

# **Introducción a la Biotecnología**



# **Introducción a la Biotecnología**



**Autor: Andrés M. Gatica Arias, Dr.sc.agr**

Este documento se elaboró como parte de una consultoría financiada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), bajo el marco del Proyecto No. GLF/2328-2716-4B61 “Implementación de un Marco Nacional de Bioseguridad para Costa Rica”.



Coeditores: Unidad de Organismos Genéticamente Modificados, SFE y Gerencia del Proyecto UNEP-GEF  
Diagramación: IG Innovación Gráfica  
Impresión: Masterlitho S.A.

631.52  
G258i

Gatica Arias, Andrés M.  
Introducción a la biotecnología / Andrés Arias Gatica. --  
San José, C.R. : MAG/Servicio Fitosanitario del  
Estado, 2013.  
76 p.

ISBN 978-9968-656-09-2

1. BIOTECNOLOGIA I. Costa Rica. Ministerio de  
Agricultura y Ganadería. Servicio Fitosanitario del  
Estado. II. Título.

San José, Costa Rica  
2013

## Introducción

Nicolás Salmerón, político y filósofo español del siglo XVIII, señaló que: *“Es de rigurosa justicia emancipar la enseñanza de todo extraño poder, y convertirla en una función social, sin otra ley que la libre indagación y profesión de la verdad”*.

En ese contexto, nos permitimos presentar el siguiente folleto, con el único objetivo de brindar información veraz y científica con respecto a la historia y aplicaciones de la biotecnología tradicional y la biotecnología moderna.

El documento ha sido escrito con la mayor sencillez y claridad posible, de tal manera que pueda ser entendido y asimilado por los lectores.

Esperamos que esta primera edición del folleto de Introducción a la Biotecnología, permita resolver una gran cantidad de dudas y malas concepciones que se tienen acerca de esta importante herramienta, y que así se logre despertar el interés científico de las nuevas generaciones en la solución de los problemas creados por la sociedad moderna, tales como el calentamiento global, el manejo de desechos, la producción de nuevas medicinas, el aumento de la producción y la productividad, entre otros.



## Contenido

Introducción.....	3
Contenido.....	5
Presentación.....	7
<b>Módulo 1: ¿Qué es la biotecnología?</b> .....	<b>9</b>
1.1 <i>Definiciones de biotecnología</i> .....	9
1.2 <i>La biotecnología tradicional</i> .....	9
1.3 <i>La biotecnología moderna</i> .....	12
1.4 <i>Las ómicas: genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica</i> .....	13
1.5 <i>Historia de la biotecnología</i> .....	16
1.6 <i>La biotecnología en Costa Rica</i> .....	20
<b>Módulo 2: Aplicaciones de la biotecnología</b> .....	<b>21</b>
2.1 <i>La biotecnología verde</i> .....	21
2.1.1 <i>Cultivo in vitro de células, tejidos y órganos vegetales</i> .....	26
2.1.2 <i>Biotecnología y agricultura orgánica: compostaje y lombricultura</i> .....	27
2.2 <i>La biotecnología blanca</i> .....	29
2.3 <i>La biotecnología roja</i> .....	32
2.4 <i>La biotecnología gris</i> .....	37
2.5 <i>La biotecnología azul</i> .....	40
2.6 <i>Futuro de la biotecnología moderna</i> .....	43
2.6.1 <i>Biología sintética</i> .....	43
2.6.2 <i>Nanobiotecnología</i> .....	44
<b>Módulo 3: Plantas genéticamente modificadas</b> .....	<b>45</b>
3.1 <i>¿Qué es una planta genéticamente modificada? ....</i>	45
3.2 <i>¿Cómo se hace una planta genéticamente modificada? .....</i>	46

3.2.1 Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> ..	46
3.2.2 Transformación mediada por biobalística o bombardeo de microproyectiles .....	48
3.2.3 Electroporación .....	49
3.3 <i>Principales características introducidas a las plantas genéticamente modificadas</i> .....	49
3.3.1 Plantas modificadas genéticamente con resistencia a herbicidas .....	51
3.3.2 Plantas modificadas genéticamente con resistencia a insectos .....	53
3.3.3 Plantas modificadas genéticamente con mejoras nutricionales .....	54
3.3.4 Plantas genéticamente modificadas con maduración retardada .....	55
3.4 <i>Aplicaciones futuras de las plantas genéticamente modificadas</i> .....	57
<b>Módulo 4: Regulación de la biotecnología moderna</b> ....	59
4.1 <i>¿Qué es la bioseguridad?</i> .....	59
4.2 <i>Evaluación de los organismos genéticamente modificados</i> .....	60
4.3 <i>Situación de la bioseguridad en Costa Rica</i> .....	62
Glosario .....	65
Bibliografía consultada .....	71

## Presentación

Los avances científicos y tecnológicos de la biotecnología impactan en la sociedad y es necesaria una labor permanente de educación en estas nuevas tecnologías. En este sentido, la Comisión Técnica Nacional en Bioseguridad creada en 1997 mediante la Ley de Protección Fitosanitaria (Ley N° 7664) como un órgano asesor del Servicio Fitosanitario del Estado en materia de biotecnología moderna tiene como uno de sus objetivos promover la divulgación, capacitación y entrenamiento en aspectos de bioseguridad. Entiéndase bioseguridad como el *conjunto de procedimientos y medidas que se adoptan con el fin de garantizar la seguridad humana, animal y ambiental, de las aplicaciones de la biotecnología moderna*. Ahora bien, ¿qué es biotecnología? Aunque, la biotecnología forma parte de nuestra vida cotidiana y ha sido empleada por el hombre desde hace miles de años, es un término desconocido por muchos. Por lo tanto, el presente folleto de Introducción a la Biotecnología está dirigido a los miembros de la sociedad y tiene como objetivo introducir y describir el uso y el impacto de la biotecnología.

El primer módulo de esta publicación tiene como objetivo definir el concepto de biotecnología y comprender el concepto de biotecnología tradicional y moderna presentándose algunos de los acontecimientos más importantes en la historia de la biotecnología. En el segundo módulo se describen algunos ejemplos de las aplicaciones de la biotecnología en la agricultura, ganadería, acuicultura, salud, medio ambiente e industria. En el tercer módulo se realiza una breve reseña sobre

las plantas genéticamente modificadas, se hace referencia a los métodos empleados en su creación, así como algunas de las principales características introducidas. Finalmente, en el cuarto módulo se introduce el concepto de bioseguridad, la legislación nacional y se menciona el procedimiento seguido para la evaluación de los potenciales riesgos de los organismos genéticamente modificados derivados de la biotecnología moderna y su situación en Costa Rica.

# Módulo 1: ¿Qué es la biotecnología?

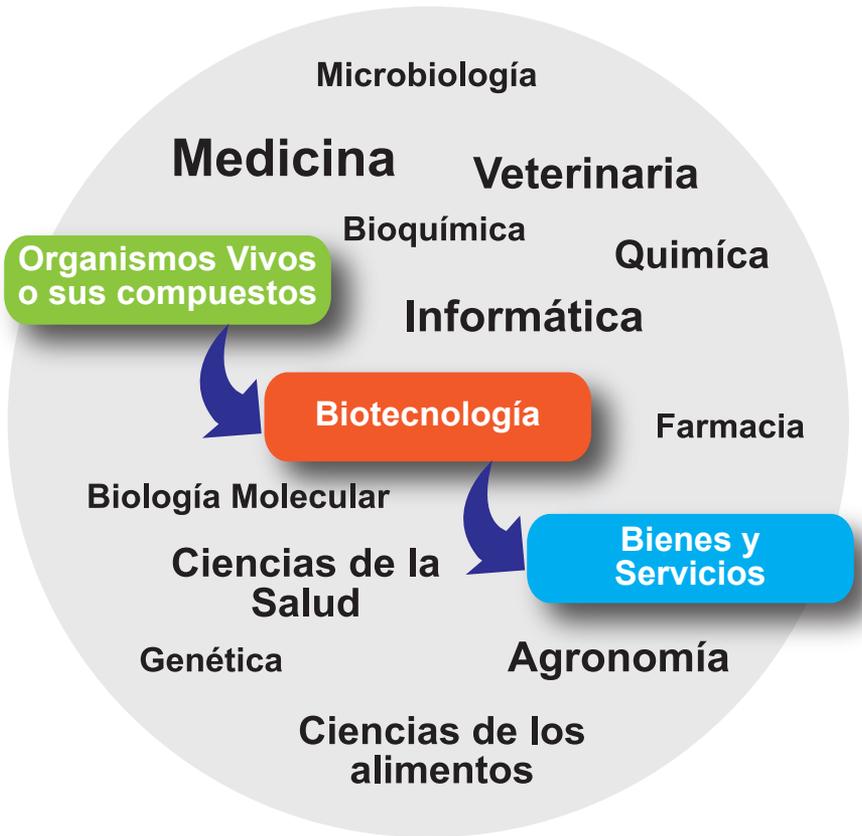
## 1.1 Definiciones de biotecnología

La biotecnología es un término común hoy día, y fue utilizado por primera vez en 1919 por el agrónomo Karl Ereky. En aquel entonces, Ereky definió la biotecnología como: “*la ciencia de los métodos que permiten la obtención de productos a partir de materia prima, mediante la intervención de organismos vivos*”. Posteriormente, a partir de la década de 1980, el término se amplió y en la actualidad es posible encontrar varias definiciones de biotecnología.

Sin embargo, en el presente texto, consideraremos la biotecnología de manera amplia, como *toda actividad que utiliza organismos vivos o sus compuestos para la obtención de productos (alimentos, vacunas, antibióticos, entre otros) o servicios (descontaminación ambiental, energías limpias, entre otros) de valor para el hombre*. La biotecnología se caracteriza por ser multidisciplinaria donde participan agrónomos, químicos, biólogos, veterinarios, médicos, abogados, ingenieros, genetistas, biólogos moleculares, entre otros. Por lo tanto, puede aplicarse a una gran cantidad de áreas como son la agricultura, la salud, la alimentación, el medio ambiente, la industrial o la producción de energía. (Figura 1).

## 1.2 La biotecnología tradicional

La biotecnología forma parte de nuestra vida cotidiana y ha sido empleada por el hombre desde hace miles de años. El



**Figura 1.** La biotecnología involucra varias disciplinas que utilizan organismos vivos o sus compuestos para la obtención de productos o servicios.

pan, el vino, el queso, el yogurt y la cerveza son productos que se obtienen mediante procesos biotecnológicos desde la antigüedad (Figura 2). En aquel entonces, el hombre no tenía conocimiento de la existencia de los microorganismos ni de los procesos que dan origen a estos productos alimenticios, sin embargo, podían utilizarlos para su beneficio. Posteriormente, en el siglo XIX Luis Pasteur demostró que estos procesos son el resultado de la actividad de bacterias y hongos. Desde entonces se incluye a los procesos de fermentación dentro

de la biotecnología tradicional. Asimismo, el mejoramiento genético convencional de cultivos y de animales domésticos se incluye dentro de la biotecnología tradicional.

Actualmente, la biotecnología tradicional tiene varias aplicaciones en la industria alimenticia, textil, farmacéutica, papelera, plástica y de los combustibles. Por ejemplo, la cerveza y el vino son bebidas que se producen con la ayuda



**Figura 2.** Biotecnología tradicional: vino, queso, yogurt, pan y cerveza son productos alimenticios que se obtienen por procesos biotecnológicos desde la antigüedad. *Fotografías tomadas de internet.*

de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Mientras que, para la producción de queso se agregan las bacterias ácidolácticas, las cuales degradan el azúcar de la leche en ácido láctico y agua. Por otro lado, en la elaboración de pan se utilizan levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*. Las levaduras fermentan los azúcares de la harina produciendo dióxido de carbono y alcohol.

Asimismo, se han utilizado microorganismos para la elaboración de biocombustibles a partir de caña de azúcar y plásticos biodegradables a partir de petróleo. Asimismo, los antibióticos son producidos por muchos microorganismos, tal es el caso de la penicilina, la cual es fabricada por un hongo.

### **1.3 La biotecnología moderna**

Los avances del siglo XX en la ciencia, específicamente en el campo de la genética, dieron origen a la biotecnología moderna, y dentro de ella a la ingeniería genética. En un sentido amplio, la ingeniería genética, comprende técnicas del ADN recombinante que permiten la manipulación del material genético, la biología molecular y la transferencia de genes entre organismos. Por lo tanto, *la biotecnología moderna se puede definir como la aplicación de la ciencia y la tecnología a la modificación de organismos vivos o sus partes para la producción de bienes y servicios.*

La biotecnología moderna brinda soluciones a problemas en el campo agrícola, de la alimentación y de la salud humana y animal. De esta manera, la producción de insulina humana, vacunas, antibióticos y medicamentos, enzimas como la quimosina, plantas y animales modificados genéticamente constituyen ejemplos de aplicaciones de la biotecnología moderna (Figura 3).



