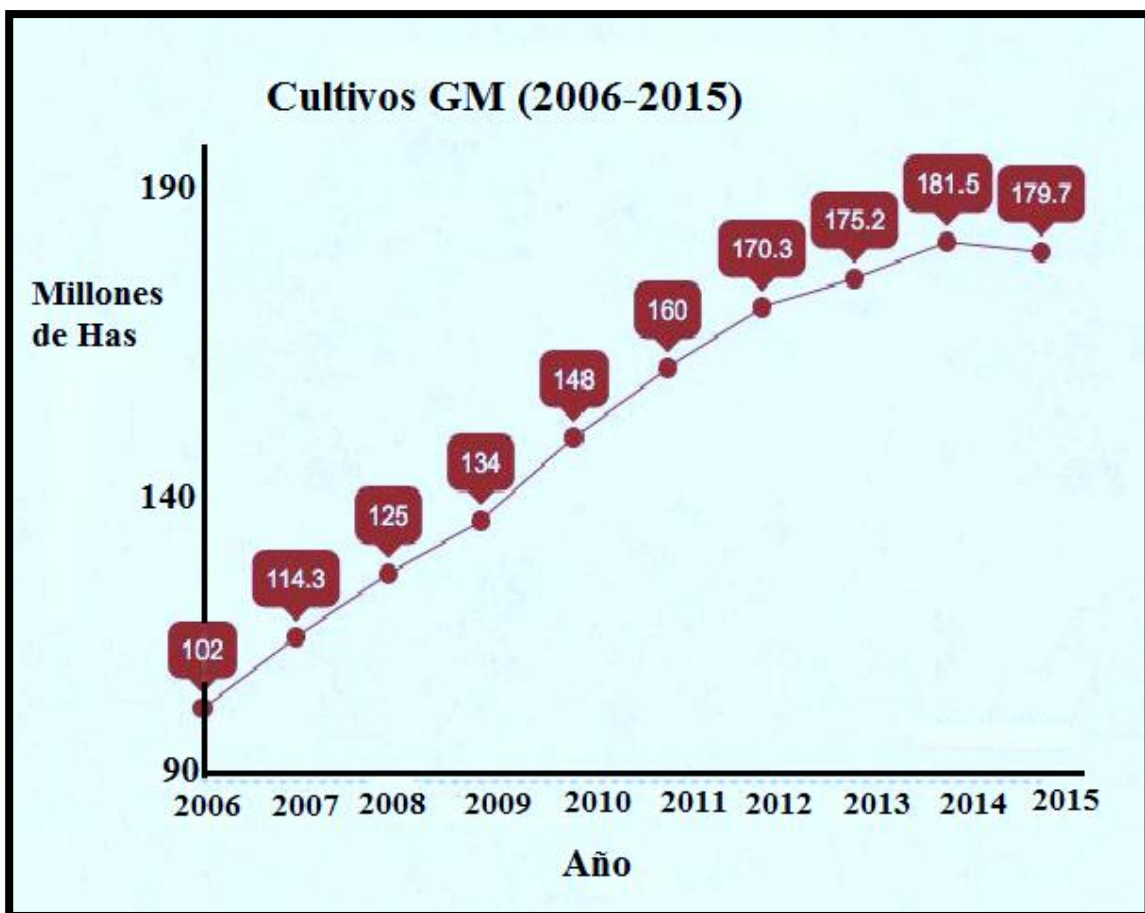


Figura 5: Crecimiento de los cultivos transgénicos a nivel mundial 2006-2015

Fuente: Tomado y adaptado de Servicio Internacional de Adquisición de Aplicaciones de Agrobiotecnología-ISAAA

La escala que va de 90 a 190 representa millones de hectáreas sembradas. Como se puede apreciar, en los últimos años se ha registrado un crecimiento continuo y sostenido de este tipo de cultivos hasta el año 2014, excepto para el año 2015, donde se observa una disminución neta del 1%, cuya causa fue anteriormente explicada. Como desenlace se puede decir que la aceptación a nivel mundial es cada vez mayor, debido a avances importantes en el desarrollo tecnológico, y de nuevos enfoques agroindustriales, basados en la productividad.

Para comprender la situación actual de los cultivos transgénicos en el mundo, es importante tener en cuenta una serie de datos que permitan confirmar su crecimiento continuo:

- ✓ El total de área cultivada con OVGMS desde 2006 a 2015 ha sido de 1490 millones de hectáreas en el mundo.
- ✓ Los cultivos genéticamente modificados que más se producen son: soya, maíz, algodón y canola
- ✓ Los primeros 10 países con mayor producción de cultivos transgénicos (año 2015/millones de has) son Estados Unidos (70.9), Brasil (44.2), Argentina (24.5), India (11.6), Canadá (11), China (3.7), Paraguay (3.6), Pakistán (2.9) South África (2.3) y Uruguay (1.4).
- ✓ En Colombia durante el año 2015 se cultivaron 101 mil 118 has de cultivos transgénicos.

A continuación, se muestra en la tabla 1, la cantidad de millones de hectáreas de cultivos transgénicos en los primeros 20 países que se ubican en la cabeza de la lista.

Tabla 1

Millones de hectáreas sembradas de cultivos transgénicos en los principales países productores

<u>Países</u>	<u>Área en Hectáreas</u>	<u>Principales Productos</u>
---------------	--------------------------	------------------------------

1. Estados Unidos	70.9 millones	Soya, maíz, algodón, canola, calabaza, papaya, alfalfa, remolacha azucarera y papa.
2. Brasil	44.2 millones	Soya, maíz y algodón.
3. Argentina	24.5 millones	Maíz, soya y algodón.
4. India	11.6 millones	Algodón.
5. Canadá	11 millones	Canola, maíz, soya y remolacha azucarera.
6. China	3.7 millones	Algodón, álamo y papaya.
7. Paraguay	3.6 millones	Soya, maíz y algodón.
8. Pakistán.	2.9 millones	Algodón.
9. Sudáfrica	2.3 millones	Soya, maíz y algodón.
10. Uruguay	1.4 millones	Soya y maíz.
11. Bolivia	1.1 millones	Soya.
12. Filipinas	700 mil	Maíz.
13. Australia	700 mil	Algodón y canola.

14. Burkina Faso	400 mil	Algodón
15. Myanmar	300 mil	Algodón
16. México	100 mil	Soya y algodón
17. España	100 mil	Maíz
18. Colombia	100 mil	Algodón y maíz
19. Sudán	100 mil	Algodón
20. Honduras	< 50 mil	Maíz
21. Chile	< 50 mil	Maíz, soya y canola
22. Portugal	< 50 mil	Maíz
23. Vietnam	< 50 mil	Maíz
24. República checa	< 50 mil	Maíz
25. Eslovaquia	< 50 mil	Maíz
26. Costa Rica	< 50 mil	Algodón y soya

Fuente: Tomado y adaptado de AGRO-BIO, Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola: Agrobio@agrobio.org

Según la información planteada por Gelvin (2003b), el desarrollo de los cultivos transgénicos se ha generado de forma similar en los diferentes tipos de economías que se presentan en cada país. Es decir, tanto en las economías emergentes como en los países desarrollados, se ha evidenciado la presencia de este tipo de cultivos, lo cual quiere decir que se han establecido como una estrategia que permite fortalecer y promover las posibilidades de crecimiento económico, y al mismo tiempo sostener la productividad de las economías estables.

Con el fin de profundizar el análisis sobre la situación de OVGMs en el mundo, se analiza el caso particular de algunos países. Por ejemplo, Álvarez (2012), realiza un estudio sobre los cultivos transgénicos en México, y afirman que se han venido sembrando, comercializando y consumiendo desde el año de 1996, sin haber generado nunca ningún perjuicio para la salud. Sin embargo, el autor señala una serie de debilidades en torno a la seguridad, monitoreo y vigilancia de este tipo de cultivos, pues se requiere generar laboratorios apropiados para la identificación de OVGMs, implementando metodologías sencillas de monitoreo, con el fin de vigilar que en cada caso se cumpla con las medidas de bioseguridad.

En síntesis, Álvarez (2012), plantea que la situación de los OVGMs en México es positiva en la medida en que ha incentivado el desarrollo del sector agrícola, y ha contribuido a mejorar la oferta y disponibilidad de alimentos, pero que se deben tener en cuenta protocolos y medidas de seguridad para evitar caos y perjuicios en la biodiversidad a partir del crecimiento en área y extensión de estos cultivos.

Otro caso relevante es el de España, que según Arandes, Basora y Sáiz (2012), ha sido un país pionero en la Unión Europea, con respecto a la siembra de variedades transgénicas, incorporando variedades vegetales, especialmente de Maíz (*Zea mays*), producto por el cual se ha caracterizado esta nación. La figura 6 evidencia el crecimiento de este cultivo en España en los últimos años.