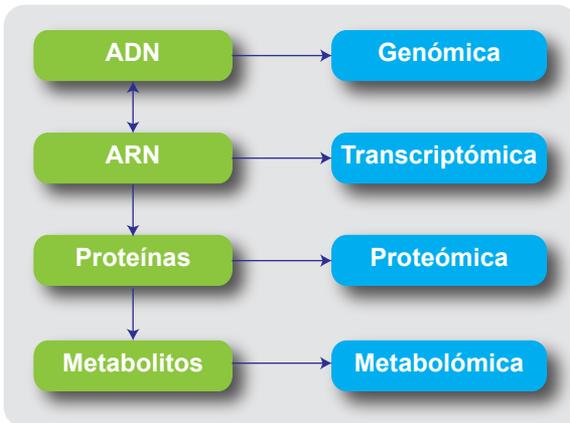
**Figura 3.** (a) Animales clonados, (b) animales modificados genéticamente, (c) Plantas modificadas genéticamente (d) medicamentos y vacunas constituyen ejemplos de aplicaciones de la biotecnología moderna. *Fotografías tomadas de internet.*

#### **1.4 Las ómicas: genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica**

El avance acelerado en los últimos años en las técnicas de secuenciación de ADN de varios organismos ha contribuido al desarrollo de nuevas disciplinas en el campo de la biotecnología, a las cuales se les ha denominado como “ómicas”.

La **genómica** es la disciplina que se encarga del estudio de los genomas y del rol que cumplen los genes en el crecimiento, desarrollo y funcionamiento de los seres vivos. La genómica incluye la secuenciación del ADN, el análisis de las secuencias para encontrar genes y su comparación con secuencias genómicas de otros organismos. Una vez el genoma de un organismo determinado ha sido secuenciado,

el paso siguiente es analizar dichas secuencias con el fin de identificar que fragmentos corresponden a los genes y cuál es su función. La enorme cantidad de información generada a través de los proyectos de secuenciación permitirá a los mejoradores de plantas descubrir nuevos genes, entender cómo funcionan los genes en una especie e identificar genes asociados con características de interés, tales como rendimiento, resistencia a la sequía, calidad de los alimentos, resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas.



Por otro lado, la **transcriptómica** es la disciplina que se encarga de estudiar y comparar el transcriptoma de una célula, tejido u organismo. El transcriptoma constituye el conjunto de transcritos o ARN mensajeros que se expresan bajo determinadas condiciones en un determinado momento del desarrollo. Así, la transcriptómica en conjunto con la tecnología de microarreglos de ADN, permite estudiar y analizar los niveles de actividad de los genes en un determinado tipo de células o bajo una determinada condición. Los microarreglos de ADN contienen miles de moléculas de

ADN unidas a un soporte de vidrio. Al agregar la muestra a analizar, las moléculas de ARN contenidas en ella y que sean complementarias a las del microarreglo, se unirán y podrán ser identificadas y cuantificadas.

La **proteómica** es la disciplina que estudia la estructura, función, localización e interacción de las proteínas dentro y entre las células. Esta disciplina se ha utilizado para analizar la respuesta de las plantas a hormonas, estímulos del ambiente, o factores de estrés biótico (bacterias, hongos, virus e insectos) y abiótico (sequia, salinidad, luz y temperatura). Así como para estudiar los cambios durante las distintas etapas de desarrollo de las plantas. Además, se han analizado por esta técnica la presencia de alérgenos en los alimentos.

Finalmente, la **metabolómica** es el estudio y comparación del conjunto de metabolitos (moléculas producidas durante el metabolismo) presentes en una célula, tejido u organismo en un momento dado. En el campo de la nutrición, la metabolómica podría correlacionar los perfiles de metabolitos de fluidos y órganos con ciertas enfermedades. Por otro lado, la metabolómica ha sido utilizada para identificar y cuantificar los distintos metabolitos presentes en diferentes tejidos vegetales.

En lo que respecta a la seguridad de los organismos genéticamente modificados, la genómica, proteómica y metabolómica permiten a los investigadores determinar la inocuidad alimentaria de estos nuevos cultivos y sus derivados.

## 1.5 Historia de la biotecnología

A continuación se presenta una cronología de algunos acontecimientos relevantes en el desarrollo de la biotecnología tradicional y moderna.

ANTIGÜEDAD	
6.000 AC-4.000 AC	Preparación de alimentos y bebidas por fermentación (pan, cerveza, vino, vinagre, yogurt y queso).
EDAD MEDIA	
1300 DC	Los aztecas cosechan algas como fuente de alimento.
1400 DC	Destilación de bebidas alcohólicas obtenidas a partir de granos fermentados.
1492 DC	Se introducen en Europa cultivos (maíz y papa) provenientes de América.
EDAD MODERNA	
1665 DC	Robert Hooke observa la estructura celular del corcho. No es sino 200 años después que se descubre que todos los organismos están compuestos por células.
1673 DC	Anton Van Leeuwenhoek descubre las bacterias y protozoos, entre otros microorganismos.
EDAD CONTEMPORÁNEA	
1797	Se publica el primer trabajo de vacunación de humanos contra la viruela.
1876	Luis Pasteur identifica la levadura como el microorganismo responsable de la fermentación alcohólica.
1881	Luis Pasteur desarrolla vacunas contra la rabia.
1884	Luis Pasteur desarrolla una vacuna contra el cólera aviario y el ántrax.
1897	Se demuestra que las enzimas de la levadura pueden transformar el azúcar en alcohol, proceso conocido como fermentación alcohólica.
1918	Se utilizan levaduras para producir glicerol.
1928	Fleming descubre la penicilina al observar que las bacterias que crecen alrededor del hongo <i>Penicillium notatum</i> mueren.

1938	Se produce el primer insecticida biológico, basado en la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> .
1953	James Watson y Francis Crick proponen un modelo para la estructura del ADN.
1959	Se obtienen plantas completas a partir de los cultivos indiferenciados de callos de zanahoria mediante técnicas de cultivo <i>in vitro</i> .
1960	Aumento en la producción de ácido cítrico, ácido láctico, acetona y butanol gracias al proceso de fermentación.
1972	Se genera la primera molécula de ADN recombinante. Paul Berg aísla y emplea una enzima para cortar el ADN y utiliza también una enzima para pegar los dos fragmentos de ADN, originando una molécula híbrida circular.
1973	Por primera vez se logran transferir ADN de un organismo a otro. Científicos logran ensamblar fragmentos de ADN viral y bacteriano cortado con la misma enzima, creando un plásmido recombinante. Luego lo introducen en la bacteria <i>Escherichia coli</i> , produciendo así el primer organismo recombinante genéticamente modificado.
1976	Se crea la primera compañía biotecnológica Genentech Inc. dedicada a la tecnología del ADN recombinante.
1977	La compañía Genentech Inc. produce en bacterias la proteína somatostatina (factor inhibitorio de la liberación de la hormona de crecimiento) mediante la tecnología del ADN recombinante.
1978	Nace el primer bebe producto de la fecundación <i>in vitro</i> .
1981	Se obtienen las primeras células vegetales modificadas genéticamente. Se producen los primeros ratones genéticamente modificados.
1982	Se comercializa la insulina humana de origen recombinante producida en células bacterianas.
1983	Se obtienen las primeras plantas de tabaco genéticamente modificadas.
1986	En EE.UU. y Europa realizan ensayos de campo con plantas genéticamente modificadas resistentes a insectos, virus y bacterias.

1990	<p>La empresa biotecnológica Calgene lleva a cabo el primer ensayo de campo con plantas de algodón genéticamente modificadas tolerantes a un herbicida.</p> <p>Asimismo, GenPharm International Inc. desarrolla la primera vaca transgénica para producir proteínas humanas en su leche.</p> <p>Se inicia el proyecto de secuenciación del genoma humano.</p>
1994	Se lanza al mercado el tomate genéticamente modificado, conocido como FlavSavr®.
1995	<p>Se completa el genoma de la bacteria <i>Haemophilus influenzae</i>.</p> <p>Se realiza el primer xenotrasplante (trasplante de un órgano o de un tejido desde un animal a otro de distinta especie). Un grupo de investigadores logra trasplantar corazones de cerdos genéticamente modificados a primates.</p>
1996	Se completa el genoma de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , la cual se emplea en la elaboración de pan, cerveza y vino.
1997	Investigadores del Instituto Roslin en Escocia obtienen la primera oveja por clonación conocida como Dolly, .
1998	Se obtienen los primeros ratones y terneros clonados.
1999	Se obtienen líneas de arroz genéticamente modificado que producen beta caroteno o pro vitamina A. conocido como arroz dorado.
2000	Se completa la secuencia del genoma de la mosca de la fruta ( <i>Drosophila melanogaster</i> ) y de una planta ( <i>Arabidopsis thaliana</i> ).
2001	Se completa el primer borrador de la secuencia del genoma humano.
2002	Se completa el genoma del arroz.
2003	Se comercializa el primer pez transgénico, GloFisch, el cual brilla en la oscuridad.
2004	Se secuencian el genoma del pollo.
2005	Se secuencian el genoma del perro y se obtienen los primeros perros clonados.

2006	<p>Científicos chinos lograron clonar un ternero genéticamente inmune a la encefalopatía espongiforme bovina o enfermedad del mal de las vacas locas.</p> <p>Se aprueba en la Unión Europea la producción de un anticoagulante en la leche de una cabra transgénica.</p>
2007	<p>Empresas estadounidenses y japonesas crean una vaca genéticamente modificada que no puede sufrir encefalopatía espongiforme bovina (mal de las vacas locas).</p> <p>Se aprueba en Europa la comercialización de un clavel azul genéticamente modificado.</p>
2008	<p>Científicos estadounidenses y rusos lograron secuenciar el genoma del mamut siberiano, a partir de muestras de pelo.</p> <p>Se crea un mono Rhesus genéticamente modificado para estudiar la enfermedad de Huntington.</p>
2009	<p>Científicos españoles obtienen células madres a partir de células de la piel.</p> <p>Se obtienen los primeros monos titis genéticamente modificados. Estos primates expresan la proteína verde fluorescente de tal manera que brillan al ser expuestos a la luz ultravioleta.</p>
2010	<p>Se crea la primera célula bacteriana sintética, <i>Mycoplasma mycoides</i> JCVI-syn1.0</p>
2011	<p>Se aprueba en Brasil el primer frijol genéticamente modificado con resistencia al virus del mosaico dorado.</p>
2012	<p>Investigadores en Nueva Zelanda crean una vaca genéticamente modificada capaz de producir leche hipoalérgica.</p> <p>Se liberan en Brasil mosquitos genéticamente modificados para combatir la epidemia del dengue.</p>
2013	<p>Un grupo de científicos estadounidenses consiguió por primera vez la transferencia nuclear en seres humanos.</p> <p>Se aprueba en Indonesia ensayos de campo con un cultivo de caña de azúcar genéticamente modificada que presenta resistencia a sequía.</p>

## 1.6 La biotecnología en Costa Rica

En el año 2004 se publicó un estudio cuyo objetivo fue analizar el estado actual de la biotecnología en Costa Rica, en el periodo de 1998 a 2002. De dicho estudio se observó que son diversas las áreas de acción de la biotecnología en las que Costa Rica ha incursionado. Se determinó que existe una



alta participación femenina (54%) en la investigación biotecnológica del país. Asimismo, se observó que la mayoría de investigadores son nacionales (87%). En cuanto a la edad, sólo un 13% de ellos tiene menos de 30 años, un 64% tienen edades comprendidas entre los 30 y los 50 años, y un 18% tiene más de 50 años.

Respecto a la cantidad de proyectos de investigación, un 42% de los investigadores está a cargo de cuatro o más proyectos de investigación. Se determinó que el área donde se ubican la mayor

proporción de investigadores es la de Bio-agro (57%), seguida por la de Bio-salud (19%) y la de procesamiento de alimentos (9%). Las otras áreas biotecnológicas a las que se dedican los investigadores se encuentran representadas en muy baja proporción: medio ambiente (5%), productos forestales (4%), bioprocesos (2%) y sólo un 1% en acuicultura.

## Módulo 2: Aplicaciones de la biotecnología

Tanto la biotecnología tradicional como la moderna tienen varios usos en la industria agrícola, alimenticia, textil, farmacéutica, papelera, plástica y de los combustibles. Actualmente la biotecnología se clasifica en cinco grupos, siguiendo una escala de color: verde, blanca, roja, gris y azul.

### 2.1 La biotecnología verde

Consiste en todas aquellas aplicaciones de la biotecnología en el campo agrícola, forestal y de la ganadería. Entre las aplicaciones de la biotecnología en el campo agrícola se encuentra el cultivo *in vitro* y la obtención de plantas resistentes a enfermedades, insectos, herbicidas, salinidad, sequía y bajas temperaturas. También se incluye la obtención de alimentos más nutritivos y frutos que resistan al transporte y almacenamiento. Asimismo, mediante ingeniería genética ha sido posible crear plantas productoras de fármacos, vacunas, antibióticos y plásticos.

En el campo de la biotecnología agrícola, el cultivo *in vitro* comprende un conjunto de técnicas que permiten cultivar células, tejidos y órganos bajo condiciones físicas y químicas controladas (Figura 4a). Mediante el cultivo *in vitro* es posible la multiplicación a gran escala de especies vegetales y forestales de interés para el hombre, la clonación de plantas y árboles con características agronómicas deseables. Asimismo, es posible obtener plantas libres de virus, producir semilla artificial, producir nuevos híbridos y conservar el

germoplasma. El cultivo *in vitro* tiene una estrecha relación con la biotecnología moderna y constituye un paso fundamental en la obtención y regeneración de plantas genéticamente modificadas.



**Figura 4.** Aplicaciones de la biotecnología en el campo agrícola: (a) cultivo *in vitro*, (b) pesticidas biológicos (<http://mycology.su/boveriya-bassiana-beauveria-bassiana.html>), (c) árboles genéticamente modificados y (d) clonación de animales (Fotokio.com). Fotografías tomadas de internet.

### **Cultivo de tejidos en Costa Rica**

En Costa Rica existen varios laboratorios de cultivo *in vitro* que se dedican a la micropropagación de especies tropicales, tales como orquídeas, anturios, cala, palma aceitera, entre otros.

Fuente: <http://www.bionovacs.com/1/post/2013/05/biotecnologa-en-costa-rica-sirviendo-al-mundo.html>

Asimismo la biotecnología contribuye al control de plagas y malezas al utilizar productos provenientes de organismos vivos. Estos pesticidas biológicos o biopesticidas se obtienen principalmente de bacterias y hongos. Un ejemplo bien conocido es la bacteria *Bacillus thuringiensis*, la cual ha sido utilizada en la agricultura orgánica para el control de insectos plaga. De igual manera, el hongo *Beauveria bassiana* ha sido empleado como pesticida biológico para el control de insectos plaga como los gusanos, las termitas, las moscas blancas, los áfidos y los escarabajos (Figura 4b).

### **Producción de biofungicidas**

La empresa costarricense

Tecnologías ambientales S.A. produce de manera comercial el biofungicida

Tricho Max a partir del microorganismo *Trichoderma asperellum*.

El biofungicida tiene acción antagónica sobre otros hongos que afectan los cultivos.

**Fuente:** Sitio en internet de la empresa Tecnologías ambientales S.A (<http://www.tecnologiasagroambientales.com/index.html>)

En el campo forestal, la biotecnología permite el mejoramiento genético de los árboles con el fin de aumentar la productividad y la calidad del producto (Figura 4c). Las nuevas características otorgadas a los árboles genéticamente modificados les confieren resistencia a factores bióticos (bacterias, hongos, virus e insectos) y abióticos (frío, sequía y salinidad), tolerancia a herbicidas y un menor contenido de lignina (componente principal de las paredes celulares responsable del engrosamiento de los tallos de los árboles).

## Árboles genéticamente modificados

Uno de los objetivos principales del mejoramiento genético de especies forestales es reducir la cantidad de lignina. Así, científicos de la Universidad de Carolina del Norte en los Estados Unidos han desarrollado árboles transgénicos hasta con la mitad de lignina que los convencionales. Asimismo, Reino Unido y Francia llevó a cabo por cuatro años el único gran experimento de campo con árboles bajos en lignina.

**Fuente:** Ruíz de Elvira. 2008. Llegan los árboles transgénicos. El País. ([http://elpais.com/diario/2008/02/06/futuro/1202252401\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2008/02/06/futuro/1202252401_850215.html))

Asimismo, se han desarrollado árboles genéticamente modificados para la eliminación biológica de compuestos tóxicos del medio ambiente. Mediante las técnicas de cultivo de tejidos es posible propagar materiales élite a gran escala, seleccionar material con resistencia y/o tolerancia a factores abióticos y bióticos.

Por otro lado, el uso de la biotecnología en la ganadería permite la creación de animales modificados genéticamente y la clonación de animales de alta productividad o en vías de extinción.

La modificación genética de animales, tales como ovejas, cabras, cerdos y vacas, tiene como objetivo aumentar la productividad y producir proteínas de importancia farmacológica para el hombre en la leche. Así por ejemplo,

*Tracy* la primera oveja genéticamente modificada producía en la leche  $\alpha$ -1-antitripsina, un fármaco para tratar la fibrosis quística, una enfermedad que afecta los pulmones. De igual manera, se han creado conejos, cabras, cerdos y vacas genéticamente modificados con el fin de producir interleukina-2,  $\alpha$ -glucosidasa, anti-trombina III, factor VIII humano, factor de coagulación IX y la hormona de crecimiento humano.

La clonación es una técnica que permite obtener individuos genéticamente idénticos al animal deseado (Figura 4d). El primer animal obtenido por clonación fue la oveja *Dolly*. En este caso, los investigadores tomaron el núcleo de una célula de la ubre de una oveja adulta y lo transfirieron a un óvulo no fecundado sin núcleo. Luego, este óvulo fue implantado en el vientre de una oveja receptora y al cabo de unos meses nació *Dolly*, la cual es genéticamente idéntica a la oveja que donó el material genético.

### Consumo de animales clonados

Tanto la Agencia para la Seguridad Alimentaria Europea (EFSA) como la Agencia de Alimentación de los Estados Unidos (FDA) aprobaron el consumo de carne y leche proveniente de animales clonados, tales como ovejas, cerdos, vacas y cabras. Ambas agencias indican que no hay ningún indicio de que estos productos supongan un riesgo para la salud.

**Fuente:** Benito, E. 2008. La UE aprueba el consumo de animales clonados. El País. ([http://elpais.com/diario/2008/01/12/sociedad/1200092410\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2008/01/12/sociedad/1200092410_850215.html))

Una aplicación avanzada de la biotecnología en la ganadería es la terapia génica, mediante la cual se busca modificar el genoma de los animales e introducir genes que cambien la conformación o la calidad de un producto, como por ejemplo la leche.

### Leche hipoalérgica

Un grupo de investigadores neozelandés del Intituto AgResearch, creó una vaca genéticamente modificada con el fin de producir leche antialérgica. Para ello, inhibieron la expresión del gen beta-lactoglobulina, el cual es responsable de producir una proteína con propiedades alergénicas presente en la leche de vaca. Daisy, como se le llamó a la vaca, elimina la proteína que suele causar reacciones alérgicas.



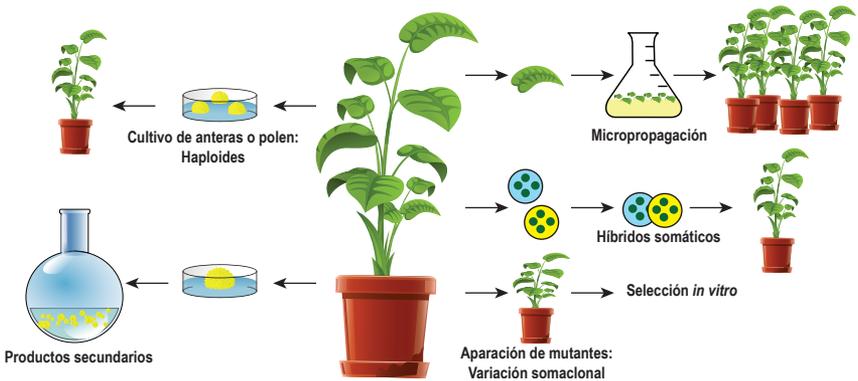
**Fuente:** Prats, J. 2012. Una vaca modificada genéticamente produce leche hipoalérgica. El País. ([http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/10/02/actualidad/1349174134\\_902151.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/10/02/actualidad/1349174134_902151.html))

### 2.1.1 Cultivo *in vitro* de células, tejidos y órganos vegetales

El cultivo *in vitro* comprende un conjunto de técnicas que permiten cultivar células, tejidos y órganos bajo condiciones asépticas en un medio de composición química definida y bajo condiciones físicas controladas.

El cultivo *in vitro* de células, tejidos y órganos tiene numerosas aplicaciones dentro de las cuales podemos mencionar: propagación clonal a gran escala de especies

hortícolas, medicinales, frutícolas, ornamentales y forestales con características agronómicas deseables, mediante el cultivo de meristemos es posible obtener plantas libres de virus, producción de semillas artificiales, conservación de germoplasma, obtención de metabolitos secundarios, producción de nuevos híbridos, polinización y fertilización *in vitro*, germinación de semillas, producción de plantas haploides y dobles haploides (Figura 5).



**Figura 5.** Algunas aplicaciones del cultivo *in vitro* de células, tejidos y órganos vegetales

### 2.1.2 Biotecnología y agricultura orgánica: compostaje y lombricultura

Las numerosas y variadas aplicaciones de la biotecnología también están disponibles para la agricultura orgánica. Dos de estas aplicaciones son el compostaje y la lombricultura. Por lo tanto, la biotecnología es un complemento de la agricultura orgánica.

El compostaje es una actividad biotecnológica en la que la materia orgánica se convierte en compost por acción de los microorganismos del suelo y sus enzimas. El compost es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos por acción de bacterias, hongos e insectos. El compostaje fomenta el reciclaje de los desechos orgánicos y reduce la contaminación.

Por otro lado, la lombricultura es una actividad biotecnológica que se basa en la cría de lombrices para producir abono. En este proceso las lombrices descomponen todo tipo de materia orgánica (excrementos de animales, residuos agrícolas y domésticos, papel, cartón y aserrín de madera) y como resultado en su excremento se obtiene lombricompost o humus de lombriz. Asimismo, se pueden cultivar las lombrices para obtener carne para consumo animal (aves y peces) y harina de lombriz. El lombricompost es un abono orgánico natural que aporta nutrientes y minerales al suelo. Asimismo, mejora las propiedades físicas del suelo, como la permeabilidad, la humedad y mejora la retención del agua.

## 2.2 La biotecnología blanca

Consiste en todas aquellas aplicaciones de la biotecnología relacionadas con los procesos industriales (Figura 6). Existen numerosos ejemplos de biotecnología blanca, como lo son:

En la industria alimenticia, las enzimas extraídas de bacterias, hongos, plantas y algunos animales tienen una gran gama de aplicaciones. Así por ejemplo, las enzimas  $\alpha$ -amilasas y las amiloglucosidasas se emplean para convertir el almidón del maíz en un jarabe de glucosa, el cual se utiliza para endulzar los alimentos y bebidas. En la elaboración de queso se emplean las enzimas quimosina, lipasa y lactasa, las cuales contribuyen a la coagulación de la caseína de la leche y confieren sabor al queso (Figura 6a). Desde hace algunos años, se le agrega a la leche la enzima lactasa con el fin de producir leche sin lactosa. En la industria del pan se emplea la lipoxidasa, una enzima que actúa como blanqueador de la harina. También se utiliza la amilasa para degradar el almidón a azúcares más sencillos, los cuales pueden ser utilizados por las levaduras en la fabricación del pan y cerveza.

En la fabricación del papel se emplean celulasas para degradar la celulosa, componente principal de la madera (Figura 6b).

En la industria textil se emplean las enzimas  $\alpha$ -amilasas, lipasas, pectinasas, celulasas, catalasas y peroxidasas para ablandar, decolorar telas y para modificar las fibras (Figura 6c). Las  $\alpha$ -amilasas bacterianas son responsables de degradar el almidón presente en las fibras. Las enzimas lipasas degradan la grasa y son usadas en la industria textil para el



**Figura 6.** Aplicaciones de la biotecnología en: (a) industria alimenticia, (b) en la producción de papel, (c) en la industria textil, (d) en la producción de biocombustibles y (e) en la industria minera. *Fotografías tomadas de internet.*

desengrasado de las fibras. Por otro lado, las pectinasas y celulasas se emplean para extraer las pectinas y celulosa, respectivamente de la pared de las fibras del algodón. Las catalasas y peroxidasas se emplean para descomponer el peróxido de hidrogeno residual utilizado en el blanqueamiento de las telas. Asimismo, se utilizan bacterias y hongos para la descomposición de los contaminantes presentes en los líquidos vertidos por la industria textil.