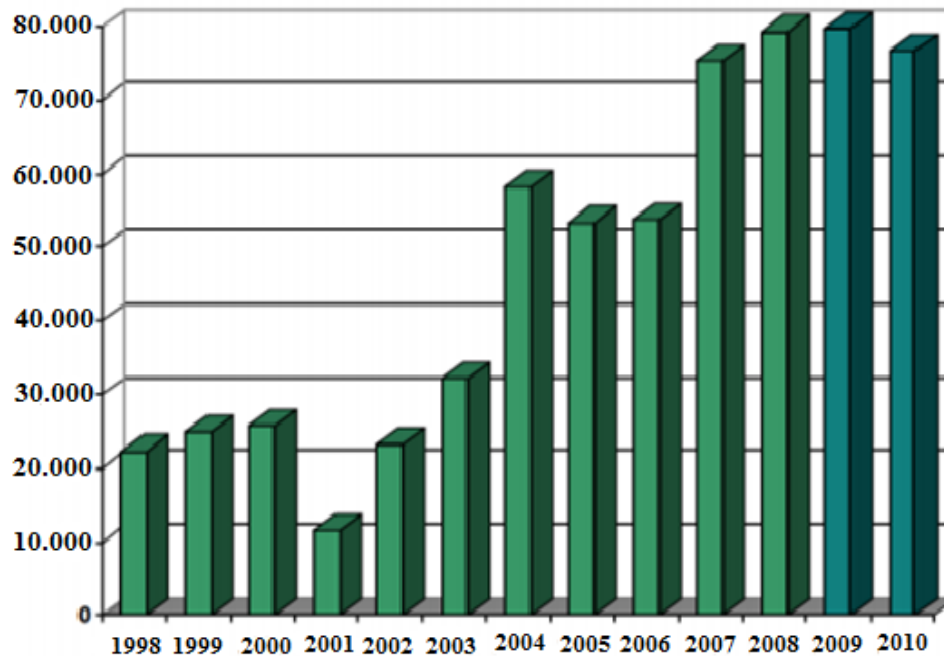


Figura 6: Crecimiento del cultivo del maíz transgénico en España

Fuente: Arandes, Basora y Sáiz (2012). Alimentos transgénicos: la realidad no siempre supera a la ficción

Como se puede apreciar, la superficie sembrada de maíz (*Zea mays*) transgénico en España pasó de 25.000 hectáreas en 2002 a 80.000 hectáreas en el 2009. En general, en España se presentan variedades de insecticidas, que producen una toxina fabricada en la naturaleza por una bacteria del suelo, llamada *Bacillus thuringiensis*.

Por otro lado, en el caso de Argentina, el interés por los OVGMs se comienza a desarrollar desde el año de 1991 cuando se comienzan a generar investigaciones y ensayos con organismos genéticamente modificados. En particular, la normativa argentina sobre el tema se basa en los procedimientos empleados para la producción de OVGMs que puedan significar un riesgo para el ambiente. Gracias a ello, en el país se ha avanzado considerablemente en lo que tiene que ver con la reglamentación y el control ambiental de este tipo de cultivos.

Hoy en día, explica Torti (2014), Argentina desempeña un papel líder en la región en cuanto al desarrollo de los cultivos transgénicos. La superficie cultivada con variedades transgénicas de maíz (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) y algodón (*Gossypium herbaceum*) ha

aumentado continuamente desde el año de 1998. Con el fin de reglamentar todo lo que tiene que ver con la producción de los cultivos transgénicos, de medir y monitorear su impacto, y de prevenir cualquier efecto negativo en el medio ambiente, se ha creado en el país la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA).

Esta comisión ha generado una serie de normas y reglamentaciones que parten de un estudio detallado sobre los OVG, y de los riesgos que se podrían derivar de su utilización. En particular, explica Torti (2014), el trabajo de CONABIA ha sido fundamental para regular todo lo que tiene que ver con los cultivos transgénicos, y para garantizar un adecuado desarrollo de los mismos.

Terradas (2010), en un estudio sobre “Cultivos Transgénicos en Uruguay”, destaca que fue a principios de la década de 1980, cuando la agricultura a nivel mundial comenzó un proceso de cambios profundos sustentados en el desarrollo de la ingeniería genética y la biología molecular, se produjo la proliferación de cultivares genéticamente modificados, posibilitando nuevas capacidades para la producción agropecuaria, lo cual no sólo cambió las estrategias de producción de bienes y servicios agroindustriales, sino que concomitantemente fue introduciendo en la sociedad nuevos desafíos: los riesgos ambientales de esta tecnología y la capacidad estatal de prevenirlos y regularlos.

Además, Terradas (2010) añade que, en Uruguay, la repercusión ambiental comienza a partir de la década del 90 y la utilización de cultivos genéticamente modificados, viene en incremento a partir de esta fecha. Sin embargo, como resultado del aumento de estos cultivos, se han observado diferentes tipos de afectaciones como erosión en los suelos del litoral en el país, a partir de lo cual se ha originado la necesidad de regular, evaluar y controlar los riesgos, con políticas de bioseguridad.

Para analizar otro caso en América, cabe tener en cuenta la situación de Costa Rica (CR). Según Pacheco y García (2014), los cultivos transgénicos autorizados en este país permiten reproducir semillas para exportación, específicamente el algodón (*Gossypium herbaceum*) y la soya (*Glycine max*). También existen cultivos experimentales, dentro de los cuales se encuentran el maíz (*Zea mays*), la piña (*Ananas comosus*) y el plátano (*Musa paradisiaca*). La

siembra de estos cultivos en CR inició en el año de 1991, y hasta el momento se ha avanzado considerablemente en la regulación y legalización de los mismos.

Hay algunas semejanzas entre los países que han sido analizados que es importante referenciar. Por ejemplo, es a comienzos de la década de los 90 cuando se generan los primeros cultivos transgénicos en cada país, y desde entonces se ha generado un crecimiento continuo y sostenido, especialmente en productos como el maíz (*Zea mays*), la soja (*Glycine max*) y el algodón (*Gossypium herbaceum*). Por otro lado, los países han reconocido la importancia de establecer regulaciones que permita no sólo asegurar el desarrollo de los cultivos, sino también reducir y evitar los efectos negativos que se puedan generar en el medio ambiente.

Otro punto importante que se debe tener en cuenta, es que ningún país que ha iniciado la siembra de cultivos transgénicos ha detenido o terminado con los mismos, y que antes se evidencia un crecimiento tanto en el área como en la producción, a través de los años.

Ya que se ha analizado el tema de los cultivos transgénicos en el mundo, es importante enfocarse en el entorno nacional, en donde la mayor parte de investigación en biotecnología es financiada por el sector privado y por algunos gremios del sector agrícola. El enfoque se ha generado en la investigación para obtener productos biotecnológicos controlados por la industria y de alto valor comercial, que en realidad no han ayudado en absoluto a superar los problemas y limitaciones que existen en el sector agrícola.

En general, afirma Vélez (2008), Colombia ha avanzado muy poco en la investigación biotecnológica, debido a la falta de apoyo y financiación por parte del Estado, y a que no se ha podido plantear adecuadamente el tema de los cultivos transgénicos como una solución efectiva para mitigar las problemáticas e inequidades que conforman la crisis agraria del país. Sin embargo, en los últimos años, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MINAGRICULTURA ha planteado la necesidad de avanzar en el plano de la investigación científica, reconociendo las ventajas que se pueden obtener a nivel ambiental, social y económicos por medio de los procesos de apertura masiva a los cultivos y alimentos transgénicos de las transnacionales.

Siguiendo las palabras de Vélez (2008), en Colombia el tema de los cultivos transgénicos se ha establecido como una estrategia para reactivar el sector agrícola, por medio de una estrategia que responde más a los intereses privados y económicos de las empresas, que a los del país. En particular, se olvida que los graves problemas que se enfrentan en el sector agrícola no sólo dependen de la tecnología o del tipo de semillas, sino de problemas estructurales que se relacionan con aspectos de la vida política y social.

En el caso de Colombia, el tema de los cultivos transgénicos se ha asociado con un enfoque en la productividad agrícola, desde el cual el campo se ha considerado como un negocio efectivo para mejorar la competitividad internacional del país (Hodson, 2011).

En la concepción particular sobre la tierra, el desarrollo y la planeación territorial de las políticas nacionales a nivel agropecuario, se ha olvidado por completo el enfoque social, priorizando la rentabilidad y los márgenes de ganancia económica que, en realidad, no se ven reflejados en el mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de la población rural y campesina.

A través de los últimos años han cambiado considerablemente las prioridades en materia agropecuaria en el país, a través de nuevos desarrollos tecnológicos y de la adaptación de cultivos transgénicos, lo cual ha causado un empobrecimiento progresivo del sector agrícola, y por lo tanto de las personas que viven de la producción de la tierra.

Principalmente, explican Barberi, Castro y Álvarez (2013), esto se debe a que la tierra en Colombia ya no es vista como un recurso utilizado para la producción de alimentos básicos que suplan las necesidades de la población local, sino para la producción agropecuaria exportable, y para el desarrollo de enfoques y estrategias que permitan integrar las regiones colombianas a las dinámicas particulares del mercado mundial.

Según las apreciaciones de Fajardo (2009), las políticas que orientan el funcionamiento del sector agropecuario en Colombia se han enfocado en promover de actividades que ayuden a fortalecer la minería y el turismo, mediante la incorporación de los territorios a los procesos de acumulación de riqueza y explotación internacional. Por tanto, la ruralidad se ha vinculado de

manera forzosa a los predicamentos y necesidades de capitalismo mundial, con el fin de asegurar resultados económicos positivos a partir de la explotación del suelo, y de fundamentar un ordenamiento del territorio funcional a la acumulación capitalista.

De esta forma, lo que se ha generado en el país es un proceso mediante el cual el campo y el sector rural son percibidos como una empresa, debido a la falsa creencia de que la escasa competitividad a nivel agrícola se debe a la baja rentabilidad de la economía campesina (Balcázar, 2001). Ante esta creencia, el gobierno ha decidido que lo mejor es entregar la tierra al capital financiero, descuidando en gran medida las necesidades de la población campesina, el derecho que tiene sobre la tierra, el vínculo que ha generado con el territorio y sus procesos de producción tradicionales.

En palabras de León (2012), el enfoque actual de las políticas rurales en Colombia se debe más a un fenómeno global que nacional. En particular, debido al desarrollo de la globalización y de la apertura de mercados, se han incorporado progresivamente nuevas mercancías a los procesos de acumulación de capital. De esta manera, explican Cortés (2004) y Boisier (2005), elementos que antes permanecían ajenos a las dinámicas de la económica y del mercado, hoy se han convertido en un bien más que permite satisfacer con las necesidades del capitalismo.

Según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (2009), esta situación pone de manifiesto que la capacidad técnica y de fiscalización para garantizar el uso seguro de los transgénicos en el país es muy escasa. Como consecuencia, el país se ha visto en la necesidad de crear organismos de control y evaluación de riesgos, así como un marco regulatorio nacional de bioseguridad, articulado con los acuerdos internacionales en el contexto del Convenio de la Diversidad Biológica y el Protocolo de Cartagena.

En consecuencia, se creó en el año 2000 la Comisión de Evaluación de Riesgo de Vegetales Genéticamente Modificados (CERV), la cual autorizó la liberación ambiental de distintos eventos. Esta comisión es derogada en 2008, creándose a cambio el Gabinete Nacional de Bioseguridad (GNBIO), el cual, entre otras competencias, es el responsable de las definiciones políticas y de las autorizaciones finales de nuevos transgénicos.

El problema, explica Vélez (2008), es que la tecnología de los transgénicos se ha utilizado en Colombia en medio de una falsa ilusión: que este tipo de cultivos novedosos van a solucionar las profundas problemáticas que existen en el sector agrícola. Por tanto, como se puede apreciar, los problemas en el sector agrario que se presentan en Colombia no se deben a la llegada de nuevas tecnologías y a la implementación de los cultivos transgénicos, sino al desarrollo de un enfoque negativo en el sector, que únicamente considera la importancia de aumentar la producción y la extensión de la zona de siembra, olvidando la importancia del desarrollo local y el fortalecimiento de las capacidades humanas.

Marco Regulatorio de los Cultivos Transgénicos

Es importante aclarar que en la actualidad existen muchos países que no tienen una legislación específica para la producción de los alimentos o cultivos transgénicos. Básicamente, a nivel mundial, la legislación sobre el tema está basada en el etiquetado y rastreabilidad, y está promovida por la Confederación de Consumidores y Usuarios (CECU). En particular la Unión Europea y la OMS han desarrollado diferentes documentos que se han establecido como un sustento legal para regular la producción de estos productos que deben cumplir con una serie de requisitos específicos (Terradas, 2010).

Dentro de dichos requisitos se encuentra el hecho que sean seguros para la salud y que no generen ningún riesgo para el consumidor, que no atenten contra la biodiversidad y el medio ambiente, que sus características se mantengan a través del tiempo y que se pueden justificar como útil y necesario la alteración genética.

En el año 2004, entró en vigor una nueva normativa sobre liberación y etiquetado de organismos manipulados genéticamente en la Unión Europea. La intención de esta normativa es que todos estos productos estén debidamente etiquetados y referenciados, con el fin que los

consumidores tengan claro que el producto ha sido modificado genéticamente, de tal forma que sean éstos los que elijan si lo consumen o no (García y Lacourture, 2003).

Sin embargo, explican García y Lacourture (2003), más allá del análisis de las normas que existen para regular la producción y etiquetado de los productos transgénicos, lo verdaderamente preocupante son los vacíos legales y jurídicos que existen en esta materia. A nivel general, los países no se han preocupado por diseñar normas y leyes específicas en donde se parta de una comprensión detallado sobre los productos transgénicos, definiendo con precisión los procesos que se deben tener en cuenta para evitar cualquier riesgo o daño que se pueda causar para la salud de las personas y el bienestar del medio ambiente.

Tampoco se ha hecho mucho para controlar el equilibrio económico que debe existir sobre este tipo de productos, entre los agricultores, las comunidades campesinas, los productores y las grandes empresas, de tal manera que se han generado graves desigualdades que afectan considerablemente a muchas personas que viven de la tierra.

Finalmente, en el caso de Colombia, no existe una regulación específica que regule el uso, comercialización, consumo y etiquetado de los productos transgénicos, lo cual evita las posibilidades de un control confiable para la producción. El análisis que se ha planteado, permite comprender la necesidad de seguir avanzado en el marco jurídico y normativo de este tipo de cultivos, teniendo en cuenta su enorme difusión y crecimiento en el mundo, y los efectos que generan en el plano alimentario, social, político y ambiental.

Impactos de Cultivos Genéticamente Modificados, Beneficios y Preocupaciones

Antes de entrar a analizar el tema sobre el debate ético que existe sobre los OVGGM, es importante examinar algunos de los impactos generados por los Cultivos Genéticamente Modificados en el mundo, a nivel social, económico y ambiental.

En particular, explica Ebert et al. (1991), el análisis sobre los beneficios o las preocupaciones generadas por los cultivos transgénicos depende de la perspectiva de cada actor interesado. Es diferente la opinión de las grandes empresas como Monsanto, para la cual la producción acelerada de estos cultivos es más un negocio que cualquier otra cosa. Es distinta, también, la opinión de los cultivadores industriales, o de los campesinos que constituyen la mano de obra en los cultivos, o los consumidores y los gobiernos.

Por ejemplo, teniendo en cuenta que para Monsanto la producción de cultivos modificados genéticamente es un negocio que debe generar una cierta productividad y rentabilidad, la empresa debe desarrollar constantemente argumentos a favor de estos cultivos, promoviendo discursos en los cuales se disminuyen los impactos negativos que puedan generar en los ecosistemas y en el medio ambiente.

Lo mismo ocurre en el caso de los cultivadores industriales, que se benefician de la reducción en los costos de la mano de obra al utilizar semillas modificadas genéticamente, que no requieren del mismo cuidado y atención que las semillas tradicionales. De esta forma, los cultivos transgénicos ayudan a reducir los costos, elevar los rendimientos, lograr el acceso a diferentes mercados y generar productos novedosos y atractivos para los consumidores (Benbrook, 2003).

Por tanto, desde estas perspectivas, el desarrollo de los cultivos transgénicos parece tener un impacto positivo. Sin embargo, también hay que considerar la percepción de las comunidades campesinas, que se ven desplazadas de los cultivos en la medida en que cada vez se necesita menos la mano de obra especializada. En este sentido, se puede decir con Ebert et al. (1991), que analizar los impactos, beneficios y desventajas de los cultivos transgénicos implica realizar un análisis transversal que integre diferentes elementos, como su producción y

comercialización y sus consecuencias para las economías locales, además de su incidencia en el plano social y ambiental.

En cuanto a los beneficios generados por esta clase de cultivos, se destaca la posibilidad de mejorar las características y propiedades de la especie manipulada. Por ejemplo, gracias a las técnicas de vectores de clonación se pueden generar especies resistentes a plagas y al frío, cambiar el sabor o el tamaño del fruto, prolongar la maduración enzimática y, a nivel general, establecer una variedad modificada con ventajas respecto a los demás miembros de la especie (García y Lacourture, 2003).

También hay impactos favorables asociados a las posibilidades de llegar a nuevos mercados mediante productos modificados genéticamente, lo cual representa un apoyo clave para el desarrollo económico, especialmente de países con economías emergentes, que expanden sus oportunidades de comercializar sus productos agrícolas con otros países.

Sin embargo, como explica Benbrook (2003), el problema es que los excedentes económicos muchas veces no son reinvertidos en el país, con el fin de potenciar y mejorar las posibilidades de crecimiento del sector productivo, sino que terminan exportándose a otros centros financieros. Además, mediante el creciente desarrollo de los cultivos transgénicos se ha producido una privatización de la agrobiodiversidad, lo cual genera desigualdad si no se establecen mecanismos y políticas que ayuden a distribuir mejor las ganancias obtenidas por la venta y comercialización de los productos.

Por tanto, explica Terradas (2010), teniendo en cuenta los beneficios y problemas que se desprenden de los cultivos transgénicos a nivel social y económico, en donde es evidente el desarrollo de posiciones distintas, lo más importante es establecer criterios que permitan valorar los impactos en relación a todo el conjunto de la sociedad.