En la producción de biocombustibles se utilizan microorganismos y enzimas para transformar el almidón en azúcares, los cuales se convierten en etanol por fermentación (Figura 6d). La fabricación de bioetanol es un proceso similar a la fabricación de la cerveza en donde participan levaduras del género *Saccharomyces*. El bioetanol se produce principalmente a partir de caña de azúcar o maíz, sin

embargo, también se pueden utilizar los desechos agrícolas, como los desechos de la industria cafetalera o bananera.

Asimismo mediante procesos biotecnológicos es posible producir biodiesel y biogás. El biodiesel es un biocombustible que se obtiene a partir de aceites vegetales, como los de soya, colza y girasol. Por otro lado, el biogás se obtiene al descomponer la materia orgánica por acción de distintas bacterias. El biogás que se desprende de los digestores es rico en metano que puede ser empleado para generar energía eléctrica o mecánica.

En la industria minera se utilizan microorganismos para extraer metales de los minerales. En este proceso conocido como minería biológica, se emplean principalmente bacterias para extraer cobre, níquel, cobalto, zinc, entre otros (Figura 6e).

### **Producción de biodiesel en Costa Rica**

La empresa costarricense Energías Biodegradables se dedica a investigar, desarrollar, fomentar y producir el uso de diversas alternativas de energía de origen natural en el campo del transporte, la industria y la vivienda.



**Fuente:** Sitio en internet de la empresa Energías Biodegradables (<http://www.energiasbiodegradables.com/http://www.tecnologiasagroambientales.com/index.html>)

En la producción de plástico la biotecnología juega un papel importante. Así es posible utilizar bacterias para convertir el almidón en ácido láctico, el cual posteriormente mediante un proceso químico se transforma en plástico. Asimismo, se utilizan bacterias para producir plásticos biodegradables a partir de residuos agroindustriales como la melaza de la caña de azúcar. Los genes bacterianos responsables de la producción de plástico han sido identificados e introducidos mediante ingeniería genética en plantas como soya, canola, maíz, algodón, alfalfa y tabaco. Los resultados de estas investigaciones han demostrado que es posible producir plástico en plantas.

### **2.3 La biotecnología roja**

Consiste en todas aquellas aplicaciones de la biotecnología en el campo de la medicina y el diagnóstico de enfermedades en humanos y animales. En este campo la biotecnología tiene las siguientes aplicaciones: desarrollo de nuevos fármacos y vacunas, diagnóstico molecular de enfermedades, terapia genética, ingeniería celular y de tejidos y el desarrollo de nuevas formas de administración de fármacos y vacunas (Figura 7).

De la mano con la tecnología del ADN recombinante y la ingeniería genética se busca desarrollar nuevos fármacos, antibióticos y vacunas (Figura 7a y b). La primera vacuna desarrollada por técnicas de ingeniería genética fue la vacuna contra la hepatitis B. En la actualidad, se encuentran en fase de ensayos clínicos vacunas contra el agente del cólera, la malaria, el virus de la gripe, del sida, del herpes simple y



**Figura 7.** Aplicaciones de la biotecnología en el campo de la medicina: desarrollo de nuevas (a) vacunas y (b) fármacos, (c) cultivo de piel, (d) desarrollo de mosquitos modificados genéticamente para el control de enfermedades y (e) vacunas comestibles. *Fotografías tomadas de internet.*

de la rabia. Asimismo, mediante recombinación genética es posible producir en bacterias, levaduras o células humanas insulina, factores de coagulación, hormonas, anticoagulantes, anticuerpos monoclonales y antibióticos.

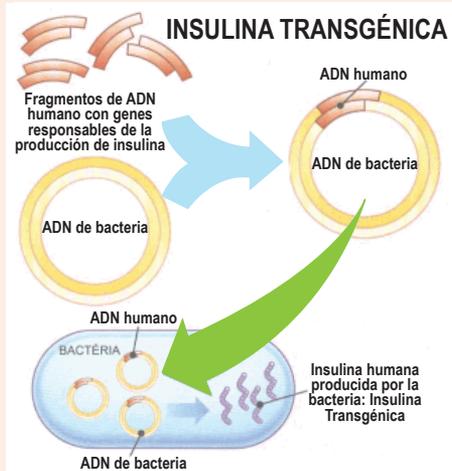
La necesidad de un diagnóstico personalizado, rápido, sensible, preciso y de bajo costo ha llevado a los científicos a desarrollar métodos de detección de enfermedades basados en marcadores moleculares, los cuales son indicadores de alguna enfermedad o patología en los seres vivos. Enfermedades como la tuberculosis y el SIDA, entre otras, son diagnosticadas mediante técnicas de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa). Esta técnica permite obtener un gran número de copias de una secuencia determinada de ADN del patógeno, lo cual permite identificar infecciones

## La insulina: producto de la biotecnología moderna

La insulina es una hormona producida y secretada por el páncreas cuya función es regular la concentración de azúcar en la sangre. La incapacidad para producir la insulina genera la enfermedad conocida como diabetes Mellitus. Las personas que padecen esta enfermedad pierden la capacidad de regular los niveles de azúcar en la sangre, por lo que se debe suministrar insulina en forma artificial.

Una de las aplicaciones más exitosas de la biotecnología moderna es la producción a gran escala de insulina humana en células bacterianas. En este caso se introdujo el gen que produce la insulina

humana en bacterias, las cuales actúan como fábricas biológicas (Figura 8). La producción de insulina humana es de vital importancia para los millones de diabéticos en el planeta. Asimismo, la producción de insulina en bacterias ha reducido grandemente el número de personas que presentan reacciones alérgicas, debido a que la insulina que se solía extraer del páncreas de los cerdos provocaba alergia en las personas diabéticas.



**Figura 8.** Producción biotecnológica de insulina humana en células bacterianas. Adaptado de <http://raqueeel02.blogspot.com/2013/05/gracias-al-avance-de-las-ciencias.html>

virales, bacterianas o fúngicas.

Mediante la terapia genética es posible modificar el material genético de las células somáticas o no reproductoras con el fin de aumentar, disminuir, sustituir o silenciar la expresión de ciertos genes responsables de alguna enfermedad o característica fisiológica no deseada. En el año 2006, un grupo de investigadores del Instituto de Investigación Biomédica de Fráncfort, lograron curar a dos pacientes adultos que padecían granulomatosis crónica ligada al cromosoma X, una grave enfermedad de inmunodeficiencia hereditaria, al sustituir el gen mutante por el gen sano que les hacía falta.

Asimismo, los avances en la ingeniería celular y de tejidos permitirán la producción de células y tejidos que sustituyan a aquellos que están degradados, o bien tejidos que han sido extirpados o que han perdido su función. En América Latina, Costa Rica está a la vanguardia en el cultivo de células de piel humana bajo condiciones *in vitro* (Figura 7c). Esta técnica permite tratar pacientes con enfermedades de la piel y quemaduras.

Asimismo, la biotecnología juega un papel importante en el control de insectos transmisores de enfermedades. Así por ejemplo, se han creado mosquitos genéticamente modificados con el fin de combatir la malaria y el dengue.

Los avances en el campo de la nanotecnología y la química, permitirán a los científicos desarrollar nuevas formas de administrar los fármacos y las vacunas por la vía nasal o intradérmica. Así por ejemplo, los fármacos se

## Mosquitos transgénicos

El dengue es una enfermedad transmitida por la picadura del mosquito hembra de *Aedes aegypti*. Un grupo de investigadores en Brasil, en colaboración con



la empresa Oxitec de Inglaterra, han liberado mosquitos machos estériles genéticamente modificados. De tal manera, que al aparearse con las hembras, no podrán producir una nueva descendencia, contribuyendo

así a reducir la población de mosquitos (Figura 7d).

**Fuente:** Baron, F. 2012. Mosquitos transgénicos para combatir la epidemia de dengue. El País. ([http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/07/19/actualidad/1342717897\\_505212.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/07/19/actualidad/1342717897_505212.html))

podrían administrar de manera controlada en respuesta a circunstancias determinadas, en la concentración adecuada y en la zona afectada. Otra opción interesante la constituyen las vacunas comestibles, las cuales podrían ingerirse con los alimentos (Figura 7e).

## 2.4 La biotecnología gris

Consiste en todas aquellas aplicaciones de la biotecnología para la conservación de la diversidad biológica y la eliminación de agentes contaminantes del medio ambiente (Figura 9). Las actividades humanas y el desarrollo de la industria traen consigo la acumulación de sustancias tóxicas y desechos no biodegradables. En respuesta a esta situación se buscan soluciones que minimicen el impacto negativo sobre el ambiente.



**Figura 9.** Aplicaciones de la biotecnología ambiental: (a) organismos vivos como indicadores de la contaminación ambiental, empleo de (b) plantas y (c) microorganismos para la degradación de compuestos tóxicos en sustancias inocuas o menos tóxicas para el medio ambiente . *Fotografías tomadas de internet.*

Así, la biotecnología ofrece herramientas que permiten detectar compuestos tóxicos y descontaminar el ambiente empleando microorganismos y plantas. Una de las aplicaciones de la biotecnología consiste en emplear organismos vivos como indicadores biológicos, con el fin de evaluar el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente (Figura 9a). En estos ensayos se observa el efecto de un compuesto tóxico sobre el crecimiento y la diversidad de dichos organismos. La sensibilidad de ciertos organismos vivos, tales como bacterias, microalgas, insectos acuáticos, cangrejos y peces,

a los cambios ambientales los convierte en el indicador ideal para el monitoreo de sustancias tóxicas.

Otra de las aplicaciones de la biotecnología ambiental consiste en la utilización de microorganismos, plantas o árboles, o sus derivados, para la degradación de compuestos tóxicos en sustancias inocuas o menos tóxicas para el medio ambiente.

Algunas especies de plantas y árboles tienen la capacidad de absorber, acumular y degradar compuestos tóxicos como metales pesados, compuestos orgánicos o radioactivos en compuestos menos tóxicos o inocuos para el medio ambiente (Figura 9b). Las especies vegetales capaces de llevar a cabo estos procesos no son raras sino más bien conocidas. Así, el girasol es capaz de absorber uranio depositado en el suelo. Mientras que, los álamos pueden absorber níquel, cadmio y zinc. Recientemente, los avances en la ingeniería genética han permitido la creación de plantas modificadas genéticamente, las cuales son capaces de degradar metales pesados y herbicidas presentes en el suelo.

La remediación biológica aprovecha la capacidad de los microorganismos para metabolizar compuestos orgánicos tóxicos y convertirlos en sustancias inocuas o menos tóxicas para el medio ambiente (Figura 9c). De esta manera, existen bacterias y hongos capaces de degradar metales pesados, detergentes, herbicidas e hidrocarburos, tales como el petróleo y sus derivados. O por el contrario, los microorganismos se han modificado genéticamente de tal manera que puedan degradar explosivos, hidrocarburos, compuestos radioactivos o compuestos ricos en metales pesados o cloro.

Por último, la remediación enzimática emplea enzimas, las cuales son capaces de degradar compuestos altamente tóxicos en lugares en donde los microorganismos no pueden sobrevivir debido a la alta toxicidad de los contaminantes. Por ejemplo, se utiliza la enzima peroxidasa para degradar fenoles y aminas aromáticas presentes en aguas residuales.

### La biotecnología gris en Costa Rica

En Costa Rica existen varias empresas que brindan soluciones para minimizar el impacto negativo sobre el ambiente de las actividades industriales. Estas compañías hacen uso de la biotecnología para conservar la diversidad biológica y eliminar agentes contaminantes del medio ambiente.



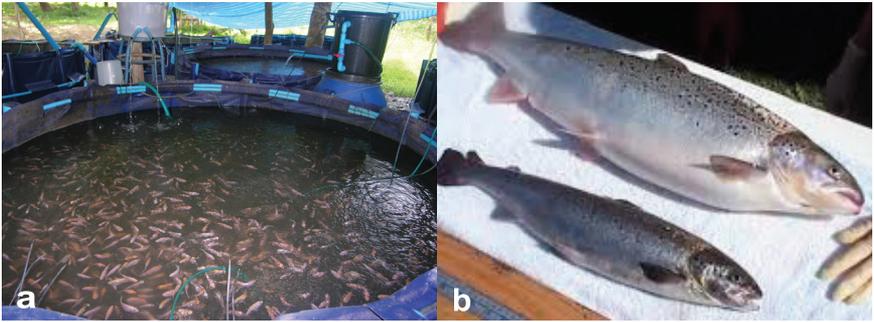
Así, por ejemplo la empresa costarricense Bioproyectos Costa Rica S.A. ofrece productos biológicos para tratamiento de aguas y biorremediación de suelos. Mientras que, la empresa 360 Soluciones Verdes busca darle alternativas eficientes y sencillas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, los cuales pueden ser convertidos en compost.