Ahora bien, en cuanto al tema de los impactos medioambientales, Joensen y Semino (2004) plantean que la producción continua y sistemática de los cultivos transgénicos puede llegar a generar las siguientes consecuencias:

- ✓ Simplificación de los agroecosistemas.
- ✓ Falta de control institucional.
- ✓ Impactos imprevistos y negativos en la cadena trófica.
- ✓ Inviabilidad de la coexistencia con otras especies.
- ✓ Fomento del empleo de productos químicos en los cultivos.

Es importante tener en cuenta que estas problemáticas no derivan de las características de los productos transgénicos, sino del hecho que se han extendido rápidamente a lo largo del mundo, o cuando un área de siembra es cada vez más grande.

Teniendo en cuenta esta situación, se puede decir que hay tres estrategias centrales para limitar y prevenir los impactos ambientales de los cultivos transgénicos, los cuales son:

- ✓ El laissez faire, o acción nula.
- ✓ La coexistencia con modelos agrarios convencionales.
- ✓ La prohibición del uso de la ingeniería genética en espacios naturales seleccionados.

Una de las soluciones más eficientes es la de declarar espacios y territorios libres de cultivos transgénicos, en donde se sigan implementando los procesos de siembra tradicional, con el fin de mantener un balance adecuado, evitando así la simplificación de los agrosistemas, las amenazas a la biodiversidad y la falta de control institucional (Ebert et al. 1991).

Evitar el desarrollo de impactos negativos al medio ambiente debido a los cultivos transgénicos depende de garantizar la siembra y desarrollo de los cultivos tradicionales, generando así ecosistemas más equilibrados, garantizando el apoyo a las comunidades campesinas y manteniendo un control estatal que evite la privatización del campo.

Teniendo en cuenta el análisis que se ha planteado, se puede afirmar que los impactos negativos que puedan ser originados por los cultivos modificados genéticamente no dependen de los cultivos como tal, sino de las prácticas y los modelos industriales y económicos que orientan la producción, expansión y comercialización de estos productos.

A continuación, ya que se han examinado algunos de los impactos, ventajas y preocupaciones que existen sobre el tema, se plantea un detallado análisis sobre el debate ético que se ha generado el mundo en torno a los cultivos transgénicos y a los OVG, en donde confluyen una serie de variables, consideraciones y argumentos que se relacionan con temas sociales, económicos, culturales, políticos y ambientales.

Debate Ético sobre OVGGM

En los últimos años se han generado importantes debates o polémicas mundiales en torno al tema de los cultivos transgénicos, en donde se oponen las visiones de los ecologistas, asociaciones de consumidores e incluso líderes religiosos, con la percepción de los grandes ejecutivos. Los investigadores y algunos gobiernos que han manifestado abiertamente su apoyo para el desarrollo de estos cultivos, con la idea que pueden ayudar a mejorar la productividad del sector agrícola (Chaparro, 2005).

En el caso específico de Latinoamérica, el desarrollo de un acuerdo en torno a la verdadera utilidad de los cultivos transgénicos depende de comprender los temas relacionados con la economía, la cultura, la moral y la ética: elementos relevantes que han hecho parte del debate desde la década de los 90. Se puede decir, por tanto, que el tema de los cultivos transgénicos ha estado asociado a una serie de debates desde los cuales se analiza e interpreta la difícil situación que se enfrenta en la actualidad a nivel ambiental, debido al enfoque en la productividad y la explotación indiscriminada de los recursos naturales, con el fin de enfrentar los retos de la globalización, y de implementar estrategias que permitan reducir los efectos negativos, utilizando los recursos de una manera más apropiada, y contribuyendo al cuidado y a la preservación de la naturaleza.

En palabras de Tinjacá (2012), el problema no es de los cultivos transgénicos en sí mismos, sino del modelo industrial por medio del cual se siembra y se establece su producción. Las políticas que orientan el funcionamiento del sector agropecuario a partir de los cultivos transgénicos, se han enfocado en promover actividades que ayuden a fortalecer la incorporación de los territorios a los procesos de acumulación de riqueza y explotación internacional.

Por tanto, la ruralidad se ha vinculado de manera forzosa a los predicamentos y necesidades de capitalismo mundial, con el fin de asegurar resultados económicos positivos a partir de la explotación del suelo, de la modificación genética de los organismos y de fundamentar un ordenamiento del territorio funcional a la acumulación capitalista.

En este sentido, hoy en día se requiere con urgencia de nuevas iniciativas y estrategias que ayuden a mejorar las condiciones de vida de la población a través de los cultivos transgénicos, apoyando el desarrollo sostenible de las regiones, para lo cual es fundamental promover el esfuerzo conjunto de los sectores público y privado, mejorando los resultados de nuevos cultivos transgénicos que beneficien a los consumidores.

Ahora bien, para el desarrollo del análisis en torno al debate ético que se ha generado sobre los OVGGM, es importante, en primer lugar, analizar cuáles son los principales actores involucrados en dicho debate, que continuamente exponen sus argumentos a favor y en contra de la siembra de este tipo de cultivos. Según palabras de Arandes, Basora y Sáiz (2012), los actores principales son los consumidores, las ONGs, los agricultores y productores, la comunidad científica y los legisladores. En cada uno existen grupos a favor y en contra de los OVGGM, que aluden a temas como la sostenibilidad de la agricultura, la seguridad alimentaria, la biodiversidad, la protección de los recursos, e incluso la moral y la religión.

Ahora bien, a nivel general, el debate ético sobre la transferencia de los genes se centra en tres temas específicos, que son: la transferencia de genes humanos, el uso de genes animales prohibidos en ciertos grupos religiosos y la integración de genes animales en vegetales. Sin embargo, siguiendo las palabras de Arandes, Basora y Sáiz (2012):

... Hay que decir que se estableció para poder rebajar la preocupación de que la mayor parte de los genes son sólo copias y no los originales, que los genes sólo asumen un determinado papel biológico y por último que incluso en algunos procesos biotecnológicos, ningún material transgénico original, ni copias clónicas de aquel material, acaban siendo presentes en el producto alimenticio final (p, 66).

A pesar de ello, el debate y las preocupaciones éticas sobre el tema persisten, por lo cual es importante analizar con mayor detenimiento cada uno de los temas que fueron planteados:

- ✓ **Transferencia de genes humanos:** la posibilidad de que en los alimentos transgénicos existan genes humanos ha causado una enorme repulsión por consumidores y ONGs. Esto sólo se puede producir cuando los animales transformados sin éxito, destinados

inicialmente a la producción de fármacos, pasan a ser animales de granja y por tanto a ser posiblemente consumidos.

- ✓ **Temas religiosos:** el problema religioso se deriva del hecho que en muchas culturas alrededor del mundo está totalmente prohibido consumir ciertos tipos de animales. Por tanto, si un alimento transgénico contiene un gen de un animal prohibido, también sería pecado consumir este alimento. Sin embargo, explican Arandes, Basora y Sáiz (2012), en el momento no existen plantas con genes animales. El único animal con visos de ser aprobado es el salmón de Aquabounty, pero aún no se ha aprobado su comercialización.
- ✓ **Problemática vegetariana:** es similar a la problemática religiosa, en la medida en que se piensa que los vegetales transgénicos contienen genes de origen animal, que no pueden ser consumidos por los vegetarianos. Sin embargo, como se ha dicho, en el momento no existen plantas transgénicos con genes animales.
- ✓ **Problema ético de manipulación de la vida:** es uno de los temas centrales en el debate ético que se ha generado en torno a la biotecnología y a los cultivos transgénicos, pues muchos de los sectores de la sociedad opinan que al hombre no le corresponde modificar ni alterar genéticamente la composición de ningún tipo de ser vivo.

Teniendo en cuenta estas problemáticas, el planteamiento de Tinjaca (2012), es que muchos debates éticos se originan debido a la desinformación de ciertos grupos que juzgan como algo negativo a los OGM, sin conocer el proceso mediante el cual se desarrollan. Sin embargo, estos debates siempre estarán presentes, sobre todo el que tiene que ver con la manipulación de la vida, por lo cual es importante que en la biotecnología se tengan en cuenta siempre unos estándares y códigos éticos que permitan obrar con rectitud.

Según las palabras de Spinoza (2012):

A pesar de que el uso de los transgénicos es habitual, se encuentra instalado en la sociedad un debate respecto de la inocuidad o no de dichos productos. Éste se inicia a partir de campañas impulsadas principalmente por ONGs de protección al consumidor y al ambiente. Éstos han hecho pública su preocupación respecto a los peligros potenciales que podría tener la manipulación genética en los aspectos mencionados, pese a que aparentemente no existirían a la fecha evidencias serias de que los productos transgénicos vegetales o animales sean perjudiciales a la salud, al medio ambiente o a la biodiversidad (p, 5).

Según Torti (2004), el principal tema de debate y preocupación que se ha generado a partir del desarrollo y crecimiento continuo de los cultivos transgénicos, es el impacto que puede generar a nivel ambiental y para la salud humana. En gran medida, esto se debe a la poca información con la que cuentan los consumidores, generalmente, sobre las cualidades y características de los cultivos genéticamente modificados.