**Fuente:** Sitio en internet de la empresa Bioproyectos Costa Rica S.A. (<http://www.bioproyectos.cr/index.html>) y 360 Soluciones verdes (<http://360solucionesverdes.com/quienes/perfil/>)

## 2.5 La biotecnología azul

La biotecnología marina es una disciplina emergente, que tiene como objetivo emplear los recursos de agua dulce o marinos o sus derivados para la generación de productos y aplicaciones de interés para el hombre (Figura 10). En los



**Figura 10.** Aplicaciones de la biotecnología marina: (a) producción de peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en estanques y (b) modificación genética de especies acuáticas como salmones, truchas y tilapias con el fin de aumentar la productividad, la tolerancia al frío y resistencia a enfermedades. *Fotografías tomadas de internet.*

océanos es posible encontrar la mayor biodiversidad del planeta, pues representan alrededor el 70% de la superficie de la Tierra. Es por ello, que los científicos han buscado en ellos nuevos compuestos que sean útiles para la industria y la conservación del medio ambiente. Los recursos marinos representan una fuente potencial para el desarrollo de nuevos medicamentos, alimentos, cosméticos, biomateriales y fuentes de energía no contaminantes. Así por ejemplo, los primeros medicamentos con actividad antiviral fueron aislados de la esponja marina *Tethya crypta*.

Asimismo, la biotecnología marina incluye la producción de

peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en estanques (Figura 10a). La acuicultura es una práctica antigua y se cree que tuvo sus inicios en China y la Mesopotamia hace aproximadamente 3500-4000 años.

Por otro lado, los avances en técnicas moleculares y pruebas basadas en ADN permiten detectar el sexo en varias especies de peces, así como las secuencias específicas de ADN de ciertos patógenos (bacterias, hongos y virus) que afectan a los organismos acuáticos. Además, se han desarrollado técnicas que permiten controlar el sexo de algunas especies de peces y crustáceos, con el fin de explotar las mejores características productivas de un determinado sexo.

Asimismo, los avances en ingeniería genética han permitido la modificación genética de especies acuáticas (Figura 10b). Es así como se han creado peces (salmones, truchas y tilapias) modificados genéticamente con el fin de aumentar la productividad, la tolerancia al frío y resistencia a enfermedades. Sin embargo, es importante mencionar que aún ninguno de estos organismos se encuentra en etapa de comercialización.

## Salmón transgénico

En 1989 la empresa estadounidense Aquabounty desarrollo por ingeniería genética un salmón transgénico, el cual crece mucho más rápido que su pariente convencional. Tras 23 años de investigación, la Agencia de Alimentación de los Estados Unidos de América (FDA) concluyó que esta especie, no afecta al medio ambiente. Asimismo, ya para el año 2010, la FDA dictaminó que el consumo del salmón transgénico es tan seguro como el salmón atlántico convencional.



En cuanto al riesgo ambiental y riesgo de escape, la FDA consideró que el riesgo es extremadamente remoto pues solamente se crían hembras estériles y en caso de darse un escape de las granjas de producción, no podrían sobrevivir en aguas cálidas. Este salmón transgénico es cultivado en estanques en Canadá y en Panamá.



**Fuente:** Méndez, R. 2012. El salmón transgénico, a punto de ver la luz después de 23 años de exámenes. El País. ([http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/12/23/actualidad/1356296285\\_788761.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/12/23/actualidad/1356296285_788761.html)). Fotografías: AquaBounty's AquaAdvantage®

## **2.6 Futuro de la biotecnología moderna**

### **2.6.1 Biología sintética**

La biología sintética es una disciplina cuyo objetivo principal es la creación de moléculas biológicas u organismos que no se encuentran en la naturaleza o bien rediseñar los organismos que ya existen. El primer paso en el diseño de organismos artificiales consiste en el conocimiento de las secuencias de ADN y de los genes que hacen posible la vida. Posteriormente, con ayuda de la ingeniería genética se diseñan nuevas moléculas de ADN y se introducen en los microorganismos. Así, la primera bacteria sintética fue creada en el año 2010 por un grupo de investigadores del Instituto J. Craig Venter de los Estados Unidos. Estos investigadores sintetizaron químicamente el genoma de la bacteria *Mycoplasma mycoides*, dando origen a la especie sintética *M. mycoides* JCVI-syn1.0, la cual es idéntica a la bacteria original.

Uno de los campos más favorecidos con el desarrollo de la biología sintética será el de la medicina. La biología sintética permitirá el desarrollo de nuevos fármacos personalizados, la terapia génica, la reparación y regeneración de tejidos. Asimismo, en el campo de la biorremediación será posible diseñar bacterias y hongos artificiales capaces de eliminar compuestos tóxicos, descontaminar el medio ambiente y extraer minerales y metales de interés para la industria. También, la biología sintética permitirá rediseñar las bacterias para la producción de nuevos materiales y nuevas formas de combustibles biológicos. Para ello, se está trabajando

en la obtención de hidrógeno o etanol, en la transformación de energía solar en hidrógeno o la conversión eficiente de residuos en energía a partir de microorganismos sintéticos.

### **2.6.2 Nanobiotecnología**

Otro de los adelantos con un gran impacto en la aplicación de la biotecnología, es la nanotecnología que se define como *“el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala”*, lo que también ha permitido acuñar el concepto de Nanociencia.

La nanobiotecnología tiene muchísimas aplicaciones en Nanomedicina. Una de las aplicaciones más prometedoras sería la habilidad de programar nanorobots o nanobot (máquinas o robots cuyos componentes están o son cercanos a escala nanométrica), para buscar y destruir las células responsables de la formación del cáncer. Los nanobots de la nanomedicina podrían producirse con la función de reestructurar o reparar tejidos musculosos u óseos. Las fracturas podrían ser cosa del pasado, los nanobots podrían programarse para identificar fisuras en los huesos y arreglar éstos de dos formas; realizando algún proceso para acelerar la recuperación del hueso roto o fundiéndose con el hueso roto o inclusive las dos, y así con infinidad de enfermedades de varios tipos disolviendo sustancias de múltiples variedades según, en sangre o en la zona a tratar específicamente, inyectando pequeñas cantidades de antibióticos o antisépticos en caso de resfriados o inflamaciones, entre otros.

## **Módulo 3: Plantas genéticamente modificadas**

Este módulo trata sobre los organismos genéticamente modificados, haciendo hincapié en las plantas genéticamente modificadas. Aunque a nivel mundial se han desarrollado animales genéticamente modificados, en Costa Rica a la fecha solamente se ha autorizado la liberación al medio ambiente de cultivos genéticamente modificados.

### ***3.1 ¿Qué es una planta genéticamente modificada?***

La modificación genética por biotecnología moderna se puede definir como la introducción de uno o más genes de diferente origen (virus, bacterias, plantas y/o animal) en un genoma receptor. Por lo tanto, las plantas genéticamente modificadas son aquellos organismos a los que se les ha introducido mediante ingeniería genética secuencias de ADN correspondientes a uno o más genes. Actualmente, dentro de esta categoría se incluyen a las plantas obtenidas por transgénesis y las obtenidas por cisgénesis. Tradicionalmente se habla de plantas transgénicas para referirse a aquellas plantas a las cuales se les ha introducido uno o varios genes (transgénos) provenientes de un organismo diferente no emparentado. Mientras que las plantas cisgénicas, también denominadas intragénicas, son todas aquellas a las que se les ha modificado un gen (cisgene) proveniente de la misma planta o un pariente cercano.

En la actualidad, la biotecnología moderna es un complemento a las prácticas de mejoramiento genético convencional. La

biotecnología moderna es una herramienta segura y eficiente que elimina gran parte del azar presente en el mejoramiento genético convencional. Asimismo, la biotecnología moderna permite acelerar los programas de mejoramiento genético, al permitirles a los mejoradores introducir solamente los genes deseados en un cultivo. Además, los genes que se van a introducir en las plantas pueden provenir de cualquier especie, emparentada o no, superando así las barreras de transferencia de genes entre especies e inclusive entre reinos.

### **3.2 ¿Cómo se hace una planta genéticamente modificada?**

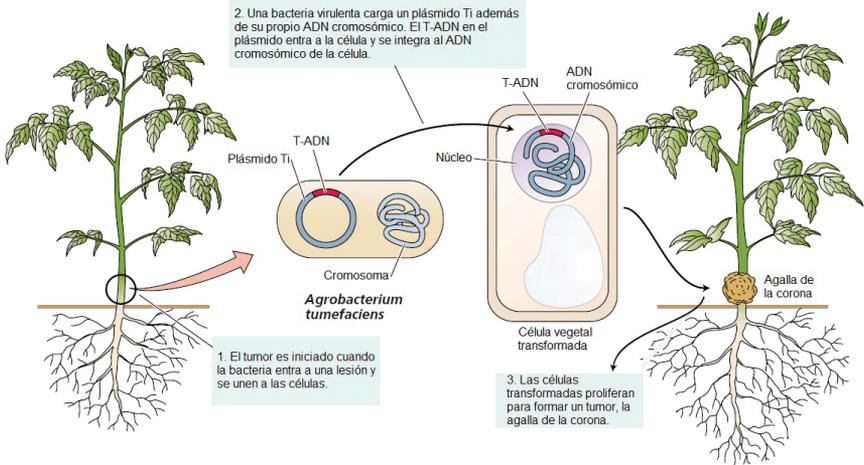
La creación de plantas genéticamente modificadas ha sido llevada a cabo siguiendo uno de los siguientes métodos:

- ✓ Transferencia indirecta de ADN utilizando un vector como *Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*, *A. rubi* o *Rhizobium*.
- ✓ Transferencia directa del ADN mediante biobalística o bombardeo de microproyectiles y la electroporación.

#### **3.2.1 Transformación mediada por *Agrobacterium***

Uno de los métodos más utilizados para la modificación genética de plantas es mediado por la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens* (Figura 11). Esta bacteria posee la capacidad de transferir un segmento del ADN del plásmido Ti (inductor de tumor), el cual se conoce como ADN-T, a las células vegetales donde se integra y provoca la enfermedad que se conoce como “agalla de la corona”. El ADN-T contiene genes bacterianos responsables de la síntesis de hormonas

vegetales, principalmente citosinas y auxinas, que causan la división celular y la formación de agallas. También posee genes que participan en la síntesis de opinas, compuestos que son secretados y utilizados como fuente de nutrientes para la bacteria.



**Figura 11.** Sistema de modificación de plantas genéticamente modificadas mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. Tomado de <http://fisiolvegetal.blogspot.com/2012/11/agrobacterium-tumefaciens-como-vector.html>

La capacidad natural de *Agrobacterium* para transferir genes a la célula vegetal ha sido utilizada para crear por ingeniería genética plantas genéticamente modificadas. Así, los genes responsables de la formación de agallas y síntesis de opinas pueden ser reemplazados por algún gene de interés y un gene de selección (gen que confiere resistencia a algún antibiótico o herbicida). La modificación genética mediada por *Agrobacterium* inicia con el contacto entre la bacteria que porta el gene de interés en su plásmido y las células vegetales. Posteriormente, el ADN-T es transferido desde la célula bacteriana al núcleo de la célula vegetal donde se integra. Luego de la transformación, las células

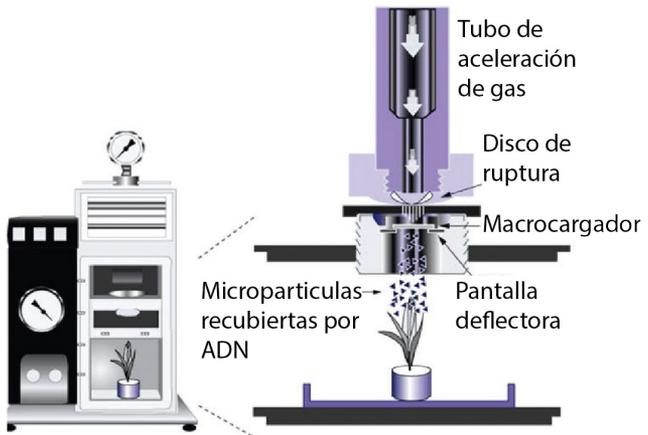
vegetales son cultivadas bajo condiciones *in vitro* en un medio complementado con un agente selección (antibióticos o herbicidas). De tal manera, que solamente las células genéticamente modificadas poseen la capacidad de crecer en la presencia del agente de selección y regenerar una planta entera.

### 3.2.2 Transformación mediada por biobalística o bombardeo de microproyectiles

Mediante este método, micro partículas de oro o tungsteno recubiertas con el ADN de interés son aceleradas a grandes velocidades hacia las células vegetales (Figura 12). Estos microproyectiles atraviesan la pared celular y son depositadas en el núcleo,

en donde se integran de forma estable en el genoma de la célula vegetal. Este sistema de transformación es considerado

un mecanismo universal, ya que permite introducir ADN



**Figura 12.** Sistema de modificación de plantas genéticamente modificadas mediado por biobalística. Tomado de: [http://temasbiologiamolecular.blogspot.com/2012/06/aplicaciones-de-la-biologia-molecular\\_11.html](http://temasbiologiamolecular.blogspot.com/2012/06/aplicaciones-de-la-biologia-molecular_11.html)

en cualquier tipo de célula o tejido. Así, ha sido utilizado para introducir y expresar genes de interés en bacterias,

protozoarios, algas, hongos, plantas y animales.

### **3.2.3 Electroporación**

Esta técnica utiliza pulsos eléctricos con el fin de alterar de manera temporal la membrana de los protoplastos, los cuales son células vegetales desprovistas de pared celular. El choque eléctrico favorece la formación de poros, lo que permite la penetración de los genes el interior de la célula en donde posteriormente se integran en el genoma vegetal.

### ***3.3 Principales características introducidas a las plantas genéticamente modificadas***

En el año 2012 se cultivaron un total de 170.3 millones de hectáreas de plantas genéticamente modificadas en 28 países. Así, los Estados Unidos de América (40.8%), Brasil (21.5%), Argentina (14.0%), Canadá (6.8%), India (6.3%) y China (2.3%) representan los países con mayor área cultivada de plantas genéticamente modificadas. Mientras que, en Costa Rica solamente se cultivaron menos de 0.05 millones de hectáreas principalmente con soya y algodón.

Aunque se han creado muchas plantas genéticamente modificadas, en la actualidad solamente se comercializa soya, maíz, algodón y canola. Dichas plantas presentan principalmente resistencia a herbicidas, resistencia a insectos o una combinación de ambas características. Los cultivos genéticamente modificados se cultivan tanto en países industrializados, como en países con economías en transición o en desarrollo.

**Cuadro 1.** Cultivos genéticamente modificados en el mercado internacional. Tomado de Clive James, 2012.

Cultivo	Países	Características introducidas
Soya	Argentina, Canadá, Sudáfrica, Estados Unidos, Brasil, México, Paraguay, Chile, Sudáfrica, Costa Rica	Resistencia a insectos
Maíz	Argentina, Canadá, Sudáfrica, Estados Unidos, España, Chile, Honduras, Portugal, Rumania, Uruguay, Eslovaquia, República Checa.	
Algodón	Estados Unidos, Brasil, Canadá, Australia, México, Argentina, China, Sudáfrica, India, Colombia, Paraguay, Sudáfrica, Uruguay, Australia y Costa Rica	Resistencia a insectos/ Tolerancia a herbicidas
Canola	Canadá, Estados Unidos, Australia y Chile	

Asimismo, mediante la modificación genética se han creado plantas resistentes a enfermedades, plagas, sequías y alta salinidad. También se busca mejorar la productividad y calidad nutricional de los cultivos, al eliminar sustancias tóxicas o alergénicas. De igual manera, se busca aumentar la producción de compuestos benéficos, tales como vitaminas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, carotenoides, flavonoides, etc.

### 3.3.1 Plantas modificadas genéticamente con resistencia a herbicidas

Uno de los mayores retos en la agricultura es el control de las malezas, las cuales podemos definir como todas aquellas plantas que crecen en un lugar no deseado por el hombre y que disminuyen el rendimiento de un determinado cultivo. Para el control de las malezas se recurre a prácticas culturales, biológicas y químicas. Otro método de control consiste en la creación de plantas con resistencia a herbicidas mediante la inserción de genes en el genoma vegetal. El primer cultivo genéticamente modificado con resistencia al herbicida glifosato fue la soya

#### Soya con tolerancia al herbicida glifosato

En el año 1996 se aprobó el cultivo de la soya 40-3-2 en la Argentina para su siembra, consumo y comercialización.



En la soya 40-3-2 la tolerancia al herbicida glifosato se origina por introducción del gen de la enzima 3-enolpiruvil-shiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS), proveniente de la cepa CP4 de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*.

La enzima EPSPS producida por esta bacteria es tolerante al herbicida glifosato. Por lo tanto, la aplicación del herbicida en plantas de soya que llevan este gen no afecta la síntesis de aminoácidos aromáticos y por lo tanto tampoco el crecimiento de la planta.

**Fuente:** ArgenBio (<http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5>).

Fotografía: Martin Wall

Roundup Ready®. El ingrediente activo del herbicida glifosato es un inhibidor competitivo de la enzima EPSPS (5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa), la cual participa en la síntesis de aminoácidos aromáticos, como fenilalanina, tirosina y triptófano. En las plantas genéticamente modificadas se introdujo el gen *epsps* de la cepa CP4 de *Agrobacterium tumefaciens*, el cual produce una versión de la enzima EPSPS, la cual no es afectada por el glifosato.

Por otra parte, con el fin de conferir resistencia al herbicida glufosinato de amonio se modificó genéticamente el genoma vegetal con el gen *bar* de la cepa *Tu494* de *Streptomyces hygroscopicus*. El glufosinato de amonio es un inhibidor de la enzima glutamina sintetasa, la cual es importante en la asimilación del amonio en las plantas. En las plantas tratadas con este herbicida se observa una rápida acumulación de amonio, una reducción de la fotosíntesis y una disminución en la síntesis de proteínas, lo cual conlleva a la muerte de la planta. Así, con el fin de conferir resistencia al glufosinato de amonio se modificó genéticamente el genoma del maíz con el gen *bar*, el cual codifica para la enzima fosfinotricin-acetil transferasa. Esta enzima es responsable de modificar el glufosinato, de tal manera que impide la unión del herbicida a la enzima glutamina sintetasa.

### 3.3.2 Plantas modificadas genéticamente con resistencia a insectos

La bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, conocida como Bt, ha sido utilizada como insecticida biológico en la agricultura orgánica por más de medio siglo. Esta bacteria produce proteínas en forma de cristales durante la formación de esporas. Estas

#### Maíz con resistencia a insectos lepidópteros

En el año 2001 se aprobó el cultivo de maíz Bt11 en la Argentina para su siembra, consumo y comercialización.



La resistencia se obtuvo al introducir del gen *cry1A* de la bacteria *Bacillus thuringiensis* en el genoma del maíz para la síntesis de la  $\delta$ -endotoxinas que impide el desarrollo de las larvas de insectos lepidópteros.

Fuente: ArgenBio (<http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5>)

proteínas, llamadas  $\delta$ -endotoxinas o proteínas *Cry*, son específicamente tóxicas para varios órdenes de insectos, que incluyen polillas, mariposas, moscas, mosquitos, gusanos y escarabajos. Una vez la larva ingiere los cristales, las  $\delta$ -endotoxinas se unen a las células del epitelio intestinal de las larvas, de tal manera que el insecto no se puede alimentar y muere a los pocos días. Las

proteínas *Cry* son altamente específicas para un determinado grupo de insectos, por lo que no resultan tóxicas para los seres humanos, los mamíferos e insectos no plaga o insectos

benéficos. En 1986, se modificó genéticamente por primera vez plantas de tabaco con un gen de Bt. En la actualidad, los genes Bt se han introducido y expresado en numerosas especies forestales (eucalipto), cereales (maíz y trigo), leguminosas (soya), hortícolas (papa, tomate, repollo y papa) y frutales (manzana).

### **3.3.3 Plantas modificadas genéticamente con mejoras nutricionales**

Otro producto de la biotecnología moderna lo constituye el arroz dorado (Figura 13). Este desarrollo biotecnológico busca resolver la deficiencia de vitamina A, la cual es la principal causa de ceguera en niños, sobre todo en poblaciones cuyo principal alimento es el arroz, como ocurre en muchos países de Asia. Según informa la OMS (Organización Mundial de la Salud), cada año medio millón de niños en el mundo se quedan ciegos por la carencia de la vitamina A. Una de las maneras de



**Figura 13.** Comparación del arroz dorado y el arroz convencional. *Fotografía tomada de internet.*

evitar la deficiencia en vitamina A es mediante el consumo de alimentos ricos en nutrientes. El arroz es la principal fuente de carbohidratos y proteínas para millones de personas en el mundo, sin embargo carece de micronutrientes particularmente hierro, zinc y vitamina A. Una manera de compensar la

deficiencia de micronutrientes es la modificación de los alimentos mediante mejoramiento convencional o técnicas de

ingeniería genética. Las moléculas que originan la vitamina A o beta-carotenos se encuentran en alimentos como la zanahoria y el tomate pero no en el arroz. Al no existir variedades silvestres de arroz que produzcan y acumulen beta-carotenos en el grano y que puedan utilizarse en el mejoramiento genético convencional, la alternativa es la introducción por ingeniería genética de los genes responsables para la síntesis y acumulación de estos compuestos en los granos de arroz. Es así como se introdujeron dos genes, fitoeno sintetasa y fitoeno desaturasa en el genoma del arroz. La presencia de beta-carotenos le confiere un color dorado a los granos de arroz modificados genéticamente. Aunque este producto biotecnológico aún no se encuentra disponible comercialmente, representa una solución a la deficiencia de vitamina A para aquellas personas cuyo principal alimento es el arroz.

### **3.3.4 Plantas genéticamente modificadas con maduración retardada**

El tomate Flavr Savr fue el primer cultivo genéticamente modificado con maduración retardada desarrollado y comercializado por la compañía biotecnológica Calgene en 1994. En este caso, mediante ingeniería genética fue posible inhibir la expresión de la enzima poligalacturonasa, la cual es responsable de la degradación y ablandamiento de las paredes celulares de los frutos. Al inactivarse la enzima, los tomates pueden colectarse maduros y comercializarse directamente sin pasar por un proceso de maduración artificial. En la actualidad, el tomate Flavr Savr™ no se encuentra disponible

comercialmente. Experimentalmente se han producido bananos con maduración retardada, lo que favorecería su colocación en mercados lejanos como China, evitando que lleguen maduros a su lugar de destino. Asimismo, esta modificación podría utilizarse para la exportación de frutas frescas tropicales, donde probablemente tendrían un precio alto.

### **Tomate con maduración retardada línea 1345-4**

En el año 1998 se aprobó la importación en México del tomate con maduración retardada desarrollado por la compañía DNA Technology Co. para uso directo como alimento humano o animal o para procesamiento.

La línea 1345-4 de tomate con maduración retardada se obtuvo al introducir en el genoma del cultivar 91103- 1 1 4 de tomate el gen ACC sintetasa que produce la enzima 1 amino ciclopropano 1 ácido carboxílico, la cual es una precursor de la síntesis de etileno. El etileno desempeña un papel importante en la maduración de los frutos. Mediante ingeniería genética es posible inhibir la síntesis de etileno bloqueando la maduración de los frutos.



Sin embargo, cabe mencionar que el uso está limitado a consumo directo como alimento humano o animal o para el procesamiento y el OVM no está destinado para su liberación intencional en el ambiente.

**Fuente:** Biosafety Clearing-House (<http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5>)

### ***3.4 Aplicaciones futuras de las plantas genéticamente modificadas***

En un futuro cercano, será posible contar con cultivos genéticamente modificados que ofrezcan beneficios para los consumidores. Algunos ejemplos son: maíz con mayor contenido de almidón y aminoácidos; café descafeinado; avena, centeno y cebada con menor contenido de gluten, el cual al ser ingerido provoca en determinadas personas la enfermedad celíaca; tomate con mayor contenido de compuestos antioxidantes como el licopeno; soya y canola con mayor proporción de ácidos grasos sanos y papas con mayor contenido de almidón.

Asimismo, existen investigaciones en maíz, tabaco, banano y papa con el fin de utilizar estos cultivos como fábricas biológicas para la producción de fármacos, vacunas y plásticos. De igual manera, se llevan a cabo investigaciones para retrasar la maduración en cultivos como el tomate, las fresas, los melones, los bananos y la piña. También, se han llevado a cabo investigaciones con el fin de retrasar o impedir la oxidación de las manzanas, peras, bananos y la papa.

## Soya con alto contenido de ácido oleico

En países como Australia, Canadá, Estados Unidos de América y Japón se autorizó la liberación al ambiente y el consumo humano de las líneas de soya G94-1, G94-19 y G168 desarrolladas por las compañías Pioneer Hi-Bred International Inc. y DuPont.

Las líneas de soya fueron modificadas genéticamente con el fin de incrementar el contenido de ácido oleico, un ácido graso insaturado. Estas líneas poseen una segunda copia del gen ácido desaturasa

(fad2), el cual está presente de manera natural en la soya. El gen fad2 codifica para la enzima delta-12-desaturasa, la cual participa en la síntesis de ácidos grasos. La expresión del gen fad2 inhibe la síntesis del gen endógeno omega-6 desaturasa, lo cual incrementa la síntesis de ácido oleico.