Spinosa (2012), señala que, en efecto, a nivel mundial existe muy poca precisión en torno a los riesgos asociados a los OGM. A nivel general, se habla de tres tipos de riesgos: para el medio ambiente (cultivos que se convierten en malezas, flujo de genes hacia parientes silvestres, alteraciones en las poblaciones asociadas al cultivo y erosión genética de las variedades locales); para la salud humana (resistencia a antibióticos) y para las actividades socioeconómicas.

Sin embargo, la realidad es que no se saben con exactitud las consecuencias del uso de los transgénicos, ni se puede afirmar tampoco que a través de su extensión se puedan generar consecuencias negativas en un futuro (Torres, 2010). Este problema de desinformación y falta de precisión se genera, según las apreciaciones de Zamora (2011), porque existe una diferencia crucial entre los datos y conocimientos sobre el tema que manejan los expertos, y con la información que tiene el público y los medios de comunicación.

En medio de estos procesos de desinformación, tergiversación, falta de precisión y carencia de espacios para el desarrollo de acuerdos, el tema ambiental ha obtenido una relevancia particular. En palabras de Massieu (2009):

Se destaca lo ambiental como un ámbito cohesionador del debate, que cubre diversos aspectos y que toca cuestiones éticas, socioeconómicas, culturales y políticas. Temas como la biodiversidad, el conocimiento tradicional, la crítica al modelo agrícola dominante corporativo-industrial, la agricultura campesina como conservadora de la biodiversidad, aparecen en este ámbito y resaltan la necesidad de una nueva bioética agroecológica (p, 15).

Sin embargo, siguiendo las palabras de Herráez (2012), la evidencia científica ha demostrado que los alimentos derivados de los cultivos transgénicos son tan aptos y saludables para los seres humanos como cualquier otro producto obtenido por medio de las prácticas tradicionales de agricultura. Por tanto, el único tema de preocupación que debe llamar la atención de todos los

países en donde se presentan los cultivos transgénicos, es el de los impactos ambientales que se pueden generar.

Torti (2004), plantea que los principales impactos ambientales generados por los cultivos transgénicos son positivos, pues ayudan a mejorar los procesos de control de las plantas, a disminuir el uso de químicos y fertilizantes, y a mejorar las posibilidades de inmunidad ante las plagas y las enfermedades. Dentro de este tipo de impactos positivos, se resaltan los siguientes:

- ✓ **Aumento en la extensión del área de siembra:** el enfoque en la productividad agrícola y el crecimiento continuo del área de siembra genera impactos enormes en los ecosistemas, la biodiversidad y los recursos naturales. Sin duda alguna, la destrucción de entornos naturales y de reservas ambientales, con el fin de iniciar los procesos de siembra y producción agrícola, generan importantes efectos en el clima, la estabilidad de los suelos y la vida.

Sin embargo, cabe tener en cuenta que las necesidades de mejorar la productividad y de cumplir con la demanda no son las únicas razones por las cuales se aumenta continuamente el área de siembra. También esto se debe a las plagas, enfermedades, virus y bacterias que arrasan con un amplio porcentaje de los cultivos, lo cual obliga a expandirlos continuamente. Ante esta problemática, resaltan Herrera, Larque y Serratos (2001), la biotecnología ha generado un aporte considerable, en la medida en que ha favorecido el desarrollo de plantas inmunes a ciertos tipos de bacterias y enfermedades, sin generar un aumento significativo de la superficie arable.

En la revista Ciencia y Tecnología (2014), se destaca que existen ciertos tipos de plantas de algodón, colza o maíz transgénicos que portan el gen de una bacteria y son capaces de resistir al ataque de virus, bacterias, hongos o insectos, y que éstas y otras plantas resisten al ataque de plagas gracias al gen introducido, haciendo posible la eliminación del uso de plaguicidas; además, producen semillas de gran interés tanto para la alimentación como para la industria, manifestando con esto, la importancia de los alimentos transgénicos. De la misma manera, se manifiesta que es posible producir plantas resistentes a la sequía, lo cual se constituye en una gran ventaja frente a la problemática del cambio climático o calentamiento global del Planeta.

- ✓ **La siembra directa:** los cultivos transgénicos han ayudado a disminuir los costos de producción, pues se simplifican las tareas de labranza y se reduce considerablemente el uso de fertilizantes y agroquímicos, mediante una práctica conocida como siembra directa. Básicamente, la siembra directa evita los largos días de trabajo previos al cultivo, en donde se debe preparar el suelo y ajustar el entorno de acuerdo a las condiciones y necesidades de las plantas.

En este sentido, frente a la agricultura tradicional, la siembra directa ha ayudado a mejorar la actividad de la microflora y de la microfauna, mejorando a la vez la retención de agua y nutrientes, y disminuyendo los riesgos de erosión del suelo.

Sin embargo, existen opiniones totalmente diferentes sobre los cultivos transgénicos que es preciso tener en cuenta.

Según Hodson (2011), no es verdad que las cosechas transgénicas reducen el uso de herbicidas y pesticidas, pues existen datos que demuestran que en la actualidad se están utilizando muchos más pesticidas en los cultivos transgénicos que en los convencionales. Tampoco sería cierto que los agricultores se benefician de las cosechas transgénicas, puesto que los beneficios económicos son captados casi que en su totalidad por las grandes empresas y corporaciones.

Finalmente, sería equivocado afirmar que este tipo de cultivos están ayudando en realidad a acabar con el hambre que existe en el mundo, pues la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009) afirma que la tierra produce alimentos suficientes para alimentar a toda la población mundial. Por tanto, la solución al hambre en el mundo no depende del desarrollo de cultivos transgénicos, sino de garantizar el acceso a los alimentos y de generar prácticas de agricultura justas y sostenibles que incluyan la participación de la población (Hodson, Castaño y Uscátegui, (2012).

Como se ha podido apreciar, el debate ético en torno a los cultivos transgénicos tiene diferentes vertientes y dimensiones que hacen del tema un complejo problema. Sin embargo, la realidad es que este tipo de cultivos siguen extendiéndose y aumentando a lo largo del mundo.

En todo caso, explica Massieu (2009), los debates éticos sobre el tema se complican si se entiende que es imposible generalizar sobre los efectos de los cultivos transgénicos, pues en cada caso es preciso analizar y evaluar cultivo por cultivo, reconociendo sus particularidades y sus efectos. Esta situación también ha limitado el desarrollo de marcos regulatorios y políticas comunes que orienten la aplicación, diseño e implementación de los OVGGM.

El debate ético que se ha formulado es bastante profundo y controversial debido al hecho de que no se está hablando de un desarrollo tecnológico común, sino de uno que está directamente relacionado con los seres vivos. Esto conlleva a que los efectos ambientales y éticos tomen una serie de rasgos específicos, que han dificultado las posibilidades de encontrar una solución al debate, y de lograr llegar a acuerdos generales sobre los cultivos transgénicos (Lacroix, 2005).

Además, es importante tener en cuenta que además de los fundamentos éticos que movilizan el debate, hay en juego una serie de intereses políticos, económicos y patrimoniales que generan una influencia relevante en el desarrollo de los cultivos transgénicos, es un escenario particular del comercio internacional de productos agropecuarios, que ha generado una verdadera guerra que lo único que ha logrado es incrementar las matices y complejidades del debate (Spinosa, 2012).

Una importante contradicción que juega un papel fundamental en el debate, es la que existe entre los criterios comerciales y el enfoque en la productividad de la agricultura, con los que abogan por el respeto al medio ambiente y a la protección de los recursos naturales.

Este tema se ha convertido en una total encrucijada actual, pues si bien es necesario garantizar el desarrollo económico de las regiones, es fundamental a la vez proteger un medio ambiente cuyo deterioro ecológico ya se encuentra altamente avanzado.

En medio del debate ético generado por los cultivos transgénicos, en donde, como se ha visto, se involucran temas relacionados con la salud, el medio ambiente, la biodiversidad y la religión, el avance y desarrollo de los OVGGM sigue avanzando con un paso continuo, que si bien tiene aún un amplio camino por recorrer para igualar en extensión a los cultivos tradicionales, ha

dejado ver la intención de muchos países por cultivar y seguir aumentando su producción. Siguiendo las palabras de Massieu (2009):

...sigue presente la cuestión de si la agrobiotecnología llegará a transformar el sistema agroalimentario en su totalidad, puesto que, a la fecha, si bien la superficie sembrada de transgénicos ha aumentado ininterrumpidamente en un grupo de países, dista mucho de tener el alcance de la Revolución Verde (RV). De cualquier manera, sostengo que sí estamos ante una revolución científica, que cambió el paradigma de las ciencias biológicas y que coloca a la humanidad ante un nuevo dilema ético.

Según González (2010), un elemento que se debe tener en cuenta, y que sin duda alguna aumentará las contradicciones del debate ético, es que a los avances en el campo de los cultivos transgénicos seguirán los de las técnicas de clonación, transferencia de genes a bacterias y células eucariotas, amplificación de fragmentos discretos de ADN y construcción de organismos transgénicos. Lo que parecía imposible en genética hace 30 años: el análisis *in vivo* de la función de los genes, la síntesis a gran escala de sus productos de expresión y el estudio de genomas complejos, se comienza a abordar hoy en día en laboratorios modestos de genética y biología molecular.