**Fuente:** Biosafety Clearing-House (<http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivos&opt=5>)

## Módulo 4: Regulación de la biotecnología moderna

### 4.1 ¿Qué es la bioseguridad?

Con el avance de la ingeniería genética, en muchos países se decidió reglamentar la utilización de los productos de la biotecnología moderna, principalmente los organismos genéticamente modificados, en lo concerniente a su relación con la seguridad. Así, la bioseguridad se puede definir como *el conjunto de procedimientos y medidas que se adoptan con el fin de garantizar la seguridad humana, animal y ambiental, de las aplicaciones de la biotecnología moderna.*

En el marco del Convenio sobre la Biodiversidad Biológica de 1993 y el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología (PCSB) del 2003 se estipula el compromiso de la comunidad internacional para asegurar la transferencia, manipulación y uso seguro de los organismos genéticamente modificados, en la esfera del movimiento transfronterizo de éstos. Al respecto, Costa Rica ratificó el Protocolo de Cartagena en el 2006 mediante la Ley N° 8537, lo cual convierte a dicho Protocolo de acatamiento obligatorio.

Para el adecuado funcionamiento del PCSB se establecieron una serie de mecanismos que permiten evaluar, controlar y mitigar el riesgo de los organismos genéticamente modificados. Asimismo, se introdujo el concepto de Principio de Precaución, el cual consiste en la adopción de medidas eficaces por parte de los países para impedir la degradación

del medio ambiente ante el potencial peligro de un daño grave o irreversible. En Costa Rica, hay varias leyes que regulan las actividades de los organismos vivos modificados en diferentes áreas, tal y como se aprecia en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Evolución cronológica de la bioseguridad en Costa Rica

Año	
1991	Se presenta la primera solicitud para la reproducción de semilla de soja genéticamente modificada en Costa Rica.
1997	Se aprueba la Ley de Protección Fitosanitaria No. 7664
1998	Se aprueba el Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria
2005	Se aprueba la Ley de Biodiversidad No. 7788 Se aprueba el Reglamento en Auditorias en Bioseguridad Agrícola
2006	Se ratifica el Protocolo de Cartagena convirtiéndose en la Ley Nacional No. 8537 Se aprueba la Ley del Servicio Nacional de Salud Animal No. 8485
2007	Se aprueba la Ley de desarrollo, promoción y fomento de la actividad agropecuaria orgánica No. 8591

#### **4.2 Evaluación de los organismos genéticamente modificados**

La evaluación de la seguridad de los organismos genéticamente modificados sigue un proceso conocido como “análisis del riesgo”, el cual se basa en criterios científicos internacionales. El termino riesgo hace referencia

a la magnitud y la probabilidad de ocurrencia de los efectos dañinos de un proceso o tecnología. Ello significa que un proceso o tecnología es más o menos peligrosa según la envergadura y la frecuencia del daño que puedan causar.

El análisis del riesgo se lleva “caso por caso” y “paso a paso” y permite identificar un potencial peligro, valorar el riesgo inherente y adoptar medidas para eliminar o controlar el riesgo detectado. Para la evaluación del riesgo se debe de tomar en cuenta los genes introducidos, las características de la proteína nueva, así como en que órganos de la planta se produce la nueva proteína y cuál es su estabilidad.

En Costa Rica, el desarrollo de actividades con organismos vivos modificados requiere que se solicite a la autoridad competente una autorización previa. En esta solicitud se deberá especificar datos sobre el organismo vivo modificado, los resultados de la evaluación y gestión del riesgo y las medidas que deben adoptarse para prevenir, mitigar y controlar los efectos adversos.

Desde el punto de vista agronómico, se debe comparar el organismo vegetal genéticamente modificado con su par convencional, con el fin de determinar aspectos morfológicos y fisiológicos de los cultivos. Asimismo, se debe de considerar la capacidad de los cultivos genéticamente modificados para sobrevivir como una maleza, así como la producción y viabilidad del polen y la posible transferencia de genes a especies relacionadas.

Con respecto a los riesgos derivados para el consumo humano

o animal, la evaluación debe asegurar que la modificación genética no haya provocado cambios que puedan afectar la inocuidad o el valor nutricional del alimento. Igualmente, se debe garantizar que no existen peligros de toxicidad o alergenicidad relacionados con la presencia de material genético en los organismos genéticamente modificados.

### ***4.3 Situación de la bioseguridad en Costa Rica***

En Costa Rica, la aplicación de la biotecnología moderna impulsó la creación de una Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CTNBio), la cual es multidisciplinaria, multi-institucional, soberana y legalmente creada y fortalecida por tres leyes nacionales (Ley de Protección Fitosanitaria N° 7664, Ley de Biodiversidad N° 7788 y Ley del Servicio Nacional de Salud Animal N° 8485) y está conformada por representantes del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones, Oficina Nacional de Semillas, Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica, Red de Coordinación en Biodiversidad y de la Federación para la Conservación de la Naturaleza. Asimismo, en el año 2012 se incorporaron representantes del Ministerio de Salud y del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) de Costa Rica (Decreto N° 37588-MAG-MS-MICIT-MINAET firmado el 14 noviembre 2012, Diario Oficial La Gaceta No. 78).

Dicha Comisión estudia la documentación técnico-científica necesaria para dictaminar las medidas de bioseguridad como resultado de la evaluación y gestión del riesgo de un organismo genéticamente modificado de uso agrícola. Asimismo,

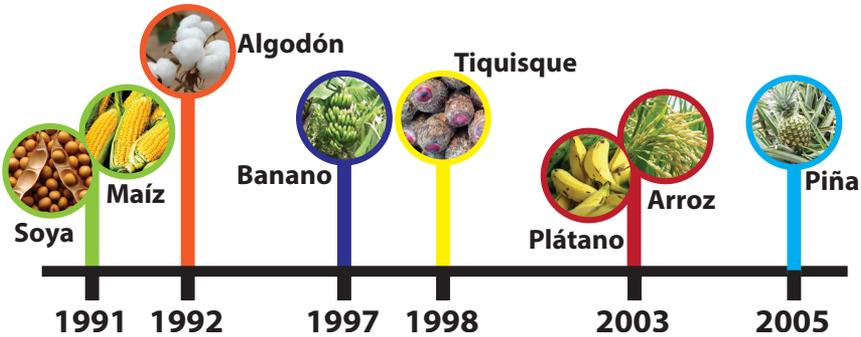
asesora a instituciones oficiales de emitir autorizaciones para importar, movilizar, experimentar, liberar al ambiente, multiplicar, comercializar y usar plantas transgénicas u otros productos de la ingeniería genética.

La Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad estudia caso por caso, cada uno de las solicitudes para la liberación de organismos genéticamente modificados utilizando criterios científicos para el análisis y evaluación de riesgos y dicta las medidas para minimizar los posibles impactos. Asimismo, funcionarios de la Oficina Nacional de Semillas y de las Autoridades Nacionales Competentes integrantes de la CTNBio inspeccionan y supervisan con el fin de comprobar que se cumplen los requisitos de bioseguridad establecidos en la legislación nacional.

El cultivo de organismos genéticamente modificados en Costa Rica inició hace 22 años tanto para investigación como para la reproducción de semillas. Así, la siembra de organismos genéticamente modificados se inició en 1991 cuando la empresa nacional Los Gansos S. A. planteó una solicitud al Servicio Fitosanitario del Estado para importar y sembrar soya genéticamente modificada.

En Costa Rica, desde 1991 hasta el 2012, se ha autorizado la liberación al medio ambiente, ya sea experimental o para reproducción de semillas, de los siguientes cultivos genéticamente modificados: tiquisque, maíz, soya, algodón, banano, arroz, piña y plátano (Figura 14). Se ha descontinuado el uso de algunos de estos cultivos, como es el caso del plátano, tiquisque, arroz y maíz. Dentro de las características

de estos cultivos podemos mencionar la resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas, resistencia a enfermedades causadas por hongos y virus, maduración lenta y mejoramiento de la calidad nutricional de los frutos. Así, en el año 2012 se autorizó la siembra de un total de 283,63 hectáreas de cultivos genéticamente modificados<sup>1</sup>. Principalmente, se autorizó la siembra de algodón (281,12 hectáreas) y soya (2,51 hectáreas) únicamente para la reproducción de semilla para la exportación. Mientras que, se autorizó la siembra de banano (1 hectárea) y piña (5,21 hectáreas) genéticamente modificados con fines de investigación. Al respecto, cabe mencionar que en Costa Rica no se producen aún organismos genéticamente modificados para consumo humano o animal, únicamente se producen semillas de exportación, que no se comercializan dentro del mercado interno.



**Figura 14.** Cultivos GM autorizados por primera vez en Costa Rica desde 1991 al 2013.

1 Tomado de: Ing. Alex May Montero. Desarrollo e implementación de productos genéticamente modificados, el caso del maíz. Febrero 2013. Disponible en [http://www.asamblea.go.cr/Diputadas\\_Diputados/Sitio\\_Fraccion\\_Liberacion\\_Nacional/Boletn%20La%20Voz%20Liberacionista/2013%20FEBRERO/Presentacion%20Asamblea%20legislativa1202131.pdf](http://www.asamblea.go.cr/Diputadas_Diputados/Sitio_Fraccion_Liberacion_Nacional/Boletn%20La%20Voz%20Liberacionista/2013%20FEBRERO/Presentacion%20Asamblea%20legislativa1202131.pdf)

## Glosario

**Abiótico**: son todos aquellos factores físicos, químicos u otros factores del ambiente, como la temperatura, la salinidad, el clima, etc. vitales para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, las plantas y los animales del ecosistema.

**ADN (ácido desoxirribonucleico)**: material genético de la mayoría de los organismos que contiene las instrucciones usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos y algunos virus. Desde el punto de vista químico, el ADN es un polímero de nucleótidos, es decir, es una molécula compuesta por muchas unidades simples conectadas entre sí. En el ADN cada nucleótido está formado por un azúcar (la desoxirribosa) y una base nitrogenada (adenina, timina, citosina o guanina).

**ADN recombinante**: molécula de ADN artificial que resulta de la combinación de dos fragmentos de ADN de organismos de especies diferentes.

**ADN-T**: Segmento de DNA del plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens* que es transferido de la bacteria al genoma de la planta receptora.

**Agrobacterium tumefaciens**: Bacteria del suelo capaz de transferir una parte de su material genético a las células de la planta. Esta bacteria es utilizada en la biotecnología moderna para obtener plantas transgénicas.

**Alergia**: Respuesta inmune exagerada que ciertas personas

desarrollan contra algunas sustancias, las cuales se conocen como alérgenos.

**Biorremediación:** Uso de agentes biológicos para tratar o remediar suelos y aguas contaminadas con sustancias tóxicas.

**Bioseguridad:** conjunto de procedimientos y medidas que se adoptan con el fin de garantizar la seguridad humana, animal y ambiental, de las aplicaciones de la biotecnología moderna, principalmente de los organismos genéticamente modificados.

**Biotecnología:** actividad que utiliza organismos vivos o sus compuestos para la obtención de productos o servicios de valor para el hombre.

**Células somáticas:** son todas aquellas células que forman parte de un organismo, excepto las sexuales (espermatozoides y óvulos).

**Clonación:** proceso por el cual se consiguen de manera asexual copias idénticas de células o un organismo (plantas y animales).

**Clones:** Organismos o grupo de células genéticamente idénticos entre sí y con el antepasado común del que proceden.

**Conservación *ex situ*:** Conservación de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales.

**Conservación *in situ***: Conservación de los componentes de la diversidad biológica dentro de sus hábitats naturales o centros de origen.

**Cromosomas**: son estructuras que se encuentran en el núcleo de las células eucariotas y que contienen los genes, los cuales determinan las características hereditarias de los organismos.

**Cultivo de tejidos o *in vitro***: Conjunto de procedimientos utilizados para mantener y crecer células, tejidos u órganos vegetales bajo condiciones físicas y químicas controladas.

**Embriogénesis somática**: técnica de cultivo *in vitro* que permite obtener embriones idénticos a los cigóticos, pero a partir de células somáticas sin que ocurra fecundación.

**Enzima**: moléculas proteicas capaces de catalizar una reacción química, de tal manera que la reacción se lleva a cabo con mayor rapidez. Por ejemplo, las enzimas pueden ayudar a descomponer los alimentos que consumimos para que el cuerpo los pueda utilizar.

**Explante**: Porción de un tejido u órgano vegetal que se extrae de una planta y se cultiva utilizando las diferentes técnicas de cultivo *in vitro*.