La aplicación de estos conocimientos ha propiciado el nacimiento de la biotecnología y ha revolucionado la microbiología industrial, la agricultura, la ganadería y la medicina, aumentando cada vez más el desarrollo de un debate ético sin precedentes, que parece, hasta el momento, no encontrar posibilidades de solución, mientras la desinformación y la falta de precisión sobre el tema sean los elementos que imperen.

En todo caso, un elemento importante que tiene que considerarse en torno al debate ético que se ha generado, es que una vez se obtenga una planta regenerada en un medio de selección, mediante el uso de cualquier sistema de transformación, es necesario estudiar si esta planta es transgénica o no. Para ello debe demostrarse que los genes foráneos de la construcción quimérica están presentes físicamente en el genoma vegetal, que se están transcribiendo correctamente en ARNm y que se están traduciendo en una proteína recombinante o transgénica.

Luego vienen los estudios biológicos para determinar si se está produciendo el fenotipo deseado: si se introdujeron genes foráneos que confieran resistencia a insectos, si efectivamente

la planta es resistente a insectos, y cuáles son los niveles de resistencia. Al mismo tiempo se realizan estudios para determinar si estas plantas transgénicas pueden liberarse comercialmente como cultivos biotecnológicos, mediante estudios de bioseguridad que determinen que no van a causar efectos negativos en el ambiente, en las personas o en los animales que las consuman.

Lo anterior, porque no todas las modalidades de transgénicos están autorizadas para su cultivo y posterior comercialización, ya que su venta, como se ha visto, ha suscitado numerosas polémicas, y ha generado grupos de detractores de este tipo de productos, lo cual explica por qué numerosos científicos y grupos ecologistas se oponen a la producción y comercialización de este tipo de productos, pues arguyen que pueden aportar tóxicos para el organismo.

Al respecto, la Organización Mundial de la Salud (2002), en un documento llamado “20 Preguntas sobre los Alimentos Genéticamente Modificados” afirmó que los alimentos transgénicos no hacen daño a la salud humana, de allí que no se hayan presentado riesgos en aquellos países en que están comercializados, por lo tanto, no se deben hacer afirmaciones generales al respecto, además, los que se encuentran disponibles han pasado las evaluaciones de riesgo.

Todos estos son puntos y elementos que es preciso considerar en un debate que debe nutrirse con una mejor información y una mayor precisión sobre la verdadera naturaleza, características, aportes, beneficios y problemas asociados a los cultivos transgénicos, aceptando que son una realidad en el mundo actual, y que deben establecer estrategias comunes y marcos de regulación que permitan obtener lo mejor de este tipo de cultivos, para apoyar el crecimiento económico, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo social de las regiones.

Para finalizar el análisis sobre el debate ético que se ha planteado, es importante citar las palabras de Iglesias, Villamonte y González (2015), al hacer referencia a los alimentos transgénicos:

En esta cuestión el debate se centra en la seguridad de estos alimentos para el consumo humano y en si se debería permitir que se patenten los alimentos, dejando el control del suministro alimenticio esencialmente en mano de las empresas. Una mirada objetiva a ellos nos permite ver que la única

diferencia entre ellos y su versión “normal” es la proteína insertada. En ese sentido, probablemente la mejor solución desde el punto de vista bioético sería informar a los consumidores sobre la proteína foránea que contiene el alimento para evitar riesgos a la salud como potenciales alergias (p, 136).

Se puede decir, por tanto, que la clave del asunto está en la información, en mantener a los consumidores y demás grupos interesados muy bien informados sobre todos los efectos y diferencias que puedan tener los alimentos transgénicos, con una adecuada precisión y claridad, que reduzca las dudas y las malas interpretaciones, reduciendo así las dimensiones de un debate ético que hasta el momento no ha encontrado un camino posible para su solución.

Mitos y Realidades de los OGM

Para finalizar el análisis en torno al debate ético que se ha generado en torno OGM, a continuación se expone un cuadro en donde se explican y referencian los principales mitos y realidades sobre este tema.

Tabla 2

Mitos y realidades de los cultivos transgénicos

MITO	REALIDAD
Los cultivos transgénicos afectan la biodiversidad.	No hay ningún tipo de evidencia que permita asegurar que en los espacios destinados para la producción de cultivos transgénicos se hayan reducido las posibilidades de supervivencia de ningún tipo de especie, ni que se haya puesto en peligro a ninguna planta o animal (Hodson, 2011).
Los cultivos transgénicos generan nuevas plagas resistentes a los métodos tradicionales de control.	La resistencia de las plagas a los sistemas de control es un fenómeno natural, pues es su forma de responder y de adaptarse. Por otro lado, no se ha demostrado que por el hecho de ser transgénicos, estos cultivos aumenten la resistencia en las plagas (Hodson, Castaño y Uscáteguí, 2012).
La falta de rotación de cultivos transgénicos, y el uso intensivo de herbicidas, ha favorecido el desarrollo de malas hierbas capaces de resistir a cualquier herbicida.	No existen reportes científicos sobre la aparición de malas hierbas, con mayor resistencia a los herbicidas, relacionadas con el uso de cultivos genéticamente modificados (Hodson, 2011).

Los cultivos transgénicos producen alegrías en los seres humanos.	Las alergias alimentarias son comunes en los alimentos convencionales y depende del sistema inmune de cada individuo. No se ha probado que por el hecho de ser transgénico, un alimento tenga mayores posibilidades de generar una alergia en una persona (González, 2010).
El uso de antibióticos como marcadores de selección en el desarrollo de un OGM provoca resistencia a los antibióticos en los seres humanos.	No se puede afirmar que los alimentos transgénicos que contienen genes resistentes a antibióticos pueden provocar la transferencia de dicha característica a bacterias existentes en el organismo humano, pues dichas resistencias ya se encuentran presentes en la flora intestinal (Hodson, Castaño y Uscáteguí, 2012).
Los cultivos transgénicos únicamente benefician a las multinacionales.	Existen diferentes estudios que prueban que agricultores pequeños y medianos también se han beneficiado económicamente de este tipo de cultivos (Martínez, 2009).
Los cultivos transgénicos son la principal herramienta para combatir el hambre en el mundo.	Si bien son una opción importante, el hambre, la pobreza y la falta de alimentos son problemas que dependen de causas estructurales, sociales, políticas y económicas, que van más allá de las posibilidades que puede ofrecer la biotecnología (Iglesias, Villamonte y González, 2015).

Conclusiones y Recomendaciones

La biotecnología es la aplicación industrial de procesos biológicos en el contenido genético o de información hereditaria de un organismo en particular, por lo tanto, se refiere específicamente a tecnologías referentes a la recombinación del ADN (ácido desoxirribonucleico) por medio de la ingeniería genética puesto que las aplicaciones se hacen tanto en el contenido genético de una célula como en el ARN (ácido ribonucleico) de algunos virus. La biotecnología contribuye al desarrollo industrial y científico de los seres humanos, así como al mejoramiento de su calidad de vida.

Desde el punto de vista de los vectores biológicos (VB), los principales pasos de clonación de genes son los siguientes: aislamiento de un gen, inserción del gen en un vector, transferencia o recombinación del vector con una bacteria, selección de las bacterias que contengan el vector recombinante deseado, cultivo de las bacterias seleccionadas y utilización de las bacterias (si el gen se expresa) o recuperación del gen clonado.

Con el conocimiento científico presente en las técnicas se entiende cómo se puede manipular y modificar la estructura de cada molécula de ADN, con el propósito de obtener una copia exacta de la misma molécula –o un clon– o una diferente –un ADN recombinado–, como el caso de los alimentos transgénicos.

Normalmente en el proceso de transferencia de vectores se utiliza la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* que produce en algunas plantas la enfermedad o tumor llamada “agalla de la corona” y posee un plásmido (Ti = inductor del tumor), que contiene los genes *vir*, responsables de su virulencia. Se pueden eliminar estos genes y sustituirlos por aquellos que se quiera clonar.

Un organismo genéticamente modificado (OGM) se obtiene al introducir un fragmento de ADN de una especie en el ADN de otra, de esta forma se obtiene el mismo organismo principal, pero con la información añadida de otra especie.

La actividad agropecuaria puede ser afectada por cambios climáticos no deseados, plagas, sequías o inundaciones, diferencias térmicas extremas, degradación de los suelos, contaminación y otras, algunas de ellas superadas gracias a la utilización de especies mejoradas y por lo tanto, más resistentes, en este sentido, las plantas transgénicas generan resistencia a herbicidas, virus, insectos e infecciones víricas.

Con la aplicación de las técnicas de ingeniería genética se han logrado cambios no sólo en el área biológica (nuevas especies), científica (nuevos desarrollos tecnológicos) y ambiental (agua, suelo, aire, degradación por uso intensivo de los recursos, nuevos agroquímicos), sino también en el aparato productivo de un país (monocultivo, sistema de siembra directa, mayor tecnificación del agro y la consecuente reducción de mano de obra rural, concentración económica), el comercio internacional (empresas multinacionales oligopólicas, patentes y regalías), la política y la sociedad.

Las aplicaciones de la ingeniería genética, la biotecnología y el continuo crecimiento científico y tecnológico, han posibilitado el desarrollo de OVGMs y cultivos transgénicos, que permiten desarrollar semillas para la siembra más resistentes a las plagas y enfermedades, con la supuesta finalidad de garantizar la seguridad alimentaria de las regiones, y de evitar la extensión del área de siembra, al mantener cultivos regulados científicamente, con unos mejores procesos de control y mediante la siembra directa, evitando de esta manera los procesos de preparación y adaptación del suelo y el entorno a las necesidades de las plantas.

En particular, son estos los tipos de argumentos que se han establecido a favor de los cultivos transgénicos, enfocándose en justificar cómo la biotecnología no sólo permite mejorar el acceso a los alimentos por parte de la población, sino que además contribuye al bienestar del medio ambiente, en la medida en que los cultivos transgénicos ayudan a reducir la cantidad de agroquímicos utilizados, y son más resistentes a las enfermedades, lo cual genera menores desperdicios y mayor efectividad en los procesos de siembra.

Sin embargo, la realidad muestra que el tema de los cultivos transgénicos ha generado un importante debate a nivel mundial, en donde se oponen diferentes grupos y sectores sociales, que no han llegado a un acuerdo sobre las verdaderas características, funciones, ventajas y

desventajas de esta clase de cultivos. En el debate se han introducido temas políticos, económicos, ambientales y sociales, en donde se exponen, por un lado, los aportes generados por los OVGMs, y por el otro lado, los riesgos que se pueden generar para la salud humana y la sostenibilidad ambiental si se siguen aumentando de forma acelerada y continua los cultivos genéticamente modificados.

Sólo para dar una muestra de las dimensiones que ha adquirido este debate, hay corporaciones ecologistas como Greenpeace que afirman que todos los beneficios que se le han venido explicando al público sobre los cultivos transgénicos esconden una serie de mentiras y engaños cuya verdadera intención es encubrir la necesidad de crecimiento económico de las grandes empresas. Se plantea, por tanto, por razones ya explicadas en el presente trabajo, que estos cultivos en realidad no son más productivos ni tienen mayor calidad, que no son una verdadera solución al hambre, y que las cosechas transgénicas reducen el uso de herbicidas y pesticidas.

Incluso, se ha llegado a afirmar que a pesar de que la comunidad científica afirme que la ingeniería genética y la biotecnología generan resultados precisos, la verdad es que la introducción de genes nuevos en el genoma de la planta provoca consecuencias impredecibles en el funcionamiento genético, pues se crean mecanismos de interacción complejos que no siempre pueden ser anticipados.

Por ejemplo, como se ha visto cuando se han analizado los métodos por medio de los cuales se produce la transfección vegetal, uno de ellos es introducir los genes en la planta mediante la pistola de genes, que los dispara al azar y de una manera aleatoria, lo cual genera efectos secundarios e implicaciones fisiológicas o ecológicas impredecibles.

Por otro lado, el debate también ha adquirido una serie de matices de tipo ético y moral, pues la creación de organismos genéticamente modificados se cuestiona como una actividad que no le corresponde al ser humano, quien más que crear nuevas formas de vida debe preocuparse por mantener y garantizar el acceso a los bienes y recursos producidos por la naturaleza.

Lo que se quiere argumentar no es que se deba detener la producción de cultivos transgénicos, que como se ha visto ya son una realidad mundial, cuya extensión ha sido inevitable en medio de los procesos por medio de los cuales se ha vinculado la biotecnología con la agricultura, y del natural y continuo desarrollo tecnológico. Sin embargo, hay dos aspectos que deben ser tenidos en cuenta por la comunidad científica en cuanto al desarrollo de los OVGMs, con el fin de seguir mejorando la productividad y equilibrio ambiental de estos cultivos, y apoyar en la solución efectiva del debate que se ha establecido.

El primero de ellos es seguir mejorando los procesos de clonación molecular, favoreciendo una precisión cada vez mayor, que evite procesos de inserción aleatoria e imprevisible de los genes en las plantas, siempre llevando un control detallado de los objetivos y resultados que se esperan alcanzar. Es importante continuar en el desarrollo investigativo de la clonación vegetal, diseñando métodos de transfección cada vez más precisos, que consideren las cualidades de los tejidos y las posibilidades de traspasar la membrana celular.

El punto está en cuestionar la verdadera intención que se persigue al realizar este tipo de investigaciones, o al favorecer el desarrollo de cultivos transgénicos. El objetivo final no puede ser el de generar beneficios económicos para las grandes empresas o corporaciones que financian la investigación, o para alejar cada vez más a las comunidades campesinas del campo. Por el contrario, por medio de esta clase de cultivos se debe potenciar la participación de la población, la posibilidad de fortalecer sus habilidades por medio de capacitaciones y asesoría que garanticen la aplicación de su fuerza de trabajo en la siembra, cuidado y cosecha de estos nuevos cultivos.

Por tanto, la principal intención y motivación de los cultivos transgénicos debe ser social, alimentaria y ambiental. Debe partir de considerar las necesidades de las poblaciones, la preocupante situación ambiental que existe, y las posibilidades que prestan este tipo de cultivos para superar la inequidad social, mejorar efectivamente el acceso a los alimentos, y reducir impactos negativos al medio ambiente, explotando estas cualidades que se pueden obtener mediante los OVGMs. Sin duda alguna, un enfoque de este tipo, social y humano, permitirá

avanzar considerablemente en el debate, y reducir la polémica y las profundas contradicciones que se han generado en los diferentes sectores de la sociedad.

El segundo elemento que se debe tener en cuenta para favorecer un desarrollo adecuado, con un enfoque social de los cultivos transgénicos, es mejorar la precisión de la información que tienen los consumidores, y facilitar el acceso a los conocimientos que pueden adquirir sobre los procesos de transfección, la modificación genética, además de la siembra y cultivo de los transgénicos. Como se ha visto, la principal característica del debate ha sido la desinformación y falta de precisión, pues algunos argumentos en contra, como que los cultivos transgénicos generan perjuicios para la salud humana, se establecen a partir del desconocimiento sobre sus características y sobre el proceso mediante el cual son producidos.

En este sentido, el presente trabajo monográfico se ha enfocado en evaluar la situación actual de los cultivos transgénicos, a partir de un análisis sobre la clonación molecular aplicada a OVGMs, con el fin de precisar y generar información en cuanto a la constitución y origen de este tipo de cultivos, reconociendo sus características, y analizando los rasgos particulares del debate mundial en torno a su producción, uso y consumo.

La situación actual de este tipo de cultivos evidencia un crecimiento continuo y acelerado, en donde cada vez más países comienzan a investigarlos y a producirlos como un medio para dinamizar el sector de la agricultura y atender a las exigencias del progreso tecnológico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los cultivos transgénicos no pueden ser vistos como la única solución para atender las enormes problemáticas que existen en el mundo relacionadas con la pobreza, la inequidad y la desnutrición.

Estos son problemas que van mucho más allá de lo que pueda lograr la biotecnología, y requieren de esfuerzos integrales a nivel social, político y económico, que aseguren las bases de un mundo más justo, que atienda a las necesidades de la población más vulnerable, y que ayude a definir estrategias efectivas para el mejoramiento continuo de las condiciones de vida.

Referencias

- Álvarez, A. (2012). *Los Organismos Genéticamente Modificados en México: Situación Actual*. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados.
- Arandes, A., Basora, J. y Sáiz, V. (2012). *Alimentos transgénicos: La realidad no siempre supera a la ficción*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Balcázar, A. (2001). Acceso a tierras y disminución de la pobreza rural. En Colombia, tierra y paz. Experiencias para la reforma agraria. Alternativas para el siglo XXI. 1961-2001. Bogotá: Incora.
- Barberi, F., Castro, Y., Álvarez, J. (2013). Acaparamiento e inversión extranjera en tierras. Propuesta para su regulación en Colombia. En Reflexiones sobre la ruralidad y el territorio en Colombia.
- Benbrook, Ch. (2014). Public Comments to the NRC/NAS Committee on Genetically Engineered Crops: Past Experience and Future Prospects. [En línea]. Recuperado el 21 de marzo del 2017 en: http://csanr.wsu.edu/m2m/files/NAS_Sept_15_Final.pdf
- Boisier, S. (2005). “Un ensayo epistemológico y axiológico sobre gestión del desarrollo territorial: conocimiento y valores”. Santiago de Chile. En: <http://www.redelaldia.org/IMG/pdf/boisier.pdf>.
- Cancino, G. (2009). Introducción a la Ingeniería Genética. *Agrobacterium tumefaciens*, un patógeno vegetal con talento para transferir genes. En: A. Chaparro, *Introducción a la Ingeniería Genética de plantas*. Bogotá D.C. Universidad Nacional.
- Carranza, D. (2010). *Transformación de células vegetales*. Obtención de plantas transgénicas. Disponible en: <https://ciencia-en-red.fisimur.org/.../Transformacion%20de%20celulas%20vege>.
- Carranza, D. (2011). *Transformación de células vegetales*. Obtención de plantas transgénicas. Disponible en: <https://ciencia-en-red.uncachodeciencia.org/biología/Transformación%20de%20celulas%20vegetales%20obtención%20de%20plantas%20transgénicas.pdf>.
- Chaparro A., (2005). Elementos básicos para entender la tecnología transgénica. En: *Introducción a la ingeniería genética de plantas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.