**Fenotipo**: se denomina fenotipo a la expresión del genotipo y consiste en el aspecto visible (rasgos físicos y conducta) de un organismo.

**Fermentación**: proceso de degradación microbiano de

compuestos complejos, principalmente azúcares, en alcohol o ácido láctico y energía. En la fermentación alcohólica, las levaduras degradan los azúcares en ausencia de oxígeno en alcohol, dióxido de carbono y energía.

**Fitorremediación:** Empleo de plantas para remover contaminantes o sustancias tóxicas del suelo o el agua.

**Fotosíntesis:** proceso por el cual las plantas y algunas bacterias obtienen compuestos orgánicos (azúcares) a partir de dióxido de carbono y agua en presencia de la energía solar.

**Gen:** unidad de la herencia compuesta por ADN y que es transmitida de generación en generación durante la reproducción sexual o asexual. Los genes contienen la información necesaria para la síntesis de proteínas.

**Genoma:** totalidad del material genético contenido en organismo. En los organismos eucariotas, el genoma está compuesto por el ADN organizado en los cromosomas.

**Genotipo:** constitución genética de un organismo.

**Germoplasma:** Individuo o grupo de individuos representativos de un genotipo, variedad, especie o cultivo que forma parte de una colección mantenida *in situ* (en el lugar) o *ex situ* (fuera de su ambiente natural).

**Ingeniería genética:** conjunto de técnicas que permiten aislar, purificar y crear una molécula de ADN recombinante e introducirla en un organismo receptor.

**Metabolismo**: conjunto de reacciones bioquímicas y procesos físico-químicos que permiten las diversas actividades de las células (crecer, reproducirse, mantener sus estructuras, responder a estímulos, etc.). El metabolismo primario constituye todos aquellos procesos esenciales para las funciones básicas de la célula; mientras que, el metabolismo secundario consiste en los procesos no esenciales para las funciones metabólicas básicas de la célula.

**Metabolito primario**: cualquier metabolito producto del metabolismo primario, como por ejemplo los azúcares y las proteínas.

**Metabolito secundario**: cualquier metabolito producto del metabolismo secundario, como por ejemplo los carotenoides.

**Metabolito**: Cualquier sustancia que se produce o emplea durante el metabolismo.

**Microorganismo**: organismo visible únicamente con la ayuda de un microscopio. Dentro de este grupo se incluyen a las bacterias, los protozoos y algunos hongos y protistas.

**Nanotecnología**: campo de la ciencia dedicado al estudio y manipulación de la materia cuyo tamaño es menor a 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ).

**Patógeno**: organismo (bacterias, hongos, virus y nematodos) causante de una enfermedad en animales y plantas.

**Plásmido**: moléculas de ADN extracromosómico circular o lineal que se replican independientemente del ADN

cromosomal. Generalmente, en las bacterias los genes de resistencia a antibióticos se encuentran contenidos en los plásmidos. Asimismo, los plásmidos son de gran importancia en los procesos de ingeniería genética.

**Proteína:** Moléculas lineales formadas por aminoácidos. Las proteínas cumplen funciones vitales en los organismos y están determinadas por la información genética contenida en los genes. En los organismos, las proteínas cumplen funciones estructurales, enzimáticas, inmunológicas, de protección, etc.

**Riesgo:** Posibilidad o probabilidad de que suceda un daño.

**Secuenciación del ADN:** conjunto de métodos y técnicas bioquímicas que permiten determinar el orden de los nucleótidos (adenina, timina, citosina o guanina) en una cadena de ADN.

**Transcriptoma:** conjunto de moléculas de ARN mensajero resultantes de la transcripción. En la transcripción el ADN es transcrito o copiado a una molécula intermediaria conocida como ARN mensajero, el cual posteriormente da origen a las proteínas en un proceso conocido como traducción.

## **Bibliografía consultada**

- Abdalla A, Connell P, Tran QT, Buetre B. 2003. Agricultural Biotechnology: potential use for developing countries. ABARE eReport 03.17. 57 p.
- Acquaah G. 2004. Understanding biotechnology: and integrated and cyber-based approach. Estados Unidos. Pearson Prentice Hall. 402 p.
- Altman A. 1998. Agricultural Biotechnology. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong. 770 p.
- American Soybean Association. 2005. Dispelling the Myths: the real facts about agricultural biotechnology and biotech food. 35 p.
- Arias-Peñate S. 1990. Biotecnología: amenazas y perspectivas para el desarrollo de América Central. Colección Análisis, D. E. I., San José, Costa Rica. 282 p.
- Barnum S. 2005. Biotechnology: an introduction. 2 ed. Estados Unidos. Thomson Brooks/Cole. 323 p.
- BIO (Biotechnology Industrie Organization). 2005. BIO 2005-2006: Guide to biotechnology. 149 p.
- BIO (Biotechnology Industrie Organization). 2007. Guide to biotechnology 2007. 132 p.
- Bisang R, Campi M, Cesa V. 2009. Biotecnología y desarrollo. Documento de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.
- Bock R y Sarwar, M. 2004. Taming plastid for a green future. Trends in Biotechnology 22: 311- 318.
- Bock R. 2007. Plastid biotechnology: prospects for herbicide and insect resistance, metabolic engineering and molecular farming. Current Opinion in Biotechnology. 18: 100–106.

- Bolivar Z. 2007. Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna. 2. Ed. México. 718 p.
- Brugés M. 2207. Bio-guía para periodistas: biotecnología agrícola. 2 ed. AgroBio. 26 p
- Carrari F, Scarpeci T.E., Abriata L.A., Vila A.J. y Valle E.M. 2010. Metabolómica. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). Biotecnología y mejoramiento vegetal II. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 147-157.
- Caruthers S, Wickline S, Lanza G. 2007. Nanotechnological applications in medicine. *Current Opinion in Biotechnology*. 18:26–30.
- Casati P y Drincovich MF. 2010. Proteómica. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). Biotecnología y mejoramiento vegetal II. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 136-146.
- Centre for Biosafety and Sustainability. 2003. Genetically Modified (GM) Crops: molecular and regulatory details. 192 p.
- Charla HS. 2003. Plant biotechnology: a practical approach. United States of America. Science Publishers, INC. 302 p.
- Chrispeels M, Sadava D. 2003. Plants, Genes and crop biotechnology. 2 ed. Estados Unidos. 562 p.
- Clive J. 2012. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012. ISAAA Brief No. 44. ISAAA: Ithaca, NY.
- CONAP. 2010. Bioseguridad z organismos genéticamente modificados: Implementación del Protocolo de Cartagena en Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 48 p.

- Daniell H, Khan M.S. y Allison L. 2002. Milestone in chloroplast genetic engineering: an environmental friendly era in biotechnology. *Trends in Plant Science* 7: 84- 91
- Echenique V, Rubinstein C, Mroginski L. 2004. *Biotecnología y mejoramiento vegetal*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 446 p.
- Echenique V, Selva J.P., Meier M, Roncallo P, Schrauf G. 2010. Genómica. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 100-120.
- Espinoza AM, Arrieta-Espinoza G; Sittenfeld A. 2004. Relación de los cultivos modificados genéticamente con el ambiente y la salud de la población costarricense. *Rev. Biol. Trop.* 3: 727- 732.
- European Initiative for Biotechnology Education. 1997. *Plantas transgénicas*. Unidad 9. 20 p.
- Felitti S y Pessino S. 2010. Transcriptómica. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 121-135.
- Ferrari G y Delucchi J. 2010. Aplicaciones biotecnológicas al manejo de malezas: Eventos de resistencia a herbicidas en cultivos. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 619-627.
- Fischer R, Stoger E, Schillberg S, Christou P, Twyman R. 2004. Plant-based production of biopharmaceuticals. *Current Opinion in Plant Biology*. 7:152–158.
- Genoma España. 2005. *Biotecnología en el sector alimentario*. Fundación Española para el desarrollo de la investigación en Genómica y Proteómica. 81 p

- Kumar S, Dhingra A y Daniell H. 2004a. Plastid-expressed *Betaine aldehyde dehydrogenase* gene in carrot cultures cells, roots and leaves confers enhanced salt tolerant. *Plant Physiology* 136: 2843- 2854.
- Kumar S, Dhingra A y Daniell H. 2004b. Stable transformation of cotton plastid genome and maternal inheritance of transgenes. *Plant Molecular Biology*. 56: 203-216
- Lewi D, Rubinstein C. 2010. Obtención de plantas resistentes a insectos. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). *Biología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 495-505.
- Nuffield Council on Bioethics. 1999. Genetically modified crops: the ethical and social issues. Latimer Trend & Company Ltd. 164 p.
- Peña L. 2004. *Transgenic plants: Methods and Protocols*. Totowa, NJ, Humana Press Inc. (Methods in Molecular Biology; v. 286).
- Pilon-Smits E. 2005. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56:15–39.
- Renneberg R. 2008. *Biología para principiantes*. Editorial Reverte. 291 p.
- Roxana S y Valverde M. 2001. *Bioseguridad: una guía para el consumidor*. Fundación Ambio y la Asociación ALERTA. San José, Costa Rica. 59 p
- Royal Society of London. 2002. Genetically modified plants for food use and human health—an update. 19 p.

- Sabbatini MR, Irigoyen JH, Vernavá MN. 2004. Estrategias para el manejo integrado de malezas: problemática, resistencia a herbicidas y aportes de la biotecnología. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). Biotecnología y mejoramiento vegetal II. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2 ed. pp: 343-353.
- Samuel S. M. Sun y Qiaoquan Liu. 2004. Transgenic approaches to improve the nutritional quality of plant proteins. *In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant.* 40: 155–162.
- Sasson A. 2005. Food and nutrition biotechnology: achievements, prospects and perceptions. UNU-IAS. 36 p.
- Sasson A. 2005. Industrial and environmental biotechnology: achievements, prospects and perceptions. UNU-IAS. 23 p.
- Sasson A. 2005. Medical biotechnology: achievements, prospects and perceptions. UNU-IAS. 154 p.
- Sasson A. 2006. Plant and agricultural biotechnology: achievements, prospects and perceptions. UNU-IAS. 444 p.
- Sittenfeld A, Espinoza AM. 2002. Costa Rica: revealing data on public perception of GM crops. *Trends in Plant Science.* 10: 468-470.
- Sociedad Española de Biotecnología. 2000. Biotecnología y salud: preguntas y respuestas. 45 p.
- Sociedad Española de Biotecnología. 2000. Plantas transgénicas: preguntas y respuestas. 45 p.
- Sociedad Española de Biotecnología. 2003. Biotecnología y alimentos: preguntas y respuestas. 31 p.
- Sociedad Española de Biotecnología. 2004. Biotecnología y medio ambiente: preguntas y respuestas. 72 p.

- Stewart P, Mclean W. 2005. Public opinion toward the first, second, and third generations of plant biotechnology. *In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant* 41:718–724.
- Teli N; Timko M. 2004. Recent developments in the use of transgenic plants for the production of human therapeutics and biopharmaceuticals. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 79: 125–145.
- Valdez M, Rodríguez I, Sittenfeld A. 2004. Percepción de la biotecnología en estudiantes universitarios de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 3: 745- 756.
- Valdez, M., López, R., Jiménez, L. 2004. Estado actual de la biotecnología en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 3: 733-743.
- Verma A, Agrahari S, Rastogi S, Singh A. 2011. Biotechnology in the realm of history. *J Pharm Bioallied Sci.* 3: 321–323.
- Walter J.M. y Rapley, R. 2000. *Molecular biology and biotechnology.* 4th edition. Great Britain. 563 p.
- Yakimov M, Timmis K, Golyshin P. 2007. Obligate oil-degrading marine bacteria. *Current Opinion in Biotechnology.* 18:257–266.
- Zaid A, Hughes HG, Porceddu E, Nicholas F. 2004. *Glosario de la agricultura y la alimentación.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 510 p.
- Zubko M, Zubko E, Zuilen K, Meyer P y Day A. 2004. Stable transformation of petunia plastids. *Transgenic Research.* 13: 523-530



Los avances científicos y tecnológicos de la biotecnología impactan en la sociedad y es necesaria una labor permanente de educación en estas nuevas tecnologías. ¿Qué es biotecnología? Aunque, la biotecnología forma parte de nuestra vida cotidiana y ha sido empleada por el hombre desde hace miles de años, es un término desconocido por muchos. Por lo tanto, el presente folleto está dirigido a los miembros de la sociedad y tiene como objetivo introducir y describir el uso y el impacto de la biotecnología.

Este documento se imprimió con el aporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), bajo el marco del Proyecto No. GLF/2328-2716-4B61 “Implementación de un Marco Nacional de Bioseguridad para Costa Rica”.



San José, Costa Rica, 2013.