- Chaparro A. y Díaz C. (2012). *Métodos de transformación genética de plantas. Revista UDCA. Actualidad y divulgación científica. Volumen 15.*
- Ciencia y Tecnología (2014). Transgénicos. Disponible en: www.muyinteresante.es/innovacion/alimentacion/.../alimentos-transgenic...
- Colciencias (2010). *Programa Nacional de biotecnología.* Bogotá D.C. Tercer mundo.
- Cortés, M. (2004). Sector agropecuario y desarrollo rural: una mirada integral (1a Ed.) Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Medellín.
- Cultek, S. (2012). Tecnología del DNA recombinante. [En línea]. Recuperado el 21 de marzo del 2017 en: <http://www.cultek.com/inf/otros/soluciones/DNArecombinante/Tecnica%20DNA%20recombinante.pdf>
- Delgado, C. (2012). *Un modelo pedagógico para la enseñanza de la producción biotecnológica de material vegetal.* Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia.
- Ebert, H., Selgrath, P., Denman, T., Smith, M., Memon, J., Monastersky, j. y Vitale, K. (1991). Transgenic production of a variant of human tissue-type plasminogen activator in goat milk: generation of transgenic goats and analysis of expression. *Biotechnology.* 9: 835-8
- Fajardo, M. (2009). Territorios de la agricultura colombiana. Cuadernos del Centro de Investigaciones sobre Dinámica Social (CIDS) No.12. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- García., M., y Lacouture, H. (2003) Implicaciones jurídicas de los alimentos transgénicos en Colombia. *Revista de Derecho,* 20,216-249.
- Gelvin, S. (2003a). *Agrobacterium*-Mediated Plant Transformation: the Biology behind the "Gene-Jockeying" Tool. *Microbiol. Molec. Biol. Rev.* (USA), 67 (1), 16-37.
- Gelvin, S. (2003b). Improving plant genetic engineering by manipulating the host. *Trends Biotechnol.,* 21 (3), 95- 98.
- Gleba, Y., Marillonnet, S. & Klimyuk, V. (2004). Engineering viral expression vectors for plants: the 'full virus' and the 'deconstructed virus' strategies. *Curr. Opin Plant.* (Holanda), 7, 182-188.

- González, J. (2010). Contaminación transgénica de cultivos y alimentos: impactos e implicaciones. *Revista Biocenosis*, 23(1), 22-42.
- Herráez, A. (2012). *Biología molecular e Ingeniería Genética*. Alcalá: Marcel.
- Herrera, L., Larqué, A. y Serratos, J. (2001). La biotecnología en el sector agrícola. En: “*Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: Retos y oportunidades*”. F. Bolívar (coord, edit) Conacyt, México, D.F. pp. 147-166.
- Hodson, E., Castaño, A. y Uscátegui, M. (2012). *Biotecnología agrícola moderna, organismos genéticamente modificados y bioseguridad*. Santafé de Bogotá, D.C. Colombia. Primera edición. Impresión: Betaimpresores.
- Hudson, E. (2011). Seguridad de los cultivos GM: análisis de riesgos y beneficios. En: *Biodiversidad, Biotecnologías y Derecho - Un crisol para la sustentabilidad*.
- Iannacone, J. (2007). Peces transgénicos ¿riesgos o beneficios? *The Biologist*, 5, 4-6.
- Iglesias, J., Villamonte, G. y González, H. (2015). Transfección de ADN a células de animales como herramientas utilizadas en biotecnología animal. *The Biologist*, 13 (1), 125-142.
- Izquierdo, M. (2001). *Ingeniería Genética y Transferencia génica*. Madrid, España. Pirámide.
- Jacobs, M. (2003). Developing the *Agrobacterium* Ti plasmidas a vector for plant genetic engineering: the 2002 Benjamin Franklin Medal in life sciences presented to Mary-Dell Chilton. *J. Franklin Institute (USA)*, 340, 213-219.
- James, C. 2010. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2010. Brief No. 42. Ithaca, Nueva York, ISAAA.
- Joensen, L., y Semino, S. (2004). *OMGs en Argentina ¿a qué precio? Estudio de Caso del Impacto de la Soja Modificada Genéticamente del Grupo de Reflexión Rural de Argentina*. Econexus y The GAIA Foundation.
- Küper, H., Ort, L., Sivaguru, M., Hoekenga, O., y Kochian, L. (2007). A method for cellular localization of gene expression via quantitative in situ hybridization in plants. *The Plant Journal*, 50, 159-175.
- Lacroix, B. et al. (2005). The VirE3 protein of *Agrobacterium* mimics a host cell function required for plant genetic transformation. *EMBO Journal*, 24, 428-437.

- Legorreta, M., Martínez, F., Hernández, F., y Zentella, A. (2012) Los Vectores virales y la transgénesis. *Vertientes Revista especializada en Ciencias de la Salud*. 15(1):5-14.
- León, E. (2012). Políticas estatales sobre tierras, tierra y desarrollo rural. En: La cuestión agraria en Colombia: tierra, desarrollo y paz. Colombia. Planeta paz.
- Loeza, P., Valdés, J., Baizabal, B., y López, J. (2004). Mecanismos de replicación de los plásmidos bacterianos. *REB*, 23(2), 71-78.
- Maliga, P. (2004). "Plastid transformation in higher plants". *Annu. Rev. Plant biol.*, 55, 289–313.
- Martínez, A. (2009). *Aplicaciones de la biotecnología en el mundo actual*. Vida rural. No. 79.
- Martínez, M., Cabrera, J. y Herrera, L. (2004). Las plantas transgénicas: una visión integral. *Ciencia y Tecnología (México)*, 2, Art 2. *e-Gnosis Revista digital*. Recuperado de <http://www.e-gnosis.udg.mx>
- Massieu, Y. (2009). Cultivos y alimentos transgénicos en México. El debate, los actores y las fuerzas sociopolíticas. *Argumentos*, 5 (6) 8-22.
- OMS (2002). 20 preguntas sobre los alimentos genéticamente modificados OGM. Disponible en: www.ecoportall.net/.../Documento_de_la_OMS_.20_preguntas_sobre_1.
- Organización de las Naciones Unidas-ONU (2010). *Biotecnología*. Disponible en: www.fao.org/biotechnology/es/.
- Organización Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2009). Evaluación de la inocuidad de los alimentos genéticamente modificado. [En línea]. Recuperado el 21 de marzo del 2017 en: <http://www.fao.org/3/a-i0110s.pdfde>
- Organización Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2009). Evaluación de la inocuidad de los alimentos genéticamente modificado. [En línea]. Recuperado el 21 de marzo del 2017 en: <http://www.fao.org/3/a-i0110s.pdfde>
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (2008). *Biotecnología moderna de los alimentos, salud y desarrollo humano: estudio basado en evidencias*. Ginebra, Suiza. Departamento de Inocuidad Alimentaria de la OMS.
- Osorio, A. (2008). *La Biotecnología*. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/biotecnologia/biotecnologia.shtml>.

- Pacheco, F. y García, J. (2014). Situación de los cultivos transgénicos en Costa Rica. *Acta Académica*, 54, 29-60.
- Rapp, R. & Wendel J. (2005). Epigenetics and plant evolution. *New Phytologist*, 168, 81-91.
- Salgado, C. (2012). Los conflictos rurales y los escenarios a futuro. En: La cuestión agraria en Colombia: tierra, desarrollo y paz. Colombia. Planeta paz.
- Schenborn, E. (2000). Transfection technologies. In: Tymms, M.J. (ed.). *Transcription Factor Protocols*. volumen 130 of *Methods in Molecular TM Biology* . pp. 91-102. Human Press
- Segundo, A., Hernández, E., López, O., y Torres, A. (2010). Los bacteriófagos como una alternativa en el tratamiento de enfermedades infecciosas Bacterianas (Fagoterapia) *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 41(3); 17-26.
- Spinosa, M. (2012) El debate jurídico y moral de los transgénicos. Centro Argentino de Estudios Internacionales (CAEI).
- Terradas, L. (2010). *Cultivos transgénicos en Uruguay. Indicadores de impactos ambientales*. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Facultad de ciencias.
- Tinjacá, C. (2012). *Biotecnología: Estado Actual y Tendencias*. Bogotá D.C., Colombia. Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación-COLCIENCIAS.
- Torres, H. (2010). *Biotecnología*. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Torti, C. (2004). Transgénicos: Situación actual, marco normativo y perspectiva. Recuperado el 07 de diciembre en: <http://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC057191.pdf>
- Vargas, C., Montoya, D., y Aristizábal, F. (2000). Clonación y expresión en *Escherichia coli* de genes de celulasas de *Clostridium IBUN 22A*. *Rev Col Biotecnol*, 4 (1):29-35.
- Vélez, G. (2008). Los cultivos y los alimentos transgénicos en Colombia. Recuperado el 03 de diciembre en: <file:///C:/Users/GABI/Downloads/OGM.Reichsmann.04.FIN.pdf>
- Zamora, L. (2011). La superficie mundial de cultivos transgénicos crece 14 millones de hectáreas en 2010. Fundación Antama.